



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΔΕΛΤΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»**

Ιωάννης Σαμαράς

A.E.M. 4826

Επιβλέπων: Βασίλης Μέλφος, Επίκουρος Καθηγητής

Θεσσαλονίκη 2015

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΟΣΙΜΑ ΥΔΑΤΑ	9
2.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ	9
2.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΙΟΝΤΩΝ - ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ.....	10
2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΑΛΛΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ.....	11
2.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	12
2.5 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ.....	13
3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	14
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	14
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	21
3.3 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	26
3.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	28
3.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	29
4. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ	34
5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	39
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	42
6.1 ΤΑΚΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙΣ	42
6.2 ΕΛΕΓΚΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙΣ.....	53
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη γεωχημική και περιβαλλοντική μελέτη των υπογείων υδάτων σε περιοχές του Δήμου Δέλτα του Νομού Θεσσαλονίκης από τακτικές και ελεγκτικές παρακολουθήσεις σε γεωτρήσεις και αντλιοστάσια. Η μελέτη επικεντρώθηκε στις Δημοτικές Κοινότητες Καλοχωρίου (αποτελέσματα 2006-2011), Ανατολικού, Βραχιάς, Κυμίνων, Μαλγάρων και Χαλάστρας (αποτελέσματα 2011).

Η περιοχή αυτή τοποθετείται γεωλογικά στη Νεογενή-Τεταρτογενή ιζηματογενή τεκτονική λεκάνη δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης, στη βόρεια Ελλάδα. Στο Δήμο Δέλτα εντοπίζεται ένα πολύπλευρο σύστημα ποτάμιων δέλτα και εκβολών, ελών, αλυκών και υδροβιοτόπων, ενώ η μορφολογία έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τους ποταμούς Αξιό και Γαλλικό και τα συνοδά τους ιζήματα.

Η περιοχή έχει επιβαρυνθεί τις τελευταίες δεκαετίες από ποικίλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως ανεξέλεγκτη απόρριψη στερεών και υγρών αποβλήτων, απορριμμάτων και μπαζών. Η επιβάρυνση αυτή του περιβάλλοντος οφείλεται κυρίως στη ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη της περιοχής, καθιστώντας την μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες της Ελλάδας, χωρίς όμως να έχει προβλεφθεί κάποιος οργανωμένος χώρος υποδοχής των βιομηχανικών αποβλήτων. Επιπλέον η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων έχει δημιουργήσει επιπρόσθετα περιβαλλοντικά προβλήματα στην περιοχή.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να προσδιοριστεί η φυσικοχημική σύσταση των υπογείων υδάτων της περιοχής έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η εκτίμηση των φυσικών παραμέτρων (pH, TDS, αγωγιμότητα, γεύση, θολερότητα, ολική σκληρότητα, οσμή, υπολειμματικό χλώριο, χρώμα), καθώς και της χημικής σύστασης σε ενώσεις (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) και στοιχεία (Ca, K, Mg, Na, Br, Cl, F, B, Sb, Se) συμπεριλαμβανομένων και βαρέων μετάλλων (Ag, As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) στα υπόγεια ύδατα της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε να εκτιμηθεί ο πιθανός βαθμός ρύπανσής της.

Σύμφωνα με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υπογείων υδάτων, αυτά χαρακτηρίζονται ως επί το πλείστον “πολύ σκληρά” και “γλυκά” νερά, με θολερότητα αποδεκτή στους καταναλωτές και με φυσιολογικές τιμές pH και αγωγιμότητας.

Όσον αφορά τις χημικές αναλύσεις του νερού, παρουσιάζονται αυξημένες συγκεντρώσεις κυρίως στο ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na) και το χλώριο (Cl) σε πολλές περιοχές του Δήμου Δέλτα. Επίσης, αρκετά υψηλές περιεκτικότητες σε αρσενικό (As) και

σίδηρο (Fe), που υπερβαίνουν τα ανώτερα νομοθετικά όρια, παρατηρούνται μόνο στα υπόγεια ύδατα της Χαλάστρας, καθιστώντας προβληματικό το πόσιμο νερό της περιοχής.

ABSTRACT

“Geochemical and environmental study of the underground water by boreholes of the Municipality of Delta in Thessaloniki, N. Greece” by Ioannis Samaras, under the supervision of Assistant Professor, Vasilios Melfos.

The present undergraduate dissertation refers to the geochemical and environmental study of the underground water in the area of the Municipality of Delta in Thessaloniki through the results of the regular and audit monitoring in boreholes and pumping stations. This study is based on the Municipal Communities of Kalochori (results from 2006 to 2011), Anatoliko, Vraxia, Kymina, Malgara and Chalastra (2011 results).

This region consists mainly of Neogene-Quaternary sediments and is located at the western suburban district of Thessaloniki, in northern Greece. The study area is characterized by a versatile system of river deltas and estuaries, swamps, salt marshes and wetlands, while the morphology is chiefly influenced by the rivers Axios and Gallikos and the associated sediments.

During the last decades this area has been affected by various human activities such as the improper disposal of wastewater, solid waste and debris. This environmental burden is evident mainly due to the rapid industrial development of the region, which renders it one of the largest industrial zones of Greece. However an organized plant for processing the industrial waste has not been constructed so far. Furthermore, the excessive use of pesticides has created additional environmental problems in the region.

The purpose of this research is to study the physicochemical composition of the underground potable water in the area. More specifically the main objective is the assessment of the physical parameters (pH, TDS, conductivity, taste, turbidity, total hardness, odor, residual chlorine, color) and the chemical composition in compounds (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) and elements (Ca, K, Mg, Na, Br, Cl, F, B, Sb, Se) including heavy metals (Ag, As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) in the waters of the study area, in order to define the degree of a possible pollution.

According to the physicochemical characteristics of the groundwater, most of them are characterized as “very hard” and “fresh” waters, with an accepted turbidity level and with normal pH values and conductivity level.

As far as the results of potable water analyses are concerned, it is shown that the concentrations, mainly of calcium (Ca), sodium (Na) and chlorine (Cl) are elevated at the most studied locations. Furthermore, very rather high levels of arsenic (As) and iron (Fe), exceeding the upper legal limits, are observed only in the underground water of Chalastra, making the drinking water of the region inappropriate for human consumption.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο: «Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη των υπόγειων υδάτων από γεωτρήσεις του Δήμου Δέλτα Θεσσαλονίκης» αποτελεί πτυχιακή διπλωματική εργασία, η οποία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-15 στο Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας αποτελεί η περιβαλλοντική και γεωχημική μελέτη των υπογείων υδάτων στην περιοχή του Δήμου Δέλτα με έδρα τη Σίνδο, ο οποίος βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης στη Βόρεια Ελλάδα.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή Κοιτασματολογίας-Γεωχημείας, κύριο Βασίλη Μέλφο, για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τη συνεχή παροχή βοήθειας και επιστημονικών υποδείξεων, την υπομονή και το ενδιαφέρον που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον αξιότιμο Δήμαρχο του Δήμου Δέλτα, κύριο Ευθύμιο Φωτόπουλο, καθώς και τον αξιότιμο Αντιδήμαρχο, κύριο Δημόκριτο Κηπουρό, για τη θετική ανταπόκρισή τους στο αίτημα για την παροχή, μέσω της αρμόδιας υπηρεσίας του Δήμου, των αποτελεσμάτων από τις φυσικοχημικές αναλύσεις πόσιμου νερού, τόσο των τακτικών όσο και των ελεγκτικών παρακολουθήσεων, από τις Δημοτικές Κοινότητες Καλοχωρίου, Ανατολικού, Βραχιάς, Κυμίνων, Μαλγάρων, Χαλάστρας για το έτος 2011, καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την περιοχή Καλοχωρίου για τα έτη 2006 έως 2010.

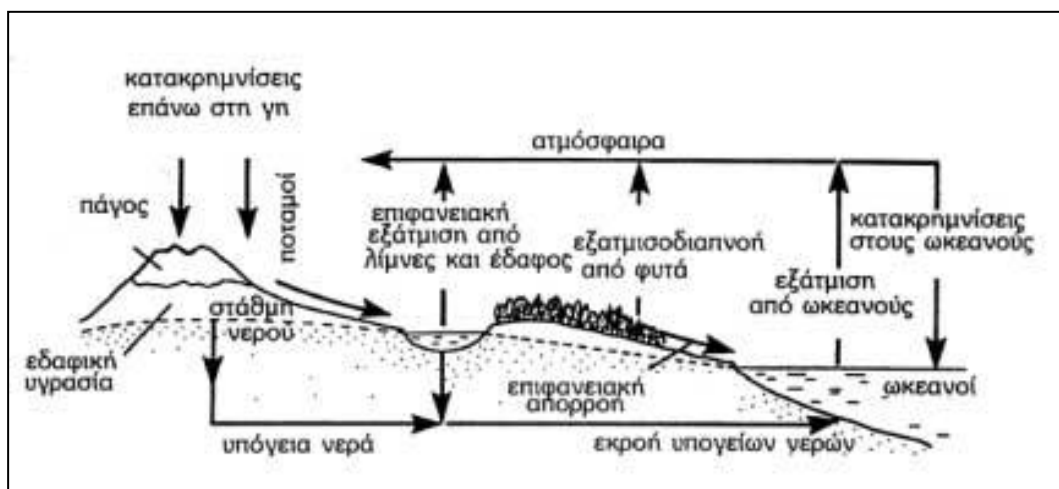
Ευχαριστίες αποδίδονται στην κυρία Δέσποινα Παντελίδου, Προϊσταμένη της Διεύθυνσης Καθαριότητας, Περιβάλλοντος, Πρασίνου, Συντήρησης και Διαχείρισης Οχημάτων του Δήμου Δέλτα για τη συνεργασία της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Σωτήρη Σιωμάδη, Βιολόγο, Αναπληρωτή Προϊστάμενο του Τμήματος Περιβάλλοντος και Πολιτικής Προστασίας της παραπάνω διεύθυνσης για την πολύτιμη βοήθειά του στην απόκτηση των παραπάνω αποτελεσμάτων καθώς και για τα στοιχεία και τις πληροφορίες που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, αλλά και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του στο τελικό κείμενο.

Τέλος, αισθάνομαι τη βαθιά υποχρέωση να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ηθική συμπαράσταση και την οικονομική υποστήριξη, όπως και για την αμέριστη ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά το φυσικό περιβάλλον διακρίνεται σε υδάτινο και χερσαίο και σχετίζεται άμεσα με τα οικοσυστήματα. Τα οικοσυστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη ρύπανση από τοξικές χημικές ενώσεις, ραδιονουκλεΐδια και διάφορα ιχνοστοιχεία. Ανάμεσα στα προηγούμενα, τα ιχνοστοιχεία έχουν τη σημαντικότερη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, αλλά και στο περιβάλλον γενικότερα (Bowen 1979, Kabata-Pendias 2011).

Όσον αφορά τα υδάτινα οικοσυστήματα, η ποσότητα του νερού του πλανήτη μας είναι σταθερή. Αυτό που μεταβάλλεται καθημερινά είναι η ποιότητα και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Το νερό συνεχώς ανακυκλώνεται ακολουθώντας το γνωστό υδρολογικό κύκλο (Σχήμα 1.1). Το 97,5% του νερού που βρίσκεται στη Γη είναι αλμυρό και από αυτό το 99,99% βρίσκεται στους ωκεανούς και στις θάλασσες και το υπόλοιπο σε λίμνες που έχουν αλμυρό νερό. Συνεπώς μόνο το 2,5% περίπου της συνολικής ποσότητας νερού που βρίσκεται στην Γη δεν είναι αλμυρό και μικρό ποσοστό αυτού είναι διαθέσιμο για χρήση από τον άνθρωπο. Το 75% του γλυκού νερού βρίσκεται στους πόλους με τη μορφή πάγου, το 24% βρίσκεται στα διάφορα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και μόνο το 1% της συνολικής ποσότητας του γλυκού νερού βρίσκεται σε λίμνες, ποταμούς και εδάφη. Όπως διαπιστώνει ο Gray (1994) αν και φαίνεται ότι υπάρχει πολύ νερό στη Γη, ένα ελάχιστο ποσοστό (0,01%) βρίσκεται σε λίμνες και ποταμούς και είναι άμεσα διαθέσιμο στον άνθρωπο και το ίδιο περίπου ποσοστό (0,01%) βρίσκεται σε μορφή εδαφικής υγρασίας και είναι διαθέσιμο μόνο στα φυτά (Ζωγόπουλος 2012).



Σχήμα 1.1 Υδρολογικός κύκλος (προσαρμοσμένο από Gray 1994) (πηγή: Πρόγραμμα INTERREG I & II, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει διαπιστωθεί πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η λειτουργία βαριάς βιομηχανίας, η αυξανόμενη χρήση γεωργικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, η καύση λιγνίτη για την παραγωγή ενέργειας, έχουν αλλοιώσει τους φυσικούς κύκλους των στοιχείων στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, σημαντικές πηγές ρύπανσης που επιβαρύνουν τα επιφανειακά και στη συνέχεια τα υπόγεια νερά, αποτελούν τα αστικά λύματα, τα βιομηχανικά, τα γεωργικά και τα κτηνοτροφικά υγρά απόβλητα καθώς και η όξινη βροχή όπως αναφέρει η Kabata-Pendias (2011).

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης των υδάτων έχουν πολλές μορφές. Σε περίπτωση που τα επιφανειακά ύδατα ρυπαίνονται από απόβλητα που περιέχουν ουσίες που αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς, επακολουθεί μείωση της ποσότητας του οξυγόνου, 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 προκαλούνται και από τη 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 προκαλούν το φαινόμενο του ευτροφισμού, δηλαδή υπέρμετρη ανάπτυξη 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).

Επιπλέον, τα βαρέα μέταλλα διοχετεύονται στο περιβάλλον, είτε από φυσικές, είτε από anthropογενείς πηγές και όταν βρίσκονται πέρα από κάποια ορισμένα όρια είναι επιβλαβή για το περιβάλλον, αλλά και για τη δημόσια υγεία. Οι φυσικές πηγές τους είναι κυρίως η αποσάθρωση και η διάβρωση των πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η αποσύνθεση των φυτών και των ζώων και οι δασικές πυρκαγιές. Οι anthropογενείς πηγές τους είναι οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, οι ηλεκτρολυτικές επιμεταλλώσεις, η καύση ανθράκων ή πετρελαίου, η παραγωγή χάλυβα, τα βυρσοδεψεία κ.ά. (Papp 1994).

Οι anthropογενείς παρεμβάσεις στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Όταν οι οριακές τιμές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους για διάφορες χρήσεις ξεπερνούν τα όρια, τότε υποβαθμίζονται ποιοτικά ή καθίστανται ακατάλληλα για ορισμένες χρήσεις (Χριστούλας 1991, Σούλιος 2006, Βουδούρης 2009).

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

- 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)

Στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μία 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. 2010 a, b).

Σήμερα η αστική και περι-αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα ρύπανσης. Η υποβάθμιση του Θερμαϊκού κόλπου από τις ανεξέλεγκτες ρήψεις αποβλήτων, το μεγάλο πρόβλημα των στερεών αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων αλλά και η αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων στις αγροτικές περιοχές σε συνδυασμό με την αέρια ρύπανση αποτελούν τις βασικές συνιστώσες της υποβάθμισης του περιβάλλοντος ειδικά στα δυτικά της πόλης. Οι συγκρουόμενες χρήσεις γης με τη συνύπαρξη της κατοικίας και της αγροτικής δραστηριότητας με τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις στις παρυφές της πόλης (π.χ. βιομηχανική περιοχή Σίνδου-ΒΙ.ΠΕ.Θ., βιομηχανικό συγκρότημα Διαβατών και βιομηχανική περιοχή Καλοχωρίου) επιφέρει όξυνση του προβλήματος, σύμφωνα και με τις απόψεις του Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (Τ.Ε.Ε. 1987).

Ένα επιπλέον πρόβλημα που σχετίζεται με την περιβαλλοντική υποβάθμιση της περιοχής μελέτης αποτελεί η έλλειψη οργανωμένων χώρων υποδοχής, απόθεσης και διαχείρισης των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων της Θεσσαλονίκης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές να απορρίπτονται ανεξέλεγκτα στερεά απόβλητα, μπάζα και άλλα υλικά και να συσσωρεύονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα προκαλώντας κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Μεταξύ των προβλημάτων που δημιουργούνται από τις παραπάνω ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι και η υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων και των υδροφορέων από τους οποίους τροφοδοτούνται με πόσιμο νερό οι τοπικοί πληθυσμοί και κατά περίπτωση το πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης.

Η εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας αφορά στην περιβαλλοντική και γεωχημική μελέτη των υπογείων υδάτων της περιοχής του Δήμου Δέλτα Θεσσαλονίκης. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός των φυσικών παραμέτρων (pH, TDS, αγωγιμότητα, γεύση, θολερότητα, ολική σκληρότητα, οσμή, υπολειμματικό χλώριο, χρώμα), καθώς και της χημικής σύστασης σε ενώσεις (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) και στοιχεία (Ca, K, Mg, Na, Br, Cl, F, B, Sb, Se) συμπεριλαμβανομένων και βαρέων μετάλλων (Ag, As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) στα ύδατα σε μία ημι-αστική περιοχή (Δήμος Δέλτα) δίπλα σε ένα μεγάλο αστικό κέντρο όπως είναι η Θεσσαλονίκη.

Με βάση τα αποτελέσματα των φυσικών ιδιοτήτων και των χημικών αναλύσεων γίνεται μία εκτίμηση των επιτρεπτών χρήσεων των υδάτων της περιοχής (π.χ. ως πόσιμων νερών) σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Η έρευνα αυτή κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθεί στη συγκεκριμένη περιοχή, αφού η ταχύτατη βιομηχανική ανάπτυξη των τελευταίων δεκαετιών χωρίς τις απαραίτητες υποδομές (εκτός ΒΙ.ΠΕ.Θ.), σε συνδυασμό με την αγροτική υπερεκμετάλλευση έχει προκαλέσει επιβάρυνση από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως ανεξέλεγκτη χρήση φυτοφαρμάκων και απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων.

2. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΟΣΙΜΑ ΥΔΑΤΑ

2.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ

Στον Πίνακα 2.1.1 αναφέρονται τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων και άλλων μετάλλων που έχουν θεσπιστεί από την ελληνική και την ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα ύδατα ανθρώπινης κατανάλωσης σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. υπ' αριθμ. ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ.38295 (Φ.Ε.Κ. Β630/26-4-2007) του έτους 2007 και την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου του 1998, αλλά και με βάση το Φ.Ε.Κ. Β3322/3-12-2011.

Πίνακας 2.1.1 Χημικές παράμετροι Μέρους Β Παραρτήματος Ι (Παράμετροι και παραμετρικές τιμές) της σχετικής νομοθεσίας.

Βαρέα και άλλα μέταλλα (Παράμετροι)	Ανώτερα αποδεκτά όρια (Παραμετρικές τιμές)	Σημειώσεις
Αργυρος	10 µg/l (ppb)	-
Αρσενικό	10 µg/l (ppb)	-
Κάδμιο	5 µg/l (ppb)	-
Μαγγάνιο	50 µg/l (ppb)	-
Μόλυβδος	10 µg/l (ppb)	Σημειώσεις 1 και 2
Νικέλιο	20 µg/l (ppb)	Σημείωση 1
Σίδηρος	200 µg/l (ppb)	-
Υδράργυρος	1 µg/l (ppb)	-
Χαλκός	2 ή 1,3* mg/l (ppm)	Σημείωση 1
Χρώμιο	50 µg/l (ppb)	Σημείωση 1
Ψευδάργυρος	1000* µg/l (ppb)	-
Αργίλιο	200 µg/l (ppb)	-
Ασβέστιο	100 mg/l (ppm)	-
Κάλιο	12 mg/l (ppm)	-
Μαγνήσιο	50 mg/l (ppm)	-
Νάτριο	200 mg/l (ppm)	-

(Cu) 1,3* ppm: Ανώτατη συγκέντρωση σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

(Zn) 1000* ppb: Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 50388/2704/Ε 103 του έτους 2003.

Σημείωση 1: Η τιμή ισχύει για δείγμα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης που λαμβάνεται με κατάλληλη μέθοδο δειγματοληψίας στη βρύση και κατά τρόπον ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό του εβδομαδιαίου μέσου όρου που πίνουν οι καταναλωτές.

Σημείωση 2: Οι αρμόδιες αρχές μεριμνούν ώστε να λαμβάνονται όλα τα δέοντα μέτρα για την, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσης μολύβδου στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης κατά την περίοδο που απαιτείται για να επιτευχθεί η τήρηση της παραμετρικής τιμής.

2.2 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΙΟΝΤΩΝ - ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ

Όπως και προηγουμένως, σύμφωνα με την ίδια ευρωπαϊκή - ελληνική νομοθεσία, στον Πίνακα 2.2.1 παρατίθενται τα ανώτερα όρια συγκεντρώσεων επιλεγμένων στοιχείων και ιόντων - αλάτων στα ύδατα ανθρώπινης κατανάλωσης.

Πίνακας 2.2.1 Χημικές και ενδεικτικές παράμετροι Μέρους Β και Γ αντίστοιχα Παραρτήματος Ι (Παράμετροι και παραμετρικές τιμές) της σχετικής νομοθεσίας.

Επιλεγμένα στοιχεία και ιόντα-άλατα (Παράμετροι)	Ανώτερα αποδεκτά όρια (Παραμετρικές τιμές)	Σημειώσεις
Αντιμόνιο	5 µg/l (ppb)	-
Βόριο	1 µg/l (ppb)	-
Σελήνιο	10 µg/l (ppb)	-
Αμμωνιακά	0,5 mg/l (ppm)	-
Βρωμικά	10 mg/l (ppm)	Σημείωση 2
Θειικά	250 mg/l (ppm)	Σημείωση 1
Κυανιούχα	50 µg/l (ppb)	-
Νιτρικά	50 mg/l (ppm)	Σημείωση 3
Νιτρώδη	0,5 mg/l (ppm)	Σημείωση 3
Φθοριούχα	1,5 mg/l (ppm)	-
Φωσφορούχα	3* mg/l (ppm)	-
Χλωριούχα	250 mg/l (ppm)	Σημείωση 1

(PO₄³⁻) 3* ppm: Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001 – Φ.Ε.Κ. 892 Β'/11-7-01.

Σημείωση 1: Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό.

Σημείωση 2: Εάν είναι δυνατόν, οι αρμόδιες αρχές πρέπει να επιδιώκουν χαμηλότερη τιμή χωρίς να θίγεται η απολύμανση.

Σημείωση 3: Οι αρμόδιες αρχές εξασφαλίζουν ότι τηρείται ο όρος [νιτρικά]/50+[νιτρώδη]/3 < 1, όπου οι αγκύλες υποδηλώνουν συγκέντρωση σε mg/L για τα νιτρικά (NO₃⁻) και για τα νιτρώδη άλατα (NO₂⁻) καθώς και ότι η τιμή 0,10 mg/L τηρείται για το νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

2.3 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ – ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΑΛΛΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ

Σύμφωνα με την ίδια νομοθεσία στον Πίνακα 2.3.1 αναφέρονται οι ενδεικτικές τιμές άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων των υδάτων ανθρώπινης κατανάλωσης.

Πίνακας 2.3.1 Ενδεικτικές φυσικοχημικές παράμετροι Μέρους Γ Παραρτήματος Ι (Παράμετροι και παραμετρικές τιμές) της σχετικής νομοθεσίας (Φ.Ε.Κ. 892 Β'/11-7-01).

Φυσικοχημικές παράμετροι	Παραμετρικές τιμές	Μονάδες μέτρησης	Σημειώσεις
Αγωγιμότητα	< 2.500	μS/cm στους 20°C	Σημείωση 1
Ολική σκληρότητα (παροδική+μόνιμη)	80-150 (για αποσκληρυνμένα νερά)	mg/l ισοδύναμου CaCO ₃ (ή f°, d°)	-
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	> 6,5 και < 9,5 (για ύδατα μη ρυπασμένων περιοχών)	μονάδες pH	Σημειώσεις 1 και 2
Υπολειμματικό χλώριο	< 0,6	mg/l (ppm)	-
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-	-
Θολερότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	N.T.U. ή mg/l SiO ₂	Σημείωση 3
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	-	-
Χρώμα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής	mg Pt-Co/l (Ευρώπη)* ή Pt-Co (Η.Π.Α.)	-

* : Προτεινόμενη τιμή Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας = 15 mg Pt-Co/l (Μονάδες Ευρώπης).

Σημείωση 1: Το νερό δεν πρέπει να είναι διαβρωτικό.

Σημείωση 2: Για το στάσιμο νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία, η κατώτατη τιμή μπορεί να μειώνεται σε 4,5 μονάδες pH.

Σημείωση 3: Σε περίπτωση επεξεργασίας επιφανειακών υδάτων, τα κράτη μέλη επιδιώκουν παραμετρική τιμή που δεν υπερβαίνει την 1 NTU (νεφελομετρική μονάδα θολότητας) στο νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Μεγάλες τιμές θολότητας (> 10 NTU) καθιστούν το νερό ακατάλληλο για πόση. Επιθυμητή είναι η τιμή < 5 NTU (ή 1 mg/L SiO₂, Φ.Ε.Κ. 53/20.02.1986).

Στο σημείο αυτό είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι αυτά τα νεότερα ανώτατα νομοθετικά όρια των βαρέων και άλλων μετάλλων, των επιλεγμένων στοιχείων και αλάτων αλλά και των υπολοίπων φυσικοχημικών παραμέτρων που έχουν προσδιοριστεί (βλ. Υποκεφάλαια 2.1, 2.2 και 2.3), συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τις τακτικές και ελεγκτικές χημικές αναλύσεις πόσιμου νερού (βλ. Κεφάλαιο 6).

2.4 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

- Οδηγία 75/440/ΕΚ του Συμβουλίου της 16/6/1975 περί της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Η Οδηγία περιγράφει τις υποχρεώσεις των φορέων και αρχών σε ότι αφορά τον έλεγχο των υδάτων που προορίζονται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι παράμετροι ελέγχου και οι τιμές αυτών, καθώς και η προτεινόμενη μέθοδος που πρέπει να εφαρμόζεται προκειμένου τα ύδατα αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά την επεξεργασία τους ως πόσιμο νερό.

Από τις παραμέτρους εκείνες που σχετίζονται με τη λειτουργία των Μονάδων Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων (Μ.Ε.Α.Λ.) και πρέπει να ελέγχονται είναι οι εξής: χρώμα, οσμή, επιφανειακά ενεργές ουσίες, pH, αιωρούμενα στερεά, θερμοκρασία, αγωγιμότητα, νιτρικά, βαρέα μέταλλα, βόριο, κυανιούχα, θειικά, φθοριούχα, χλωριούχα, φωσφορικά (ως P_2O_5), χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), διαλυμένο οξυγόνο (DO), βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5), άζωτο (κατά “Kjeldahl” εξαιρουμένου του αζώτου των νιτρικών και νιτρωδών), αμμωνιακά, ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και συγκεκριμένες κατηγορίες κολοβακτηριδίων και εντερόκοκκων.

Στα πλαίσια της Οδηγίας τα επιφανειακά ύδατα υποδιαιρούνται σε τρεις κατηγορίες (Α1, Α2 και Α3) με βάση τις μεθόδους επεξεργασίας (Πίνακας 2.4.1) που πρέπει να εφαρμοσθούν έτσι ώστε το νερό να καταστεί κατάλληλο για χρήση ως πόσιμο και με βάση τα φυσικά, χημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του, προς επεξεργασία, νερού.

Πίνακας 2.4.1 Κατηγοριοποίηση επιφανειακών υδάτων με βάση τις μεθόδους επεξεργασίας για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Κατηγορία	Απαιτούμενη Επεξεργασία
A1	Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε απλή φυσική επεξεργασία όπως ταχεία διήθηση και απολύμανση.
A2	Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε μεθόδους φυσικής και χημικής επεξεργασίας, όπως προ-χλωρίωση, κροκίδωση - χημική κατακρήμνιση, διήθηση, απολύμανση (τελική χλωρίωση).
A3	Επιφανειακά ύδατα που υπόκεινται σε μεθόδους εντατικής φυσικής και χημικής επεξεργασίας, όπως χλωρίωση μέχρι σημείου ρήξης, κροκίδωση - χημική κατακρήμνιση, διήθηση, προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, και απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση).

2.5 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ

➤ ΝΟΜΟΣ 1650/1986 Για την προστασία του περιβάλλοντος (Φ.Ε.Κ. 160/Α/16-10-86)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ΄. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

- Άρθρο 9. Ποιότητα νερών και δίκτυο παρακολούθησης.

1. Με πράξη του Υπουργικού Συμβουλίου ύστερα από εισήγηση των Υπουργών Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας καθορίζονται οι κατευθυντήριες ή και οριακές τιμές των οργανοληπτικών φυσικών, χημικών, μικροβιολογικών, ραδιολογικών ή άλλων χαρακτηριστικών παραμέτρων ποιότητας νερών ή και στοιχείων υδατικού οικοσυστήματος, οι μέθοδοι δειγματοληψίας και ανάλυσης των παραμέτρων, οι συχνότητες δειγματοληψίας, το χρονοδιάγραμμα για την επίτευξη των στόχων, καθώς και οποιαδήποτε άλλη λεπτομέρεια σχετική με τον καθορισμό της ποιότητας των νερών.

2. Η ρύθμιση των θεμάτων με το είδος της παραγράφου 1 μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του φυσικού αποδέκτη που πρέπει να προστατευθεί, τις επιθυμητές χρήσεις του, τις χρήσεις γης της περιοχής όπου βρίσκεται, το είδος και την επικινδυνότητα της ρύπανσης.

3. Με όμοια πράξη είναι δυνατό να καθορίζονται οριακές τιμές ποιότητας νερών αυστηρότερες από εκείνες που ορίζονται στην πράξη της παραγράφου 1 με κριτήριο την ευαισθησία των οικοσυστημάτων της περιοχής.

4. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων σχεδιάζει και εγκαθιστά σε αντιπροσωπευτικές θέσεις εθνικό δίκτυο σταθμών μέτρησης των παραμέτρων της ποιότητας των νερών, όπως καθορίζεται στην πράξη της παραγράφου 1 και παρακολουθεί τη λειτουργία τους σε συνδυασμό με άλλους σταθμούς μέτρησης άλλων παραμέτρων του νερού.

3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ – ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μία εκτεταμένη ιζηματογενή λεκάνη στο δυτικό τμήμα του Νομού Θεσσαλονίκης στη Βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.1.1). Συγκεκριμένα ο Δήμος Δέλτα ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας που συστάθηκε το 2011 και προέκυψε από την συνένωση των τριών προϋπαρχόντων Δήμων Χαλάστρας, Εχεδώρου και Αξιού (Πρόγραμμα Καλλικράτης – Φ.Ε.Κ. Α87 της 07/06/2010). Η έκταση του νέου Δήμου Δέλτα είναι 308,88 km² και ο μόνιμος πληθυσμός του, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογραφή 2011) ανέρχεται σε 45.839 κατοίκους. Έδρα του νέου δήμου ορίστηκε η Σίνδος, όπου βρίσκονται η Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης (ΒΙ.ΠΕ.Θ.) και το Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Α.Τ.Ε.Ι.) Θεσσαλονίκης. Επίσης στο Δήμο Δέλτα ανήκουν το βιομηχανικό συγκρότημα Διαβατών, η βιομηχανική περιοχή Καλοχωρίου και οι εκτός ΒΙ.ΠΕ.Θ. επιχειρηματικές δραστηριότητες της Σίνδου.

Ο Δήμος Δέλτα περιλαμβάνει τις εξής δημοτικές ενότητες και αντίστοιχες κοινότητες (σύμφωνα με Απόφαση 45892 του Υπουργείου Εσωτερικών, Αποκέντρωσης & Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης – Φ.Ε.Κ. Β1292 της 11/08/2010 σχετικά με τη διοικητική διαίρεση της χώρας):

1. Δημοτική Ενότητα Αξιού:

- Δημοτική Κοινότητα Κυμίνων
- Δημοτική Κοινότητα Νέων Μαλγάρων
- Τοπική Κοινότητα Βραχιάς

2. Δημοτική Ενότητα Εχεδώρου:

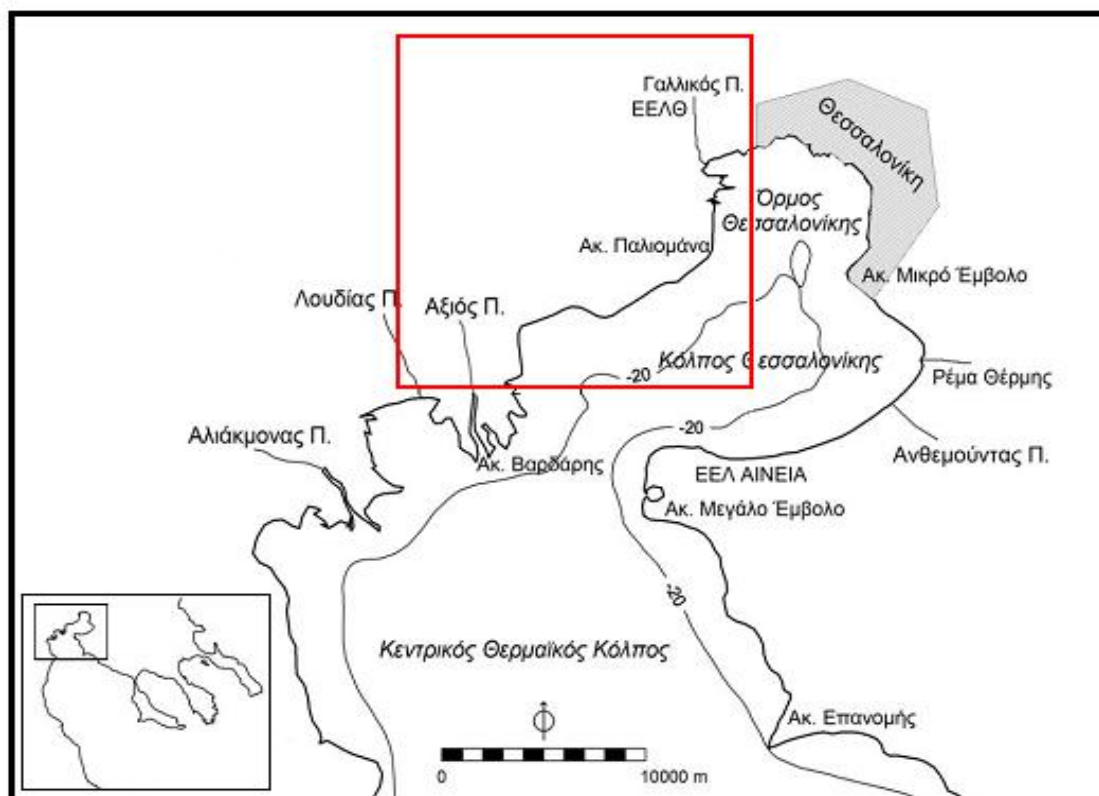
- Δημοτική Κοινότητα Διαβατών
- Δημοτική Κοινότητα Καλοχωρίου
- Δημοτική Κοινότητα Νέας Μαγνησίας
- Δημοτική Κοινότητα Σίνδου

3. Δημοτική Ενότητα Χαλάστρας:

- Δημοτική Κοινότητα Ανατολικού
- Δημοτική Κοινότητα Χαλάστρας

Ο Αξιός ποταμός (η λέξη “Αξιός” έχει μακεδονική ρίζα από το *αζός* που σημαίνει δάσος (ή ύλη), ή “Βαρδάρης” (“Vardar”), είναι ο μεγαλύτερος ποταμός που διασχίζει τη Μακεδονία και ο δεύτερος μεγαλύτερος των Βαλκανίων (μετά τον Έβρο), με μήκος 380 km, από τα οποία μόνο τα 76 km είναι σε ελληνικό έδαφος. Το πλάτος του κυμαίνεται από 50 - 600 m και το βάθος του φθάνει τα 4 m. Πηγάζει από το όρος Σκάρδος (“Σάρ”), στα Σερβοαλβανικά σύνορα, διασχίζει την κοιλάδα των Σκοπίων, εισέρχεται στο ελληνικό έδαφος, διασχίζει τη Μακεδονία και χύνεται στον Θερμαϊκό κόλπο (Βικιπαίδεια).

Επιπρόσθετα, ο Λουδίας ποταμός, ή “Λυδίας” ή και “Λοιδίας”, κοινώς “Μαυρονέρι”, είναι ποταμός της Κεντρικής Μακεδονίας και πλωτός μέχρι την Πέλλα. Δέχεται τα νερά από το όρος Πάικο και από το αποστραγγιστικό δίκτυο μεταξύ των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα (Τσομπάνογλου 2011).



Σχήμα 3.1.2 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας (σε κόκκινο πλαίσιο η γενικότερη περιοχή μελέτης). Διακρίνονται ο Κεντρικός Θερμαϊκός Κόλπος, ο Κόλπος και ο Όρμος της Θεσσαλονίκης καθώς και τα ποτάμια και οι εκβολές τους στα διάφορα τμήματα του Κόλπου. Επίσης, σημειώνονται οι ονομασίες των ακρωτηρίων, το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης και οι θέσεις των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων Ε.Ε.Λ.Θ. και Ε.Ε.Λ. ΑΙΝΕΙΑ (πηγή: Τσομπάνογλου 2011).

Στην περιοχή που εκβάλλει ο Αξιός σχηματίζεται ένα δέλτα “μορφής πέλματος πτηνού” και έκτασης 22.000 στρεμμάτων που χαρακτηρίζεται από υφάλμυρες λιμνοθάλασσες,

αλίπεδα, εκτεταμένους λασπότοπους, έλη αλμυρού και γλυκού νερού, αμμόλοφους, πλούσια βλάστηση και εκτεταμένες καλλιέργειες (Φωτ. 3.1). Στην ευρύτερη περιοχή εκβάλλουν και οι ποταμοί Λουδίας, Αλιάκμονας και Γαλλικός και μαζί με τις αλυκές Κίτρους δημιουργούν έναν υδροβιότοπο μεγάλης έκτασης και σημασίας, ο οποίος προστατεύεται από τις συνθήκες «Ράμσαρ» και «Βέρνης» (Βικιπαίδεια) (Φωτ. 3.2).



Φωτ. 3.1 Δέλτα ποταμών Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα (πηγή: Β. Μέλφος).



Φωτ. 3.2 Υδροβιότοπος Δέλτα Αξιού (πηγή: Β. Μέλφος).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι εδαφικές υποχωρήσεις-καθιζήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Καλοχωρίου αλλά και στην περιοχή της Σίνδου, του Δήμου Δέλτα, αποτελεί ένα πρόβλημα εντοπισμένο εδώ και πάρα πολλά χρόνια, δίνοντας την αφορμή για συνεχείς υψομετρικές παρακολουθήσεις μέσα από ερευνητικά προγράμματα.

Η σημερινή λιμνοθάλασσα του Καλοχωρίου δημιουργήθηκε σταδιακά από τα μέσα της δεκαετίας του 1950, ως αποτέλεσμα της καθίζησης του εδάφους που προκλήθηκε από την υπεράντληση νερών από τους υπόγειους υδροφορείς στο πεδίο των δελταϊκών αποθέσεων σε συνδυασμό με τη χαλαρή σύσταση του εδάφους. Την περίοδο 1955 – 1980 η Εταιρεία Ύδρευσης Θεσσαλονίκης εκτέλεσε πολλές γεωτρήσεις στην περιοχή του Γαλλικού ποταμού για την υδροδότηση της πόλης της Θεσσαλονίκης, ενώ στο ίδιο διάστημα έγιναν πολλές ακόμη γεωτρήσεις από αγρότες και από υδροβόρες βιομηχανίες που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή, π.χ. βαφεία.

Αποτέλεσμα ήταν ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής να υποχωρήσει κατά 36 μέτρα από το 1976. Επιπλέον η καθίζηση του εδάφους στο Καλοχώρι ήταν περίπου 1,20 μέτρα μεταξύ 1965 – 1975, ενώ στην δεκαετία του '90 έφτασε τα 2,5 μέτρα. Η άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν ο περιορισμός των αντλήσεων και η κατασκευή παράκτιου αναχώματος, αποστραγγιστικής τάφρου και αντλιοστασίου που προστατεύει το Καλοχώρι, από το 1976, από την εισροή του θαλασσινού νερού. Βέβαια το ανάχωμα αυτό συνεχώς ανυψώνεται κάτι που υποδηλώνει ότι οι αντλήσεις δεν έχουν διακοπεί στην περιοχή (Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα).

Σύμφωνα λοιπόν με το ερευνητικό πρόγραμμα του 2011 του εργαστηρίου Γεωδαισίας και Γεωματικής, του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ. (Σαββαΐδης κ.ά 2011), στην περιοχή του Καλοχωρίου εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά ένα χωροσταθμικό δίκτυο ελέγχου το φθινόπωρο του 1992. Το δίκτυο αυτό αποτελούνταν από 37 υψομετρικά σημεία ελέγχου που εγκαταστάθηκαν με τη συνδρομή των τεχνικών υπηρεσιών του τότε Ο.Υ.Θ. (Οργανισμού Ύδρευσης Θεσσαλονίκης) και πραγματοποιήθηκαν συνολικά 9 μετρήσεις από το 1992 έως και το 1998. Η υψομετρική εξάρτηση του δικτύου αυτού έγινε από υψομετρική αφετηρία που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 3,5 km από την προβληματική (υπό μελέτη) περιοχή και θεωρείται ότι είναι σταθερή και χωρίς προβλήματα καθιζήσεων.

Για τις ανάγκες της παρακολούθησης της περιοχής της Σίνδου ιδρύθηκε για πρώτη φορά ένα νέο χωροσταθμικό δίκτυο ελέγχου αποτελούμενο από 26 υψομετρικά σημεία που καλύπτουν ικανοποιητικά την περιοχή μελέτης (Σχήμα 3.1.3).



Σχήμα 3.1.3 Χάρτης της υπό μελέτης περιοχής Καλοχωρίου – Σίνδου (πηγή: Σαββαΐδης κ.ά 2011).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το 1992 έως το 1998 στο Καλοχώρι, οι καθιζήσεις φαίνεται να παρουσιάζουν μία μέγιστη ταχύτητα περίπου 4 cm/year και εντοπίζονται κυρίως στην νοτιοανατολική περιοχή του οικισμού του Καλοχωρίου και πλησίον του αναχώματος. Επιπλέον, από την αρχή των μετρήσεων μέχρι την τελευταία μέτρηση του 1998, οι μέγιστες τιμές καθιζήσεων που παρατηρήθηκαν ήταν της τάξης των 26 cm (Σαββαΐδης κ.ά 2011).

Οι παρατηρούμενες εδαφικές υποχωρήσεις στο Καλοχώρι αποδίδονται κατά κύριο λόγο σε παράγοντες που σχετίζονται με τις υπεραντλήσεις νερού από έναν μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων της περιοχής, από τις οποίες οι περισσότερες ανήκουν σήμερα στην Ε.Υ.Α.Θ. και οι υπόλοιπες είναι υδρευτικές γεωτρήσεις που έχουν ανοιχτεί από βιομηχανίες της περιοχής. Συγκεκριμένα, η μείωση της πίεσης του νερού των πόρων του εδάφους που προκαλείται γύρω από τη θέση της άντλησης και αντίστοιχα η αύξηση των ενεργών τάσεων συμβάλλουν σε μια κατάσταση που προκαλεί καθιζήσεις (Σαββαΐδης κ.ά 2011). Επίσης, η μεταφορά και η απομάκρυνση εδαφικών κόκκων μικρού μεγέθους που προκαλείται από τις αντλήσεις, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου του εδάφους και τελικά την καθίζηση της επιφάνειας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι από προηγούμενη έρευνα είχε προκύψει ότι με τη διακοπή της λειτουργίας των γεωτρήσεων της Ε.Υ.Α.Θ., ο ρυθμός των παρατηρούμενων υποχωρήσεων στην περιοχή των αντλιοστασίων υπέστη αισθητή μείωση. Αντίθετα, συνεχίστηκε ο ίδιος ρυθμός στις περιοχές των ιδιωτικών γεωτρήσεων όπου δεν υπάρχει έλεγχος των αντλήσεων.

Όσον αφορά την περιοχή της Σίνδου, σύμφωνα με την έρευνα από τους Σαββαΐδης κ.ά (2011), το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων πιθανότατα οφείλεται στο ίδιο το βάρος του νέου σχετικά γεωλογικού σχηματισμού που αποτίθεται πάνω από τους παλιότερους, καθώς είναι πιθανό ότι δεν έχει ολοκληρωθεί στην περιοχή η στερεοποίηση των διαφόρων εδαφών. Αυτός ο παράγοντας μπορεί να αφορά επίσης και την περιοχή του Καλοχωρίου.

Όπως προέκυψε από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των παλαιότερων αλλά και των νεότερων μετρήσεων του 2010, το φαινόμενο των εδαφικών υποχωρήσεων στην περιοχή Καλοχωρίου φαίνεται ότι συνεχίζεται μέχρι το 2010 με περίπου παρόμοιο τρόπο, όπως έδειχναν και οι παλαιότερες περίοδοι μέτρησης (Σαββαΐδης κ.ά. 2011).

Επιπλέον, σήμερα, η λιμνοθάλασσα του Καλοχωρίου καλύπτει μία έκταση 2.260 στρεμμάτων και ο πυθμένας της βρίσκεται από 0,5 έως 1 μέτρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (Φωτ. 3.3).

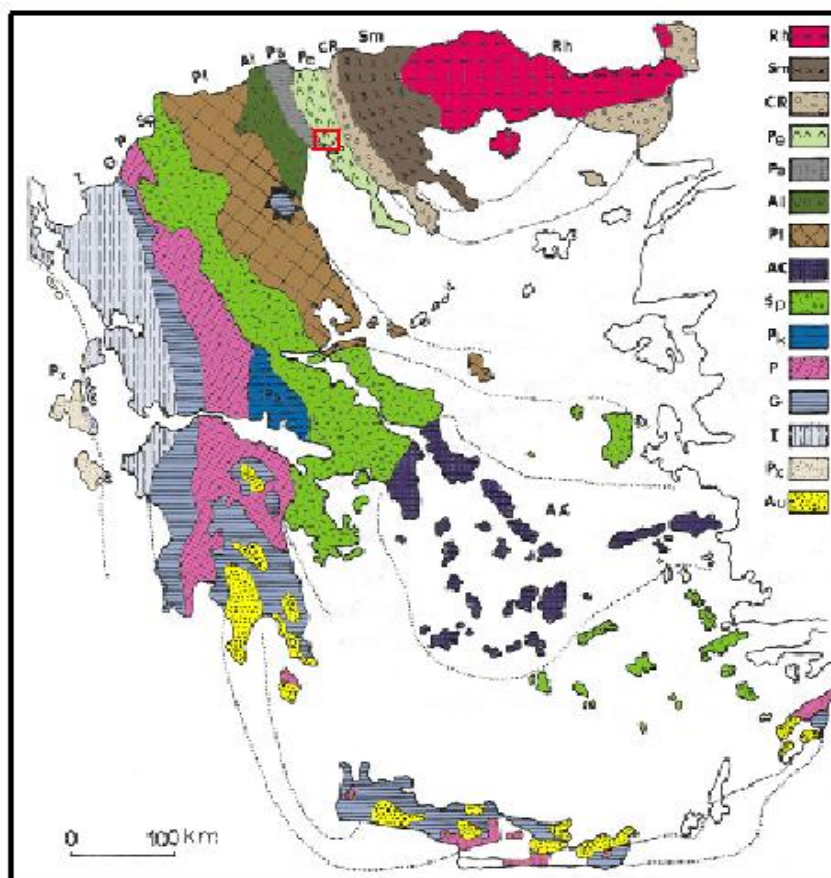


Φωτ. 3.3 Λιμνοθάλασσα Καλοχωρίου (πηγή: Β. Μέλφος).

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεωτεκτονικά η περιοχή έρευνας ανήκει γενικότερα στη ζώνη Αξιού, που το όνομά της οφείλεται στον ομώνυμο ποταμό της Κεντρικής Μακεδονίας (Σχήμα 3.2.1). Καθορίστηκε αρχικά σαν μία ζώνη με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση και πλάτος 30-70 km, παρεμβαλλόμενη μεταξύ της μάζας της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής μάζας προς τα ανατολικά και της Πελαγονικής ζώνης προς τα δυτικά. Υποδιαιρείται σε τρεις επιμέρους υποζώνες: την αύλακα (τεκτονικό βύθισμα) της Παιονίας προς τα ανατολικά, όπου ανήκει η ευρύτερη περιοχή της έρευνας, το ύβωμα του Πάικου στο μέσο και την αύλακα της Αλμωπίας προς τα δυτικά (Μουντράκης 2010).

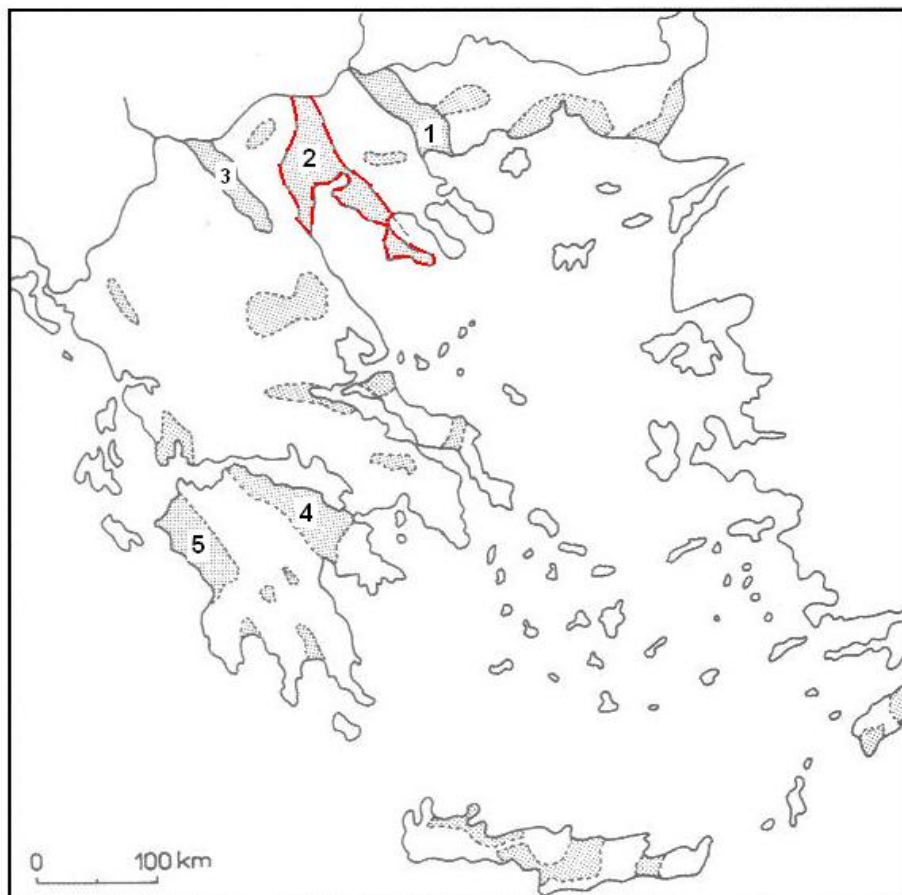
Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης Αξιού αποτελούν οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν εξάπλωση σε όλο το χώρο της και συνιστούν στο σύνολό τους την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» της Ελλάδας γνωστή με το όνομα “ΙΡΟ” (Μουντράκης 2010). Αυτά τα οφειολιθικά πετρώματα, βέβαια, δεν εμφανίζονται στην Νεογενή – Τεταρτογενή ιζηματογενή λεκάνη της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 3.2.1 Γεωτεκτονικές ζώνες του ελληνικού χώρου (Μουντράκης 2010) και η περιοχή μελέτης.

Γενικότερα, τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα αποτίθενται σε λεκάνες τεκτονικές ή μη που σχηματίσθηκαν μετά την ορογένεση (Σχήμα 3.2.2). Τα ιζήματα αυτά είναι θαλάσσια, λιμναία και ποταμοχειμάρρια και σχηματίζονται σε αντίστοιχες λεκάνες ή σε λεκάνες στις οποίες οι συνθήκες εναλλάσσονται από θαλάσσιες σε χερσαίες (Μουντράκης 2010).

Η Νεογενής – Τεταρτογενής λεκάνη Αξιού – Θεσσαλονίκης (ευρύτερη περιοχή έρευνας) αποτελεί μία λεκάνη-κοιλάδα μεγάλου πλάτους, διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ που εκτείνεται από τα βόρεια ελληνικά σύνορα προς τη Θεσσαλονίκη και συνεχίζει στον Θερμαϊκό κόλπο (Σχήμα 3.2.2). Αναπτύσσεται πάνω στο γεωλογικό χώρο της παλιάς Αλπικής ζώνης Αξιού και της Τριτογενούς μολασσικής «αύλακας Αξιού», τα ιζήματα της οποίας καλύπτονται στη μεγαλύτερη έκτασή τους από τα νεότερα Ολοκαινικά ποταμοχειμάρρια και λιμναία ιζήματα της νέας λεκάνης Αξιού – Θεσσαλονίκης (Μουντράκης 2010).



Σχήμα 3.2.2 Χάρτης με τις κυριότερες Νεογενείς – Τεταρτογενείς λεκάνες της Ελλάδας με διάταξη παράλληλα στον ορογενετικό άξονα των Ελληνίδων (Μουντράκης 2010).

1: Στρυμόνα – Σερρών. **2:** Αξιού – Θεσσαλονίκης. **3:** Φλώρινας – Πτολεμαΐδας. **4:** Βορειοανατολικής Πελοποννήσου. **5:** Δυτικής Πελοποννήσου.

Σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000, “Φύλλο Θεσσαλονίκης” (Kockel et al. 1978) και “Φύλλο Πλατύ” (Μέττος και Κουτσουβέλης 1983) καθώς και το υπόμνημα αυτών (Σχήματα 3.2.3, 3.2.4), η ευρύτερη περιοχή μελέτης δομείται γενικά από Τεταρτογενείς (Ολοκαινικές) αδιαίρετες αποθέσεις όπως παράκτιες αποθέσεις (π.χ. άμμοι), προσχώσεις πεδιάδων και κοιλάδων (π.χ. αμμούχες άργιλοι, πηλοί) και ερυθρές άργιλοι με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στη βάση τους επικρατούν κυρίως κροκαλοπαγή.

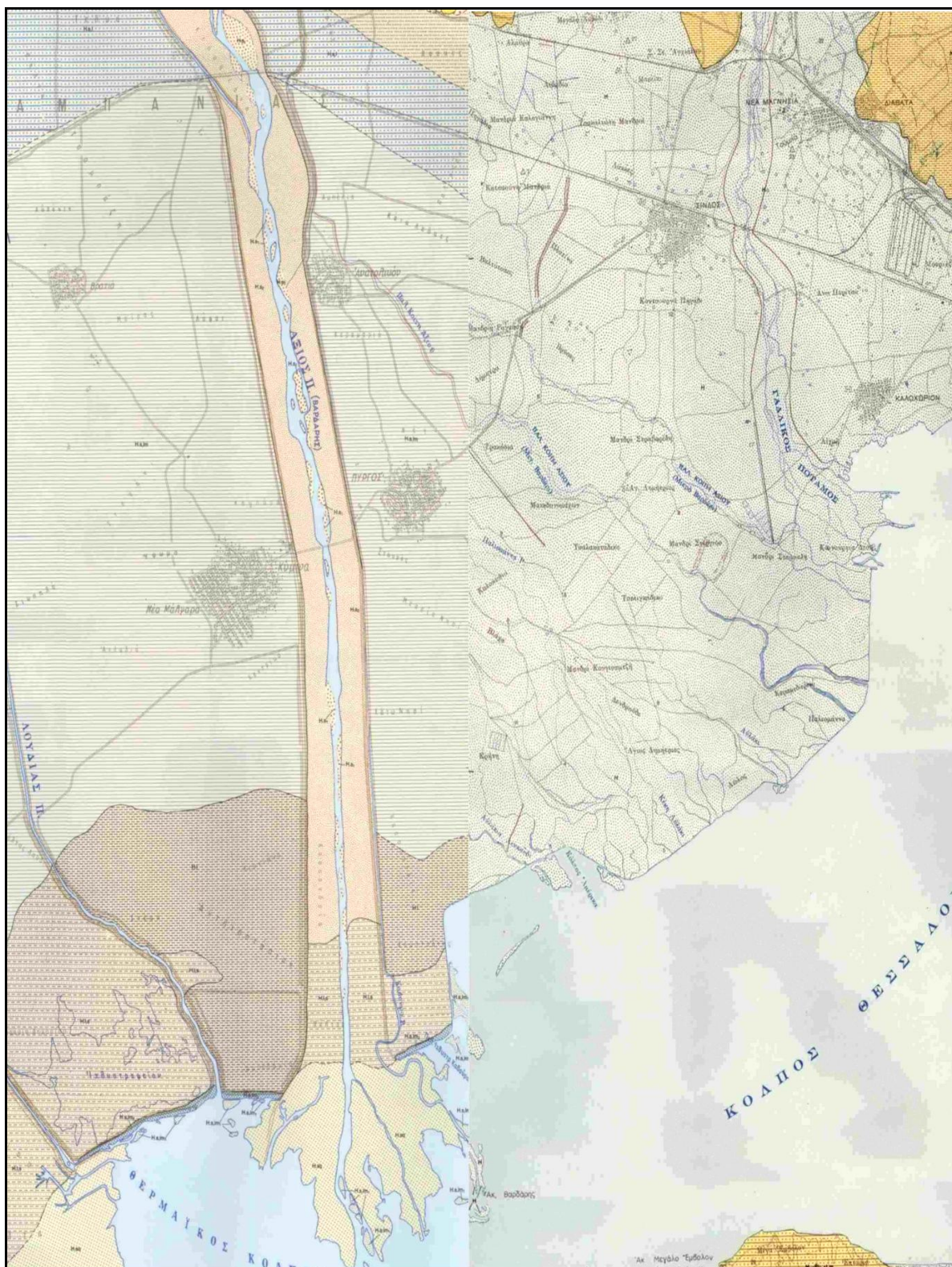
Δυτικά της περιοχής έρευνας, κυρίως στις Δημοτικές Ενότητες Αξιού και Χαλάστρας, σύμφωνα με το “Φύλλο Πλατύ” και το υπόμνημα αυτού, σε εκτενείς αβαθείς περιοχές επικρατούν τόσο θαλάσσιες αποθέσεις όσο και εναλλαγές θαλάσσιων, ποτάμιων και υφάλμυρων ιζημάτων που φτάνουν σε βάθος μέχρι και 100 m.

Οι θαλάσσιες αποθέσεις αποτελούνται από εναλλαγές λεπτόκοκκων, αργιλούχων πηλών, πηλούχων αργίλων και ενστρώσεων αδρομερών υλικών. Μέσα στα ιζήματα αυτά απαντούν αρτίγωνα θαλάσσια κελύφη. Μάλιστα τα αδρομερή υλικά προέρχονται από την προοδευτική προέκταση της ακτής και το δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα. Οι εναλλαγές θαλάσσιων, ποτάμιων και υφάλμυρων ιζημάτων αποτελούνται από αργίλους, λεπτόκοκκους άμμους, αμμούχους πηλούς και αμμούχους αργίλους. Το χρώμα των αποθέσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με το είδος και τη στρωματογραφική τους θέση.

Επιπρόσθετα κατά μήκος των κοιτών των ποταμών της περιοχής παρατηρούνται συσσωρεύσεις άμμων, ενώ εκατέρωθεν των κοιτών και μεταξύ των προστατευτικών αναχωμάτων παρατηρούνται λεπτόκοκκοι άμμοι, πηλοί και πηλούχοι άμμοι. Ακόμη, στα δέλτα των ποταμών όπου παρευρίσκονται τέλματα, υφάλμυρα νερά και ελώδη φυτά απαντώνται αποθέσεις λεπτόκοκκων άμμων, πηλών και αργιλούχων πηλών. Στη βόρεια περιοχή των δέλτα, επικρατούν αποθέσεις άμμων, πηλών, αργίλων και διάφορων συνδυασμών αυτών με χαρακτηριστικό τεφρόμαυρο χρώμα, ενδεικτικό της παρουσίας οργανικής ύλης που προέρχεται από τα ελώδη φυτά.

Ανατολικά της περιοχής έρευνας και μόνο στη Δημοτική Κοινότητα Διαβατών (Δημοτική Ενότητα Εχεδώρου), σύμφωνα με το “Φύλλο Θεσσαλονίκης” και το υπόμνημα αυτού, επικρατεί η “Σειρά ερυθρών αργίλων” του Νεογενούς (Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο). Η σειρά αυτή χαρακτηρίζεται από ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις αργίλους, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα.

Στην επιφάνεια του εδάφους, σε ορισμένες θέσεις, είναι δυνατόν να βρεθούν αλλουβιακές αποθέσεις και υλικά εκσκαφών (μπάζα) μικρής έκτασης που καλύπτουν τις αποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 3.2.3 Γεωλογικός Χάρτης Δήμου Δέλτα, “Φύλλο Πλατύ” στα αριστερά (Μέττος και Κουτσοβέλης 1983) και “Φύλλο Θεσσαλονίκης” στα δεξιά (Kockel et al. 1978).

ΟΛΟΚΛΙΝΟ

Προσχωματικά υλικά χειμάρρων: ασύνδετα υλικά από άμμους, κροκάλες, λεπτομερή αργιλοαμμώδη και πηλοαμμώδη υλικά. Το πάχος των αποθέσεων αυτών φθάνει τα 15-20 μ.



ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ
ΝΕΟΓΕΝΕΣ

Στην περιοχή του φύλλου «Κουφάλια» (Βαθύλακος, Νέα Μεσημβρία), στους σχηματισμούς αυτούς Βεβήθηκαν από διάφορους ερευνητές τα παρακάτω απολιθώματα:



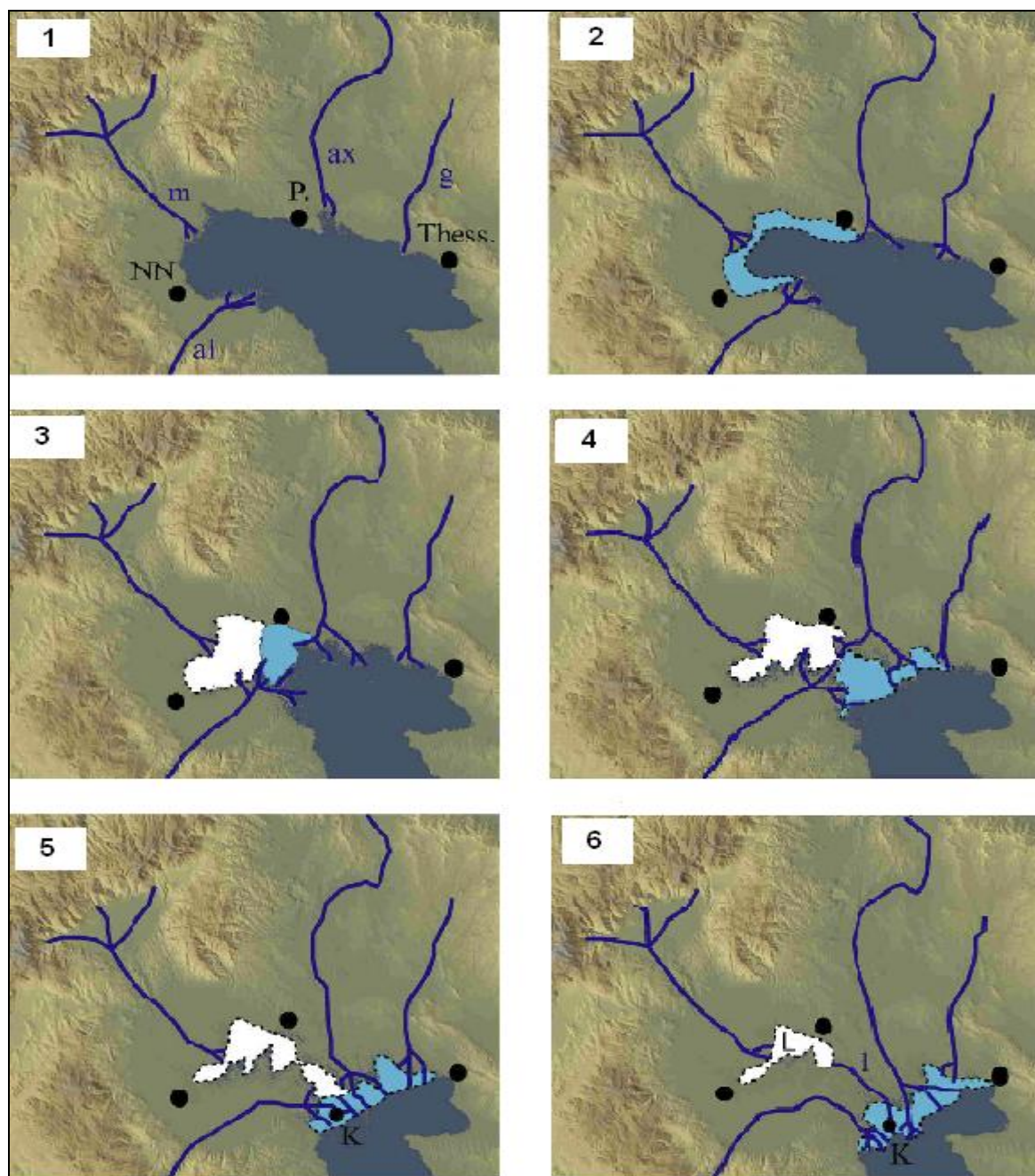
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.3 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γενικότερα, κατά το Ανώτερο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο (~25 Mya), στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και του Θερμαϊκού Κόλπου, σχηματίστηκε ένα επίμηκες τεκτονικό βύθισμα (λεκάνη) ως αποτέλεσμα εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Η λεκάνη σταδιακά πληρωνόταν κυρίως με κλαστικά (κροκαλοπαγή, άμμοι, άργιλοι) και τοπικά ασβεστολιθικά (ασβεστόλιθοι, μάρμες) ιζήματα, τα οποία αποτέθηκαν σε διαδοχικά σύνθετα αποθετικά παλαιο-περιβάλλοντα κατά το Μειόκαινο (22,5-5 Mya), Πλειόκαινο (5-1,8 Mya) και Πλειστόκαινο (1,8-0,001 Mya) (Ghilardi et al. 2008).

Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το Πλειόκαινο σημειώνεται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή της Αλμωπίας με απόθεση τόφφων και ηφαιστειακής τέφρας. Μεταξύ Πλειόκαινου και Πλειστόκαινου στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης και εξαιτίας της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας, λαμβάνει χώρα βύθιση του υποβάθρου της λεκάνης. Επιπλέον, η έντονη τεκτονική καταπόνηση που δέχεται η περιοχή την περίοδο αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη διάνοιξη των στενών του Αλιάκμονα και του Αξιού καθώς και την είσοδο μεγάλων ποσοτήτων κλαστικού υλικού που κάλυψαν την περιοχή. Το κλαστικό αυτό υλικό εναποτέθηκε σε συνθήκες θαλάσσιας, λιμναίας και ποταμοχειμάρριας ιζηματογένεσης, διαμορφώνοντας την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης (Ghilardi et al. 2008).

Κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου (~12.000 χρόνια έως σήμερα), οι αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης προκαλούσαν συνεχείς παλινδρομήσεις της παλαιοακτής, παράλληλα με τη συνεχή απόθεση όλο και περισσότερων ιζημάτων στην περιοχή λόγω της δράσης κυρίως των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα (Σχήμα 3.3.1). Έτσι, με την πάροδο των χρόνων, συνεχώς μειωνόταν η επιφανειακή έκταση της θάλασσας με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί η σημερινή μορφολογία της περιοχής με όλα τα χαρακτηριστικά των οποίων η περιγραφή έγινε παραπάνω στο Υποκεφάλαιο 3.1 (Vouvalidis et. al. 2005, Fouache et al. 2008, Ghilardi et al. 2008).



Σχήμα 3.3.1 Σχεδιαγράμματα της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της λεκάνης Αξιού – Θεσσαλονίκης τα τελευταία 5.000 χρόνια του Ολοκαίνου (Ghilardi et al. 2008).
1: Νεολιθική Εποχή έως 3.000 π.Χ. **2:** Εποχή του Χαλκού **3:** Ύστερη Εποχή του Χαλκού **4:** Αρχαϊκή και Κλασσική Περίοδος **5:** Ρωμαϊκή Περίοδος **6:** 400 μ.Χ. έως 1908 μ.Χ.

Υπόμνημα:

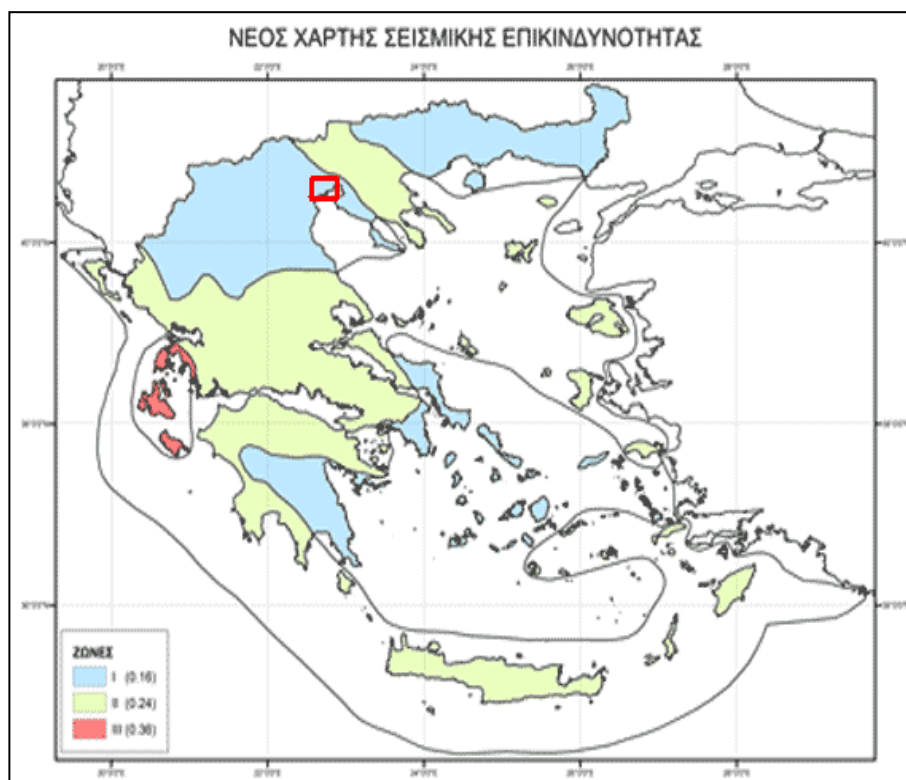
al = Αλιάκμονας ποταμός	NN = Νέα Νικομήδεια (Νεολιθική Εποχή)	Λευκό: Περιοχή λίμνης
ax = Αξιός ποταμός	K = Ρωμαϊκή γέφυρα Κλειδιού (3 ^{ος} αι. μ.Χ.)	Γαλάζιο: Ρηχή υφάλμυρη λιμνοθαλάσσια περιοχή
g = Γαλλικός ποταμός	P. = Πέλλα (5 ^{ος} αι. π.Χ.)	m = Μογλενίτσας ποταμός
Thess. = Θεσσαλονίκη	l = Λουδίας ποταμός	L = Λίμνη Λουδία

3.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι κυριότερες ρηξιγενείς δομές που εμφανίζονται στην πόλη της Θεσσαλονίκης είναι εφελκυστικές, έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και σύμφωνα με νεοτεκτονικές μελέτες της περιοχής, όπως αναφέρουν οι Tranos et al. (2003) αποτελούν, γενικά, δομές που δραστηριοποιήθηκαν κυρίως κατά το Πλειόκαινο – Κατώτερο Πλειστόκαινο.

Ωστόσο στην περιοχή του Δήμου Δέλτα δεν υπάρχουν σημαντικές τεκτονικές δομές, δηλαδή ρήγματα, που θα προκαλούσαν τη δημιουργία σεισμών. Ακόμη, στη συγκεκριμένη περιοχή δεν έχουν καταγραφεί σημαντικά μεγάλοι σεισμοί, τουλάχιστον από τότε που υπάρχουν σχετικά στοιχεία. Ο πιο πρόσφατος σεισμός ήταν αυτός που σημειώθηκε στις 18/07/2007 με μέγεθος 4,7 της κλίμακας Ρίχτερ. Η σεισμική δόνηση είχε επίκεντρο 15 χιλιόμετρα δυτικά της Θεσσαλονίκης και 3 χιλιόμετρα νότια του Καλοχωρίου (Δημοσιογραφικό Συγκρότημα, Μακεδονία, 19/07/2007).

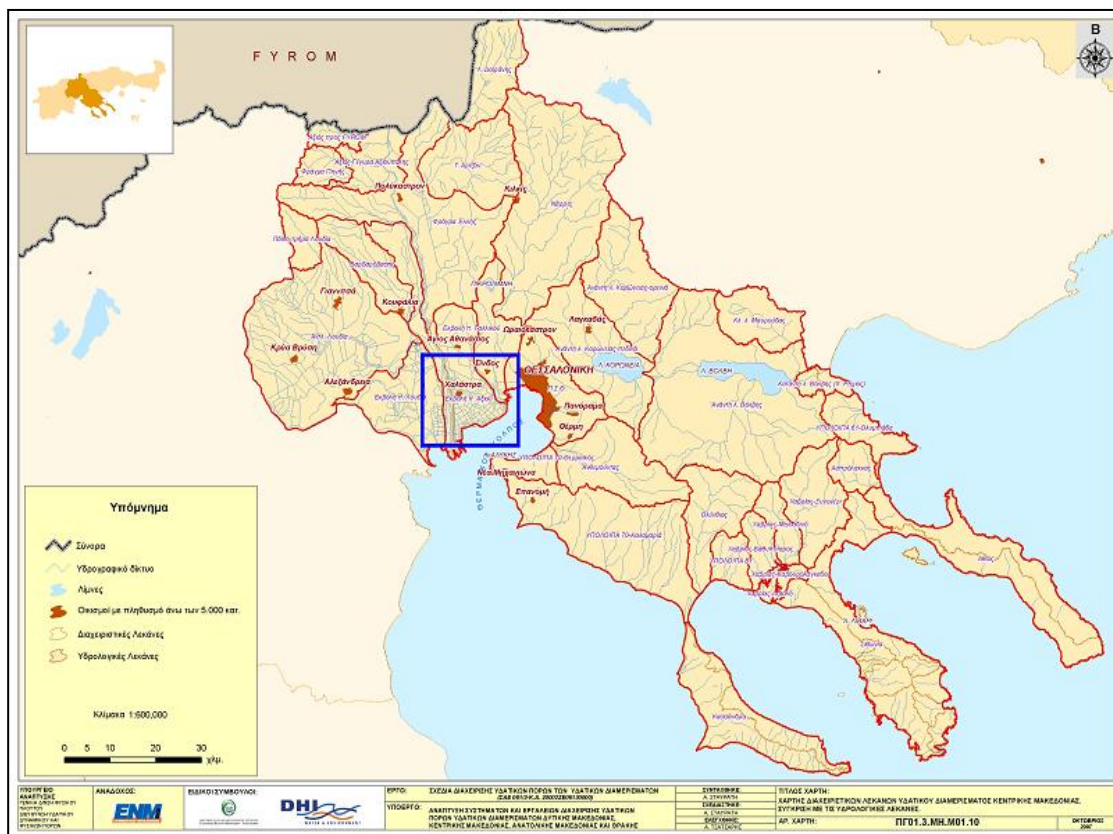
Σύμφωνα με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ. - Έκδοση 2000) η ευρύτερη περιοχή μελέτης του Δήμου Δέλτα και συγκεκριμένα των Δημοτικών Ενοτήτων Αξιού, Εχεδώρου και Χαλάστρας ανήκει στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ι (γαλάζιου χρώματος) με συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης $\alpha=0,16$ g (Σχήμα 3.4.1).



Σχήμα 3.4.1 Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας Ελλάδας του Ε.Α.Κ. – 2000 (σύμφωνα με Φ.Ε.Κ. 1154Β/12.8.2003) (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας).

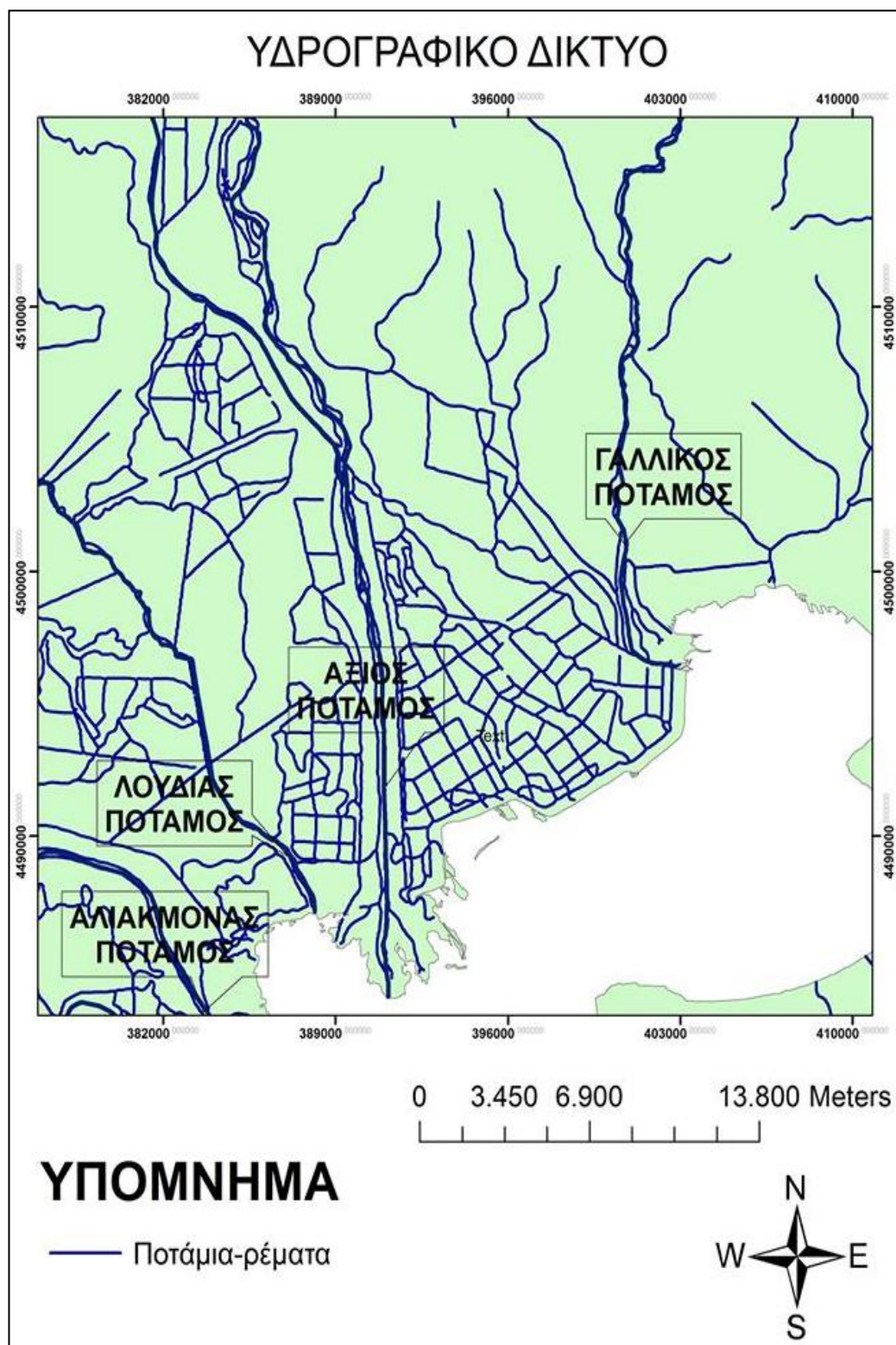
3.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Από υδρογεωλογική άποψη η περιοχή έρευνας ανήκει στο υπ' αριθμόν 10 υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας, το οποίο είναι αυτό της Κεντρικής Μακεδονίας, με έδρα τη Θεσσαλονίκη (Σχήμα 3.5.1).



Σχήμα 3.5.1 Χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (σε μπλε πλαίσιο βρίσκεται η περιοχή μελέτης) (πηγή: Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, αριθμός χάρτη: ΠΓ01.3.ΜΗ.Μ01.10, 2007).

Το υδατικό διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας ορίζεται βόρεια από τη συνοριακή γραμμή με την Π.Γ.Δ.Μ. και νότια 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 και του Μαυροβουνίου καθώς και τον κόλπο του Ορφανού σύμφωνα με την Δασκαλάκη (2002). Το υδατικό διαμέρισμα αυτό έχει έκταση 10.390 km², ο ετήσιος όγκος βροχής και απορροής του είναι 6.068 hm³ και 2.606 hm³ αντίστοιχα, ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα των υδροφορέων του είναι 1.360 hm³ (1 hm = 100 m) (Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού 2003).



Σχήμα 3.5.2 Χάρτης υδρογραφικού δικτύου της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης ύστερα από επεξεργασία με το πρόγραμμα “ArcMap” του “ArcGIS” (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών).

Όπως αναφέρθηκε και στο Υποκεφάλαιο 3.1, οι ποταμοί Αξιός και Γαλλικός αλλά και ο Λουδίας (Σχήμα 3.5.2) έχουν επηρεάσει τη σημερινή μορφολογία της περιοχής μελέτης και γενικότερα της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης, καθορίζοντας ως ένα βαθμό και τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν.

Ο Αξιός αποτελεί τον κύριο μορφογενετικό παράγοντα του Θερμαϊκού Κόλπου. Στη λεκάνη απορροής του περιλαμβάνονται ολόκληρη η Π.Γ.Δ.Μ., μικρό μέρος της δυτικής Βουλγαρίας, μικρό μέρος της Σερβίας, και στην Ελλάδα οι νομοί Φλώρινας, Κιλκίς, Πέλλας και Θεσσαλονίκης. Μάλιστα, το 93% της λεκάνης απορροής του βρίσκεται στην Π.Γ.Δ.Μ. (Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα και Τσομπάνογλου 2011).

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η εκβολή του Αξιού βρισκόταν λίγα χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Θεσσαλονίκης απειλώντας με αποκοπή της θαλάσσιας πρόσβασης στο λιμάνι λόγω της συνεχούς απόθεσης τεράστιων όγκων από φερτά υλικά στον Θερμαϊκό. Η κοίτη του ποταμού μετατοπίστηκε με τεχνικά έργα στη θέση που βρίσκεται σήμερα. Τα έργα ξεκίνησαν το 1930 και ολοκληρώθηκαν το 1934. Από τότε το δέλτα του ποταμού εξελίχθηκε γρήγορα δημιουργώντας μία εκτεταμένη δελταϊκή πεδιάδα. (Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα). Όμως, πρόσφατες μετρήσεις δείχνουν ότι η μείωση της υδατοπαροχής και στερεοπαροχής του έχουν ως αποτέλεσμα τη διάβρωση του δέλτα κατά τα τελευταία 30 χρόνια σύμφωνα με τους Karageorgis et al. (2005). Κατά μήκος της κοίτης του Αξιού υπάρχουν μέχρι στιγμής 13 φράγματα από τα οποία τα δώδεκα είναι σε παραπόταμους του στην Π.Γ.Δ.Μ. σύμφωνα και με τους Poulos et al. (2000).

Όσον αφορά τον ποταμό Γαλλικό αξίζει να αναφερθεί ότι η παροχή του είναι γενικά μικρή και κατά τόπους μηδενική. Η εξαντλητική χρησιμοποίηση των υπόγειων υδάτων μέσω της διάνοιξης μεγάλου αριθμού γεωτρήσεων από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχε ως αποτέλεσμα την καθίζηση των εδαφών και την πτώση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του Καλοχωρίου κατά 36 m (Τσομπάνογλου 2011) (βλ. και Υποκεφάλαιο 3.1).

Ο ποταμός Λουδίας που βρίσκεται μεταξύ των ποταμών Αλιάκμονα και Αξιού (Σχήμα 3.5.2), χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μικρή παροχή και κατά τους θερινούς μήνες, όπου και σημειώνονται οι ελάχιστες απορροές, το θαλασσινό νερό εισέρχεται στην κοίτη του (Τσομπάνογλου 2011). Μάλιστα μεγάλο μέρος του έχει μετατραπεί σε τεχνητό κανάλι μέσω του οποίου επιτεύχθηκε η αποξήρανση της λίμνης των Γιαννιτσών (Βικιπαίδεια).

Στον Πίνακα 3.5.1 παρουσιάζονται τα υδρολογικά δεδομένα των τριών αυτών ποταμών, όπως προκύπτουν από τις υπάρχουσες χρονοσειρές, από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 1998 κατά τη διάρκεια του προγράμματος “Metro-Med” σύμφωνα με

τους Karamanos and Polyzonis (2000) και από χωρικούς υπολογισμούς με βάση το εμβαδόν των λεκανών απορροής σύμφωνα με τους Kapsimalis et al. (2005).

Πίνακας 3.5.1 Υδρολογικά δεδομένα των ποταμών Αξιού, Γαλλικού και Λουδία (Τσομπάνογλου 2011).

Υδρολογικά Στοιχεία	Αξιός	Γαλλικός	Λουδίας
Λεκάνη απορροής (km ²)	23.760	1.055	1.250
Απορροή ποτάμιου νερού (10⁶ m³/έτος)			
Μέση ετήσια	4.702	62	78
Συνολική απορροή		4.842	
Περίοδος μέγιστης απορροής (σε μήνες)	Ιανουάριος - Μάιος	Ιανουάριος - Μάιος	Δεκέμβριος - Ιανουάριος
Περίοδος ελάχιστης απορροής (σε μήνες)	Ιούλιος - Νοέμβριος	-	-
Φερτά υλικά (10⁶ t/έτος)			
α. Αιωρούμενο φορτίο	13,20	0,08	0,08
β. Διαλυμένο φορτίο	1,32	0,01	0,01
γ. Φορτίο πυθμένα	1,98	0,01	0,01
Ολικό φορτίο (α+β+γ)	16,50	0,10	0,10
Συνολικό φορτίο		16,70	

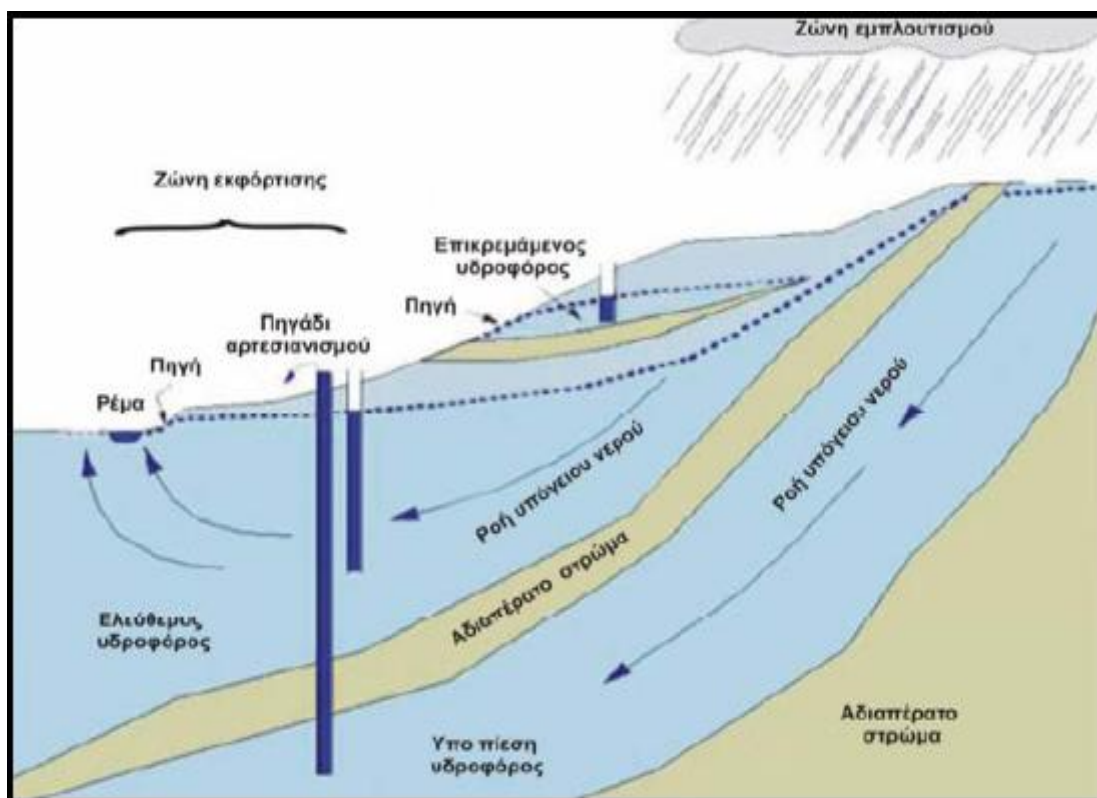
Από τα στοιχεία του Πίνακα 3.5.1 συμπεραίνουμε ότι ο Αξιός είναι ο βασικός ποτάμιος τροφοδότης στον Θερμαϊκό Κόλπο. Μάλιστα οι μέγιστες απορροές εμφανίζονται την άνοιξη, συνήθως τον Απρίλιο, όταν αρχίζει η τήξη των χιονιών της λεκάνης απορροής του. Μεγάλες παροχές εμφανίζονται στο τέλος του χειμώνα, συνήθως το Φεβρουάριο. Οι ελάχιστες τιμές που σημειώνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι το αποτέλεσμα της αυξημένης χρήσης των υδάτων στην άρδευση (Τσομπάνογλου 2011).

Επιπρόσθετα είναι γνωστό ότι οι υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής καθορίζονται κατά κύριο λόγο από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων και από τη γεωλογική σύσταση και δομή των σχηματισμών της (Δασκαλάκη 2002, Μάττας 2009). Τα ιζηματογενή πετρώματα που δομούν την περιοχή του Δήμου Δέλτα, λόγω των διαφορετικών λιθοστρωματογραφικών και ιζηματογενών χαρακτηριστικών τους, παρουσιάζουν διαφορετική υδρογεωλογική συμπεριφορά. Έτσι, διαχωρίζονται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Στους υδροπερατούς ανήκουν τα Νεογενή και τα Τεταρτογενή στρώματα των κροκαλοπαγών και των ψαμμιτών, καθώς και τα αδρόκοκκα υλικά. Ημιπερατούς σχηματισμούς αποτελούν πετρώματα όπως λεπτόκοκκοι ψαμμίτες και αποθέσεις που εμφανίζουν υψηλό ποσοστό αργίλου και λεπτόκοκκου υλικού. Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

είναι από τα Νεογενή πετρώματα οι μάργες και οι ερυθροί πηλοί, ενώ από τα Τεταρτογενή οι άργιλοι και οι πηλοί (Δασκαλάκη 2002).

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης, οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από άμμους, αργιλομιγείς άμμους, αδρομερείς αποθέσεις κροκάλων και χαλικιών με χαμηλό ποσοστό αργίλου, καλύπτουν τις λεκάνες των ποταμών και των χειμάρρων και αποτελούν τους σημαντικότερους, από άποψη δυναμικότητας, υδροφόρους σχηματισμούς. Οι αποθέσεις αυτές στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης τροφοδοτούνται κυρίως από τα επιφανειακά νερά των ποταμών που διαρρέουν την περιοχή, δηλαδή ο ποταμός Λουδίας και ο κάτω ρους των ποταμών Γαλλικού και Αξιού (Δασκαλάκη 2002, Psimoulis et al. 2007), καθώς και από τους πετρολογικούς σχηματισμούς των περιθωρίων βόρεια της λεκάνης, που αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, γάββρους και σερπεντινίτες. Ωστόσο σημαντικού πάχους αργιλικά υλικά παρεμβάλλονται μεταξύ των παραπάνω σχηματισμών, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τόσο ελεύθερων (φρεάτιων) υδροφορέων όσο και βαθύτερων υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων (Σχήμα 3.5.3) (Μιχαηλίδου 2013).



Σχήμα 3.5.3 Είδη υδροφόρων οριζόντων (προσαρμοσμένο από: www.usgs.gov) (πηγή: Μιχαηλίδου 2013).

4. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΥΔΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

Η Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης (ΒΙ.ΠΕ.Θ.) αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες της Ελλάδος όπου για αρκετά χρόνια δραστηριοποιούνται αρκετές βιομηχανίες, όπως βιομηχανίες παραγωγής και επεξεργασίας αλουμινίου, επιμεταλλώσεων υλικών και συσκευών, συγκόλλησης και κοπής μετάλλων, ξυλείας, επεξεργασίας χάρτου καθώς και ποικίλα μηχανουργεία, ηλεκτρομηχανουργεία, βιοτεχνίες βυρσοδεψίας, χρωμάτων, υφασμάτων, απορρυπαντικών κ.τ.λ., ρυπαίνοντας σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον της περιοχής. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί κατάλληλες μονάδες επεξεργασίας όλων των ειδών των αποβλήτων αλλά και των αστικών λυμάτων.

Συγκεκριμένα στην περιοχή της Σίνδου πλησίον του Γαλλικού ποταμού βρίσκεται η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων – Βοθρολυμάτων Θεσσαλονίκης (Ε.Ε.Λ.Θ.) και η Μονάδα Επεξεργασίας Βιομηχανικών Αποβλήτων της ΒΙ.ΠΕ.Θ. (Μ.Κ.Α. = Μονάδα Κατεργασίας Αποβλήτων). Στο Αγγελοχώρι Θεσσαλονίκης έχει κατασκευαστεί η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων – Βοθρολυμάτων των Τουριστικών περιοχών (Ε.Ε.Λ. ΑΙΝΕΙΑ) (βλ. Σχήμα 3.1.2 Υποκεφάλαιο 3.1). Οι εγκαταστάσεις αυτές διοχετεύουν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στον κόλπο της Θεσσαλονίκης μέσω δύο υποθαλάσσιων αγωγών. Ο αγωγός της Ε.Ε.Λ.Θ. εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο στην περιοχή Καλοχωρίου (Τσομπάνογλου 2011). Από το 2001 η λυματολάσπη που προέρχεται από την Ε.Ε.Λ.Θ. αποτίθεται στην γύρω περιοχή.

Το θαλάσσιο περιβάλλον του κόλπου της Θεσσαλονίκης δέχεται ανθρωπογενείς πιέσεις από τις ποικίλες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη. Αξίζει να αναφερθεί ότι η θαλάσσια περιοχή του κόλπου έχει χαρακτηριστεί ως «ευαίσθητη» με βάση το Προεδρικό Διάταγμα 19661/1982/1999 και την Κ.Υ.Α. 48392/939 Φ.Ε.Κ. Β 3-4-2002: «Τροποποίηση της Κ.Υ.Α. 5673/400/97 «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων» (Β/192) – Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών λυμάτων σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ. 1) της απόφασης αυτής».

Αποδέκτης των λυμάτων από τη Μ.Κ.Α. της ΒΙ.ΠΕ.Θ. στη Σίνδο είναι η στραγγιστική κεντρική συλλεκτήρια τάφρος “Γέφυρας” και τα λύματα αυτά καταλήγουν στον Θερμαϊκό. Οι αγωγοί των σταθμών αυτών αποτελούν σημειακές πηγές θρεπτικών οργανικών ρυπαντών και ίχνη μετάλλων στο θαλάσσιο σύστημα. Κατά την αρδευτική περίοδο υδάτινες μάζες

εξέρχονται από τα τέσσερα αντλιοστάσια, στα οποία καταλήγει το πλεονάζον νερό του αρδευτικού δικτύου της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης (Τσομπάνογλου 2011).

Τα επικρατέστερα ανόργανα συστατικά που βρίσκονται συγκεντρωμένα στα φυσικά ύδατα, εκτός 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-}) ιόντα. Άλλα ιόντα όπως αμμωνιακά, νιτρώδη, φωσφορικά και φθόριο υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις και είναι σημαντικά είτε για τη βιολογία του νερού είτε γιατί επηρεάζουν συγκεκριμένες βιομηχανικές εφαρμογές του (Μπαμπάτσικου 2014).

Παρόλα αυτά, εκτός από τα παραπάνω στοιχεία, τα φυσικά ύδατα, επιφανειακά και υπόγεια, μπορεί να περιέχουν ιχνοστοιχεία και βαρέα μέταλλα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα αυτών, τα ύδατα κρίνονται ως πόσιμα ή μη πόσιμα και η αυξημένη συγκέντρωσή τους πάνω από το επιτρεπτό όριο οδηγεί στη ρύπανσή τους. Μάλιστα το υπόγειο νερό είναι αυτό που χρησιμοποιείται ως πόσιμο, εξέρχεται από γεωτρήσεις και εκτός από την χλωρίωση, δεν υφίσταται άλλη επεξεργασία γιατί θεωρείται ότι είναι απαλλαγμένο από ακαθαρσίες που υπάρχουν στα επιφανειακά νερά (Σπηλιωτόπουλος 2008).

Πολύ σημαντικός παράγοντας κινδύνου είναι η αυξημένη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα ύδατα. Τα βαρέα μέταλλα (π.χ. As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn κ.ά.) που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από $5,0 \text{ gr/cm}^3$, αποτελούν επικίνδυνους ρύπους αφού δεν αποικοδομούνται με φυσικές διεργασίες και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι εισέρχονται στον βιοχημικό κύκλο και συγκεντρώνονται σε οργανισμούς προκαλώντας διαταραχές στις βιολογικές δράσεις, χρόνιες βλάβες σε ζωτικά όργανα έως και τον θάνατο όταν βρίσκονται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες. Η παρουσία τους στα επιφανειακά νερά προέρχεται τόσο από φυσικές διεργασίες (διάβρωση, αποσάθρωση πετρωμάτων και μεταλλοφοριών), όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, αγροτικές δραστηριότητες, χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, ατμοσφαιρικές αποθέσεις, μεταλλεία κ.ά.) (Deutsch 1997).

Η θάλασσα αποτελεί τον φυσικό αποδέκτη των ποταμών, των ρεμάτων και των τάφρων με αποτέλεσμα η ποιότητα του θαλασσινού νερού να επηρεάζεται άμεσα από αυτά. Η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα επιφανειακά νερά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από φυσικούς (κλίμα, έδαφος), χημικούς (προσρόφηση και απελευθέρωση από τα ιζήματα ή αιωρούμενα σωματίδια) και βιολογικούς (αποικοδόμηση οργανικής ύλης) παράγοντες (Ανθεμίδης κ.ά. 2002, Μίσσας 2008, Γιούρη 2008, Giouri et al. 2010 a, b).

Συγκεκριμένα τα ποτάμια, οι παραπόταμοι, τα ρέματα, οι τάφροι και οι λίμνες της Βόρειας Ελλάδας δέχονται αφενός τα νερά της υδρολογικής τους λεκάνης και τα στραγγίσματα του αρδευτικού συστήματος της περιοχής και αφετέρου βιομηχανικά και αστικά απόβλητα που καταλήγουν στη συνέχεια στο Θερμαϊκό Κόλπο. Η μέτρηση των βαρέων μετάλλων και άλλων στοιχείων με περιβαλλοντικό ενδιαφέρον στα επιφανειακά νερά της Μακεδονίας πραγματοποιείται με παράλληλη εξέταση της χρονικής και τοπικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων σε σχέση με τις κύριες αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τις πηγές προέλευσής τους και να δοθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της πιθανής ρύπανσης των υδάτων (Ανθεμίδης κ.ά. 2002, Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002).

Η πορεία του επιφανειακού νερού προς τον υδροφορέα καθορίζεται καταρχάς από φυσικές διεργασίες (διήθηση, προσρόφηση, διάλυση αλάτων κ.ά.). Κατά την πορεία αυτή η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στο υπόγειο νερό μεταβάλλεται και συνεπώς αλλάζουν και οι φυσικοχημικές του ιδιότητες. Επιπλέον η μεταφορά στο υπόγειο νερό διάφορων χημικών ενώσεων που βρίσκονται στους επιφανειακούς ρυπαντές μέσω του διηθούμενου νερού, ρυπαίνει τους υπόγειους υδροφορείς που βρίσκονται σε περιοχές με καλλιέργειες και αγροκτήματα (Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002).

Για παράδειγμα, τα λιπάσματα και τα ζωικά λύματα αποτελούν κυρίως αζωτούχες και φωσφορούχες ανόργανες ή οργανικές ενώσεις που περιέχουν και συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων όπως As, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, V, Sr, Zn. Η υπερβολική χρήση λιπασμάτων έχει ως αποτέλεσμα την παραμονή των ρύπων στο έδαφος και τη διήθηση της περίσσειας ποσότητας στους υπόγειους υδροφορείς. Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζονται αυξημένες συγκεντρώσεις αζωτούχων και φωσφορούχων ενώσεων καθώς και βαρέων μετάλλων και στα υπόγεια νερά των αγροτικών περιοχών.

Σε ότι αφορά τα βαρέα μέταλλα/ιχνοστοιχεία, ως πρώτο παράδειγμα αναφέρεται το αρσενικό (As), σημαντικές ποσότητες του οποίου εισέρχονται στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς διεργασίες όπως κατεργασία μετάλλων στα ορυκτά των οποίων περιέχεται και αρσενικό, μεταλλουργικές εργασίες, καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, κάρβουνο) και διάθεση αποβλήτων. Το αρσενικό επίσης αποτελεί κύριο συστατικό διαφόρων παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων, συντηρητικών ξυλείας και ορισμένων φαρμάκων (Φυτιάνος και Χριστοφορίδης 2002, Βουτσά κ.ά. 2008). Εξαιτίας της τοξικότητάς του έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές απομάκρυνσης του αρσενικού από το νερό, με επικρατέστερες τη χημική ιζηματοποίηση με Fe^{3+} αλλά και την χρήση μεταλλικού σιδήρου (Μήτρακας κ.ά. 2002, Βουτσά κ.ά. 2008).

Είναι γεγονός ότι η ρύπανση των υδάτων, επιφανειακών και υπογείων, επηρεάζει σε αρκετά υψηλό βαθμό και την υγεία του ανθρώπου. Ασθένειες όπως ο καρκίνος αλλά και διάφορες άλλες επιπτώσεις όπως βλάβες στο θυρεοειδή αδένα, ταχυκαρδία κ.ά. προέρχονται από μολυσμένα ύδατα, και κατά συνέπεια από ένα μολυσμένο περιβάλλον. Η αλόγιστη χρήση των φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων έχει ως αποτέλεσμα την εισχώρηση βλαβερών ουσιών στο σώμα του 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.ά. (Φιλιππίδης 2006).

Επιπλέον η κατανάλωση τοξικών ουσιών μέσω του νερού όπως τα βαρέα μέταλλα μπορεί να αποβεί εξίσου καταστροφική για τον άνθρωπο. Ιδιαίτερα το αρσενικό αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα τοξικά μεταλλοειδή στοιχεία, με σημαντική επίδραση στο περιβάλλον και ειδικά στον άνθρωπο. Κατατάσσεται στις καρκινογενείς, για τον άνθρωπο ουσίες καθώς έχει αποδειχθεί η ύπαρξη σχέσης ανάμεσα στο As που περιέχεται στο πόσιμο νερό και στον καρκίνο του συκωτιού, της ουροδόχου κύστης, του νεφρού, του πνεύμονα, της ρινικής κοιλότητας, του προστάτη και άλλων εσωτερικών οργάνων (Μήτρακας κ.ά. 2002).

Είναι γενικώς αποδεκτό πως ένα ισορροπημένο διαιτολόγιο για έναν ενήλικα πρέπει να περιλαμβάνει 12 με 40 μg As την ημέρα. Η πρόσληψη από το στόμα υψηλής δόσης αρσενικού έχει ως αποτέλεσμα τον ερεθισμό της γαστρεντερικής οδού, συνοδευόμενο με δυσκολία στην κατάποση, δίψα, αφύσικα χαμηλή πίεση και σπασμούς, ενώ μπορεί να προκληθεί θάνατος από καρδιαγγειακή ανεπάρκεια. Μάλιστα χαρακτηριστικό σύμπτωμα πρόσληψης αρσενικού με το πόσιμο νερό είναι τα μαύρα πόδια ενώ η θανατηφόρα δόση εκτιμάται για έναν ενήλικα στα 1-4 mg As/kg (Μήτρακας κ.ά. 2002, Δουλγέρης κ.ά. 2008).

Επιπλέον το εξασθενές χρώμιο (Cr^{6+}) είναι πολύ τοξικό, προκαλώντας βλάβες στο δέρμα και το συκώτι και θεωρείται καρκινογόνο, ενώ το τρισθενές χρώμιο (Cr^{3+}) δεν έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί βλάβες στην υγεία (Κατσίρης και Παππά 2001).

Επιπρόσθετα, όσον αφορά το μαγγάνιο (Mn) δεν έχουν διαπιστωθεί πολύ βλαβερές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία από πόσιμο νερό που περιέχει μαγγάνιο και μάλιστα η απορρόφησή του στον οργανισμό συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση του σιδήρου. Όμως υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό προκαλούν δυσάρεστη γεύση και δρουν τοξικά για τον οργανισμό (Κατσίρης και Παππά 2001, Δουλγέρης κ.ά. 2008).

Ο σίδηρος (Fe) αποτελεί ένα βαρύ μέταλλο και συγχρόνως είναι απαραίτητο στοιχείο για την καλή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Όμως υψηλή συσσώρευσή του στον

οργανισμό θεωρείται ότι είναι αιτία αυξημένου κινδύνου για καρκινογένεση (Τσουμπάρης κ.ά. 2008).

Αντίθετα ο μόλυβδος (Pb) που αποτελεί μη απαραίτητο στοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό, σε υψηλές συγκεντρώσεις επιδρά αρνητικά στο αιμοποιητικό, στο νευρικό, στο ουροποιητικό και στο αναπαραγωγικό σύστημα και προκαλεί δηλητηριάσεις. Μη απαραίτητο στοιχείο για τον οργανισμό του ανθρώπου κρίνεται και το κάδμιο (Cd). Υψηλή συσσώρευση καδμίου επιδρά δυσμενώς κυρίως στους πνεύμονες και στα νεφρά και μπορεί να προκαλέσει απασβέστωση, οστεομαλακία, παραμορφώσεις, κατάγματα, οσφυαλγία και μυαλγία (ασθένεια “Itai-Itai”) (Τσουμπάρης κ.ά. 2008).

Επιπλέον η τοξικότητα του νικελίου (Ni) και των ανόργανων ενώσεων του είναι σημαντική ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις. Μερικές από τις ενώσεις του θεωρούνται καρκινογόνες και τερατογόνες, ενώ σε πολλούς ανθρώπους δημιουργεί αλλεργικές αντιδράσεις (Ζαβιτσάνος 2009).

Όσον αφορά τον υδράργυρο (Hg), όταν βρίσκεται σε ανόργανες ενώσεις είναι τοξικός αλλά όχι τόσο όσο όταν εντοπίζεται σε οργανικές ενώσεις, και τότε συγκεντρώνεται στους τροφικούς ιστούς των οικοσυστημάτων. Στον άνθρωπο ο υδράργυρος επηρεάζει το νευρικό σύστημα προσβάλλοντας εκλεκτικά τα νευρικά κύτταρα. Ακόμη ο ψευδάργυρος (Zn) αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τον άνθρωπο και τα ζώα χωρίς να έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (Κατσίρης και Παππά 2001, Νταρακάς 2014).

Επίσης, το κοβάλτιο (Co) βρίσκεται στο νερό διαλυμένο ή σε ιοντική μορφή σε μικρές όμως ποσότητες. Αποτελεί τη βάση για το σχηματισμό της βιταμίνης “B-12” που είναι απαραίτητη για την καλή υγεία του ανθρώπου (Μαντέλα 2007).

Τέλος, ο χαλκός (Cu) μπορεί να παίζει ουσιαστικό ρόλο στην καλή υγεία, όμως, σε υψηλότερες δόσεις μπορεί να είναι επιβλαβής. Έτσι, προκαλεί ναυτία, εμετό, κράμπες στο στομάχι κ.ά. Παρ’ όλα αυτά, δεν ταξινομείται ως καρκινογόνος ουσία επειδή δεν υπάρχει καμία επαρκής μελέτη δημιουργίας καρκίνου, είτε στους ανθρώπους είτε στα ζώα (Μαντέλα 2007).

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Γενικότερα κάθε δήμος εφαρμόζει συγκεκριμένο πρόγραμμα περιοδικού ελέγχου νερού δικτύου ώστε να γίνεται σωστή και τακτική παρακολούθηση της ποιοτικής κατάστασης των εκάστοτε υδρευτικών πόρων. Σε κάθε διαφορετικό δίκτυο ορίζονται οι κρίσιμες θέσεις δειγματοληψίας και βάσει της ημερήσιας παροχής (σε κυβικά μέτρα νερού), καθορίζεται ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων που πρέπει να εξετάζονται κατ' έτος. Όσο πιο πολύ είναι το νερό που διατίθεται για ύδρευση, τόσο πιο πολλά δείγματα πρέπει να εξετάζονται.

Η συχνότητα των δειγματοληψιών ορίζεται από τη Κ.Υ.Α. Υ₂/2600/2001. Ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων θα πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα στο χρόνο (π.χ. εάν απαιτείται εξέταση 4 δειγμάτων ανά έτος, αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται κάθε τρεις μήνες). Οι δειγματοληψίες θα πρέπει να συμπίπτουν με περιόδους αύξησης της κατανάλωσης. Επιπλέον, σε κάθε περίπτωση η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να αυξηθεί εάν προκύψει ανάγκη εντατικοποίησης των ελέγχων λόγω ανησυχητικών ενδείξεων μεταβολών στην ποιότητα του νερού και γενικότερης ρύπανσης αυτού. Ο ελάχιστος αριθμός δειγμάτων μπορεί να μειωθεί στο ήμισυ εάν οι αρμόδιες αρχές διαπιστώνουν ότι: α) οι τιμές των αποτελεσμάτων από δείγματα λαμβανόμενα για περίοδο τουλάχιστον δύο συνεχών ετών είναι σταθερές και σημαντικά καλύτερες από τις οριακές τιμές και β) δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που ενδέχεται να υποβαθμίσει την ποιότητα του νερού. Τέλος, τα δείγματα αποστέλλονται σε οργανωμένα ή πιστοποιημένα δημόσια εργαστήρια, ή και σε διαπιστευμένα ιδιωτικά εργαστήρια (Δάνδολος κ.ά. 2008).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, γενικότερα, πραγματοποιούνται 3 έλεγχοι (παρακολουθήσεις) που εξετάζουν συγκεκριμένες παραμέτρους:

α) Δοκιμαστική παρακολούθηση: Ο έλεγχος αυτός διενεργείται με τη μεγαλύτερη συχνότητα (δύο φορές το χρόνο) με απώτερο σκοπό να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν ανησυχητικές ενδείξεις μεταβολής στην ποιότητα του νερού. Ονομάζεται και “τακτικός” έλεγχος.

β) Ελεγκτική παρακολούθηση: Ο έλεγχος αυτός γίνεται με μικρότερη συχνότητα (μία φορά το χρόνο). Μπορεί να διενεργηθεί εκτάκτως και κάθε φορά που διαπιστώνεται μη τήρηση ως προς τις οριακές τιμές των παραμέτρων της δοκιμαστικής παρακολούθησης. Σκοπός της είναι να δώσει ευκρινέστερη εικόνα από αυτή της δοκιμαστικής. Ειδικότερα, διερευνά κατά πόσον υφίσταται ή όχι ενδεχόμενος κίνδυνος για τη δημόσια υγεία και αντίστοιχη ανάγκη ανάληψης ενεργειών αποκατάστασης. Μόνο στον έλεγχο αυτό γίνονται οι

απαραίτητες χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων/ιχνοστοιχείων στα ύδατα.

γ) Συμπληρωματική παρακολούθηση: Γενικά μπορεί να διενεργείται εκτάκτως για όποιες ουσίες ή οργανισμούς κρίνουν οι Διευθύνσεις Υγείας ότι πρέπει να εξεταστούν, εάν πιστεύεται ότι μπορεί να υπάρχουν σε ποσότητες που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (π.χ. όταν διαπιστώνεται ότι το δίκτυο υπέστη συγκεκριμένη ρύπανση ή μόλυνση).

Αξίζει να σημειωθεί ότι για κάθε μη τήρηση παραμετρικών τιμών που διαπιστώνεται από τους εργαστηριακούς ελέγχους οι υπεύθυνοι ύδρευσης σε συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές προβαίνουν σε υγειονομική αναγνώριση (έλεγχος ευπαθών θέσεων του δικτύου) και βάσει αυτής μπορεί να προβούν στην ανάληψη ενεργειών (π.χ. διακοπή ή περιορισμό χρήσης νερού για αποκατάσταση).

Ωστόσο, εάν η αποκατάσταση τυχόν προβλήματος ρύπανσης ή υπέρβασης χημικής παραμέτρου σε ένα δίκτυο απαιτεί χρόνο, εάν η υπέρβαση της παραμετρικής τιμής είναι μικρή και δεν εγκυμονεί άμεσο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, και δεν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος υδροδότησης, μπορεί να επιτραπεί παρέκκλιση για το συγκεκριμένο δίκτυο για χρονικό διάστημα μέχρι την τριετία (σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να δοθεί και δεύτερη και τρίτη τριετής παρέκκλιση). Σε κάθε περίπτωση το σχετικό πρόβλημα θα πρέπει να επιλυθεί εντός το πολύ εννέα ετών.

Οι φορείς που διενεργούν τους περιοδικούς ελέγχους ποιότητας νερού τηρούν αρχείο όπου καταχωρούν για λόγους στατιστικής παρακολούθησης όλα τα σχετικά δεδομένα. Ανά τριετία συντάσσουν τεχνικά δελτία ποιότητας πόσιμου νερού τα οποία υποβάλλονται στις Διευθύνσεις Υγείας των Νομαρχιών για να αποσταλούν στην Περιφέρεια. Για τη συμπλήρωση και την αποστολή των σχετικών δελτίων αποστέλλεται σχετική εγκύκλιος από το αρμόδιο Υπουργείο της οποίας αποδέκτης είναι και η Κ.Ε.Δ.Ε. (Κεντρική Ένωση Δήμων Ελλάδος). Στα δελτία αυτά καταγράφονται ο αριθμός των δειγμάτων, ο αριθμός των παραμέτρων που εξετάστηκαν και ο αριθμός των τυχόν υπερβάσεων που εντοπίστηκαν. Για κάθε τυχόν μη τήρηση ή παραβίαση παραμετρικής τιμής επισυνάπτεται και σύντομη τεχνική αναφορά για τα αίτια της παραβίασης και τις τυχόν επανορθωτικές ενέργειες που έλαβαν χώρα.

Επιπρόσθετα κάθε φορά που κάποιο πρόβλημα ρύπανσης επιφανειακών υδάτων σχετίζεται με τη δημόσια υγεία, οι αρμόδιες αρχές ενημερώνουν έγκαιρα τους καταναλωτές σχετικά με αυτό (π.χ. με ανακοίνωση του υπεύθυνου για την ύδρευση ή του φορέα διενέργειας των δειγματοληπτικών ελέγχων) (Δάνδολος κ.ά. 2008).

Όσον αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία, με βάση το έγγραφο με Αρ.Πρωτ.:32296/07.10.2014 (αίτηση στο Δήμο Δέλτα) συγκεντρώθηκαν από τις αναλύσεις πόσιμου νερού όλα τα απαραίτητα στοιχεία δηλαδή οι φυσικοχημικές παράμετροι, όπως χρώμα, θολότητα, οσμή, γεύση, pH, αγωγιμότητα, ολική σκληρότητα, ολικά διαλυμένα στερεά (T.D.S.), υπολειμματικό χλώριο καθώς και οι συγκεντρώσεις επιλεγμένων κατιόντων και ανιόντων (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ και Br^- , Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) όπως επίσης και οι συγκεντρώσεις βαρέων και άλλων επιλεγμένων μετάλλων και στοιχείων (Ag, As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn και B, Sb, Se) με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό της πιθανής ρύπανσης των υπόγειων υδάτων του Δήμου.

Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν τα έτη 2006 έως και 2011 και μετρήθηκαν από επιλεγμένες γεωτρήσεις και συγκεκριμένες πηγές υδροληψίας σε περιοχές του Δήμου Δέλτα. Συγκεκριμένα, οι τακτικές αναλύσεις 2006-2010 αφορούν μόνο το Καλοχώρι και οι υδροληψίες έγιναν από το αντλιοστάσιο στο οποίο καταλήγουν τα νερά από 2 γεωτρήσεις: η μία που ονομάζεται “Κ14” (με συντεταγμένες 40 38' 48.33"N, 22 50' 13.61"E και βάθος σωλήνωσης 141 m) και είναι της Ε.Υ.Α.Θ. και μία κοντά στο αντλιοστάσιο (με συντεταγμένες 40 38' 43.83"N, 22 51' 29.60"E) που ανήκει στον Δήμο Δέλτα. Τα νερά από αυτές τις 2 γεωτρήσεις καταλήγουν στο αντλιοστάσιο (με συντεταγμένες 40 38' 43.10"N, 22 51' 29.75"E) από όπου γίνεται η δειγματοληψία και η ανάλυση.

Για το 2011 που συνενώθηκαν οι Δήμοι σε έναν, σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης (βλ. Υποκεφάλαιο 3.1), τα στοιχεία της παρούσας πτυχιακής εργασίας μετρήθηκαν όχι μόνο από το Καλοχώρι (Δημοτική Ενότητα Εχεδώρου) αλλά και από τις υπόλοιπες Δημοτικές Κοινότητες και συγκεκριμένα από τα Κύμينا, τη Βραχιά και τα Μάλγαρα (Δημοτική Ενότητα Αξιού), από το Ανατολικό και την Χαλάστρα (Δημοτική Ενότητα Χαλάστρας). Λαμβάνονται υπόψη μόνο τα αποτελέσματα από τις τακτικές και ελεγκτικές παρακολουθήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα αντλιοστάσια των παραπάνω Δημοτικών Κοινοτήτων, εκτός από τα Μάλγαρα όπου οι τακτικές δειγματοληψίες έγιναν από υδατόπυργο.

Επιπρόσθετα οι ελεγκτικές παρακολουθήσεις για το έτος 2009 στο Καλοχώρι έγιναν με βάση τις εργαστηριακές και συμβουλευτικές υπηρεσίες της «AGROLAB RDS Α.Ε.» και συγκεκριμένα από το εργαστήριο περιβάλλοντος.

Αντίθετα, οι ελεγκτικές μετρήσεις, για τα έτη 2010-2011 σε όλες τις Δημοτικές Κοινότητες, διεκπεραιώθηκαν από το «Διαβαλκανικό Κέντρο Περιβάλλοντος» με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή Γ. Ζαλίδη.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι του νερού που μετρήθηκαν κατά τις τακτικές και ελεγκτικές παρακολουθήσεις από τα αντλιοστάσια της περιοχής μελέτης είναι οι εξής:

- Φυσικές (Οργανοληπτικές): Θολερότητα, Χρώμα, Οσμή, Γεύση.
- Χημικές: pH, Αγωγιμότητα, Ολική Σκληρότητα, Ολικά Διαλυμένα Στερεά (T.D.S.), Υπολειμματικό Χλώριο, Ανιόντα – Κατιόντα – Άλατα, Βαρέα Μέταλλα.

6.1 ΤΑΚΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙΣ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων ύστερα από τον τακτικό έλεγχο στο αντλιοστάσιο του Καλοχωρίου για την περίοδο 2006-2010 (ανά εξάμηνο) παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.1.

Πίνακας 6.1.1 Φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων από τον τακτικό δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο στο αντλιοστάσιο Καλοχωρίου για τις περιόδους 1^ο εξάμηνο 2006 έως 1^ο εξάμηνο 2010. bdl: κάτω από το όριο ανίχνευσης. -: δεν αναλύθηκε.

Ημερομηνία δειγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Υπολειμματικό χλώριο (mg/L)	NO_3^- (ppm)	NO_2^- (ppm)	NH_4^+ (ppm)
2006 α						
30.1.2006	7,60	700	-	0,0	bdl	bdl
17.3.2006	7,60	700	-	0,0	bdl	bdl
17.5.2006	8,30	894	-	1,0	bdl	bdl
26.6.2006	8,36	809	-	1,0	bdl	bdl
2006 β						
3.10.2006	8,36	726	0,3	0,0	bdl	bdl
22.11.2006	8,36	708	0,3	0,0	bdl	bdl
2007 α						
23.1.2007	8,52	732	-	0,0	bdl	bdl
20.3.2007	8,00	542	0,3	0,0	bdl	bdl
12.6.2007	7,62	549	-	0,0	bdl	bdl
2007 β						
30.9.2007	7,50	910	0,2	0,5	bdl	bdl
4.12.2007	7,90	540	0,3	1,5	bdl	bdl
18.12.2007	7,50	684	0,3	1,1	bdl	bdl
2008 α						
9.1.2008	7,50	619	0,3	1,3	bdl	bdl
18.3.2008	7,50	620	0,3	1,0	bdl	bdl
20.3.2008	7,50	620	0,3	1,0	bdl	bdl

Πίνακας 6.1.1 (συνέχεια)

Ημερομηνία δειγματοληψίας	pH	Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Υπολειμματικό χλώριο (mg/L)	NO_3^- (ppm)	NO_2^- (ppm)	NH_4^+ (ppm)
2008 β						
2.7.2008	7,60	845	0,3	0,3	bdl	bdl
22.9.2008	7,50	620	0,3	0,5	bdl	bdl
3.11.2008	7,60	630	0,3	1,0	bdl	bdl
13.11.2008	-	-	0,3	-	-	-
2009 α						
13.1.2009	7,99	674	0,2	0,5	bdl	bdl
10.3.2009	7,90	615	0,3	0,5	bdl	bdl
3.6.2009	7,60	546	0,3	0,5	bdl	bdl
2009 β						
27.7.2009	7,60	662	0,3	1,7	bdl	bdl
15.9.2009	7,70	529	0,3	1,1	bdl	bdl
10.11.2009	7,60	587	0,3	1,7	bdl	bdl
2010 α						
12.1.2010	7,60	600	0,3	2,0	bdl	bdl
17.3.2010	7,62	645	0,2	1,5	bdl	bdl
20.4.2010	7,77	740	0,2	1,9	-	-

Από τα παραπάνω στοιχεία του Πίνακα 6.1.1 παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές του pH βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων ($> 6,50$ και $< 9,50$ για ύδατα μη ρυπασμένων περιοχών) που θέτει η Ευρωπαϊκή – Ελληνική νομοθεσία, με τις τιμές να κυμαίνονται από 7,50 έως 8,52 μονάδες, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τις τιμές της αγωγιμότητας, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή των $2.500 \mu\text{S}/\text{cm}$ (βλ. Υποκεφάλαιο 2.3). Μάλιστα η υψηλότερη τιμή αγωγιμότητας που μετρήθηκε είναι μόλις $910 \mu\text{S}/\text{cm}$ στις 30.9.2007 (β' εξάμηνο 2007).

Επιπλέον, η τιμή του υπολειμματικού χλωρίου δεν υπερβαίνει σε καμία μέτρηση το ανώτερο όριο των $0,6 \text{ mg}/\text{L}$, έχοντας ως ανώτερη τιμή τα $0,3 \text{ mg}/\text{L}$. Όσον αφορά τη συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-), οι πολύ χαμηλές τιμές τους δεν ξεπερνούν το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 ppm , με μεγαλύτερη τιμή αυτή των 2 ppm στο α' εξάμηνο του 2010. Το νιτρικό ιόν (NO_2^-) και το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) δεν ανιχνεύθηκαν σε καμία περίπτωση.

Στον Πίνακα 6.1.2 παρουσιάζονται επιλεγμένες φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων ύστερα από τους τακτικούς ελέγχους στο αντλιοστάσιο του Καλοχωρίου για το 2^ο εξάμηνο του 2010 και του 2011 και στα αντλιοστάσια των υπολοίπων Δημοτικών Κοινοτήτων, εκτός από τον υδατόπυργο των Μαλγάρων, για το 2^ο εξάμηνο του 2011.

Στον Πίνακα 6.1.3 παρατίθενται επιλεγμένες χημικές παράμετροι των υδάτων, δηλαδή συγκεντρώσεις συγκεκριμένων κατιόντων και ανιόντων που μετρήθηκαν, όπως και προηγουμένως, από τους τακτικούς ελέγχους στα αντίστοιχα αντλιοστάσια και τις περιόδους.

Πίνακας 6.1.2 Φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων από τον τακτικό δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο στα αντλιοστάσια του Δήμου Δέλτα για τις περιόδους 2^ο εξάμηνο 2010 και 2^ο εξάμηνο 2011. bdl: κάτω από το όριο ανίχνευσης. -: δεν αναλύθηκε.

Θέση και ημερομηνία δειγματοληψίας		Ολική Σκληρότητα (Γαλλικοί βαθμοί - f°)	pH	Αγωγιμότητα (μS/cm)	T.D.S. (mg/L)	Θολερότητα (NTU)	Χρώμα (Pt/Co)	Οσμή	Γεύση	Υπολειμ. χλώριο (mg/L)
2010 β										
Καλοχώρι	13.07.2010	31,68	7,68	705	401	-	0,00	Άοσμο	Άγευστο	0,2
	31.08.2010	33,09	8,08	683	-	-	0,00	Άοσμο	Άγευστο	0,2
	16.11.2010	31,92	7,80	753	-	-	0,00	-	Άγευστο	0,3
2011 β										
Καλοχώρι	13.09.2011	33,44	7,73	684	365	64,4	0,00	Άοσμο	Άγευστο	0,2
	20.09.2011	32,97	7,63	662	349	65,1	0,00	-	-	0,2
	13.12.2011	33,54	7,73	725	386	65,6	0,00	-	-	0,2
Ανατολικό	20.09.2011	34,57	7,82	942	501	66,2	0,00	Άοσμο	Άγευστο	bdl
	12.12.2011	42,36	7,98	949	506	67,3	0,00	-	-	0,1
Βραχιά	20.09.2011	34,15	7,86	1.259	673	55,0	0,00	Άοσμο	Άγευστο	bdl
	12.12.2011	38,51	8,04	1.356	727	56,1	0,00	-	-	0,0
Κύμιννα	20.09.2011	39,57	7,79	1.042	551	54,8	0,00	Άοσμο	Άγευστο	bdl
	12.12.2011	40,48	7,91	1.094	584	55,7	0,00	-	-	0,0
Μάλαρα (υδατόπυργος)	20.09.2011	20,96	8,00	809	429	35,0	0,00	Άοσμο	Άγευστο	bdl
	12.12.2011	21,79	8,10	829	442	38,2	0,00	-	-	0,0
Χαλάστρα	20.09.2011	22,96	7,88	648	345	73,1	0,00	Άοσμο	Άγευστο	bdl
	22.11.2011	36,84	7,97	730	387	75,2	0,00	-	-	0,1
	12.12.2011	24,60	7,82	656	350	78,4	0,00	-	-	0,1

Πίνακας 6.1.3 Χημικές παράμετροι (γεωχημική σύσταση) των υδάτων (κατιόντα – ανιόντα) από τον τακτικό δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο στα αντλιοστάσια του Δήμου Δέλτα για τις περιόδους 2^ο εξάμηνο 2010 και 2^ο εξάμηνο 2011. bdl: κάτω από το όριο ανίχνευσης. -: δεν αναλύθηκε.

Θέση και ημερομηνία δειγματοληψίας		Ca (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	NH ₄ (ppm)	Br (ppm)	Cl (ppm)	F (ppm)	NO ₃ (ppm)	NO ₂ (ppm)	SO ₄ (ppm)	PO ₄ (ppm)
2010 β													
Καλοχώρι	13.07.2010	86,92	1,938	24,22	64,80	bdl	0,222	79,60	0,298	2,014	bdl	28,350	bdl
	31.08.2010	91,41	2,622	24,92	65,43	bdl	0,215	49,58	0,174	0,146	bdl	28,310	bdl
	16.11.2010	89,21	1,923	23,43	65,56	bdl	0,085	78,47	0,267	2,251	bdl	-	bdl
2011 β													
Καλοχώρι	13.09.2011	92,63	1,883	25,04	66,41	bdl	0,327	99,61	0,355	3,503	0,002	37,220	0,002
	20.09.2011	91,75	1,959	24,42	63,81	bdl	0,495	98,72	0,485	3,614	0,008	38,150	0,007
	13.12.2011	96,17	2,740	23,13	73,71	bdl	0,259	92,07	1,347	6,615	bdl	42,680	1,115
Ανατολικό	20.09.2011	91,65	3,571	28,37	104,85	bdl	-	220,54	0,309	0,564	bdl	4,760	0,164
	12.12.2011	103,51	7,369	40,11	213,51	bdl	1,042	402,42	0,290	52,31	bdl	29,840	1,867
Βραχιά	20.09.2011	88,85	5,099	29,05	185,55	bdl	1,119	333,26	0,236	0,291	bdl	9,175	0,080
	12.12.2011	108,00	5,003	28,03	178,82	bdl	1,145	320,53	0,193	0,141	bdl	7,618	1,474
Κύμνα	20.09.2011	112,59	4,463	27,83	115,59	bdl	1,031	253,14	0,221	4,064	bdl	10,830	0,636
	12.12.2011	113,68	4,971	29,36	119,40	bdl	0,811	267,35	0,338	4,086	0,032	11,470	1,656
Μάλγαρα (υδατόπυργος)	20.09.2011	59,92	4,140	14,57	133,53	bdl	0,777	127,43	0,229	3,806	bdl	3,437	0,002
	12.12.2011	60,13	4,534	16,45	155,43	bdl	0,348	128,92	0,852	6,816	bdl	8,814	0,614
Χαλάστρα	20.09.2011	58,49	2,751	20,29	79,75	bdl	bdl	101,61	0,413	0,295	bdl	5,643	0,180
	22.11.2011	74,05	2,475	24,38	97,77	bdl	0,472	123,69	0,323	bdl	bdl	4,562	0,005
	12.12.2011	62,71	3,037	21,71	88,12	bdl	0,417	99,76	0,500	0,935	0,005	12,140	0,933

Από τα παραπάνω στοιχεία του Πίνακα 6.1.2 γίνεται αντιληπτό ότι σε όλες τις Δημοτικές Κοινότητες οι τιμές του pH και της αγωγιμότητας δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια, με τις τιμές του pH να κυμαίνονται από 7,63 έως 8,10 μονάδες και με υψηλότερη τιμή αγωγιμότητας αυτή των 1.356 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στη Βραχιά (βλ. Υποκεφάλαιο 2.3).

Η ολική σκληρότητα, δηλαδή το άθροισμα της παροδικής (ανθρακικής) και της μόνιμης (μη ανθρακικής) σκληρότητας, εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου (Mg) στο νερό. Όσον αφορά τη μονάδα μέτρησής της, ένας γαλλικός βαθμός (1°) αντιπροσωπεύει 10 mg CaCO_3 ανά λίτρο νερού. Για τις τιμές της παραμέτρου αυτής ισχύουν τα εξής: μεταξύ 0-100 mg/L ισοδύναμου CaCO_3 το νερό χαρακτηρίζεται “μαλακό”, μεταξύ 101-200 mg/L CaCO_3 “μέτρια σκληρό”, μεταξύ 201-300 mg/L CaCO_3 “σκληρό”, ενώ για τιμές μεγαλύτερες των 300 mg/L CaCO_3 “πολύ σκληρό” (Βουδούρης 2009, Νταρακάς 2014). Σύμφωνα με τις τιμές της ολικής σκληρότητας του Πίνακα 6.1.2, τα ύδατα στο Καλοχώρι (2010, 2011) καθώς και στο Ανατολικό, τη Βραχιά και τα Κύμινια (2011) είναι “πολύ σκληρά” (με τη μεγαλύτερη τιμή της παραμέτρου στο Ανατολικό, 423,6 mg/L CaCO_3), ενώ στα Μάλγαρα και την Χαλάστρα είναι κυρίως “σκληρά”.

Θεωρείται συνεπώς απαραίτητη η αποσκλήρυνση του νερού με ειδικές διαδικασίες (π.χ. ιζηματοποίηση κ.ά.) ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλύτερα ως πόσιμο με τιμές γαλλικών βαθμών “15-20” που χαρακτηρίζουν το πολύ καλό νερό (Βουδούρης 2009).

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” (brine) (Βουδούρης 2009). Παρατηρούμε ότι στα πόσιμα νερά της περιοχής μελέτης οι τιμές των T.D.S. κυμαίνονται από 345 έως 727 mg/L (με τις υψηλότερες τιμές στη Βραχιά) χαρακτηρίζοντας παντού τα νερά ως “γλυκά” και υποδεικνύοντας την απουσία υφαλμύρισης, αν και οι σχετικά ψηλές τιμές υποδεικνύουν μία σχετική επιβάρυνση πιθανώς λόγω της παρουσίας των θαλάσσιων ιζημάτων που μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες σε NaCl και άλλα άλατα.

Επιπρόσθετα, παρατηρούνται τιμές θολρότητας που κυμαίνονται από 35,0 έως 78,4 NTU (με τις υψηλότερες τιμές στην Χαλάστρα), που θεωρούνται ως αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής. Γενικότερα, η αυξημένη θολότητα του νερού οφείλεται σε κολλοειδείς ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται και μάλιστα αυτά τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν και δημιουργούν προβλήματα στις σωληνώσεις και στις δεξαμενές. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για ρύπανση, ενώ η κατανάλωση αυτού

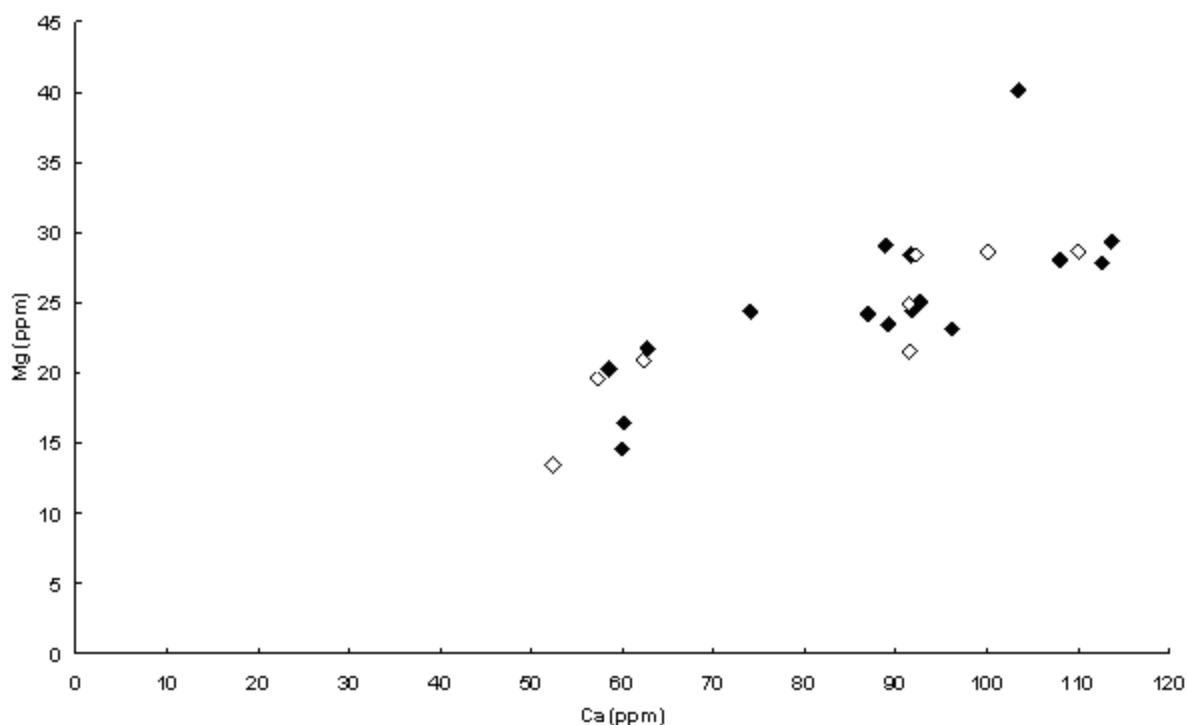
μπορεί να αποβεί επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία. Συνεπώς το νερό πρέπει να είναι διαυγές όταν φτάσει στον καταναλωτή (Κατσίρης και Παππά 2001).

Επιπλέον, οι τιμές των φυσικών παραμέτρων χρώματος, οσμής και γεύσης παρουσιάζονται φυσιολογικές, αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ συνήθους μεταβολής. Ακόμη, η τιμή του υπολειμματικού χλωρίου δεν υπερβαίνει σε καμία μέτρηση το όριο των 0,6 ppm, έχοντας ως ανώτερη τιμή τα 0,3 ppm στο Καλοχώρι στο β' εξάμηνο του 2010.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των τακτικών χημικών αναλύσεων του Πίνακα 6.1.3, σχετικά με τη γεωχημική σύσταση των υπόγειων υδάτων, παρουσιάζονται σχετικά παντού αυξημένες συγκεντρώσεις ασβεστίου (Ca), οι οποίες ξεπερνούν κατά ελάχιστα το επιτρεπτό όριο των 100 ppm στα χωριά Ανατολικό, Βραχιά και Κύμινα (β' εξάμηνο 2011) με ανώτερη τιμή αυτή των 113,68 ppm στα Κύμινα, εκτός από τα Μάλγαρα και την Χαλάστρα, όπου οι περιεκτικότητες σε Ca είναι κάτω από το όριο. Οι αυξημένες περιεκτικότητες πιθανόν να οφείλονται στα ιζήματα πλούσια σε Ca της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Σχήματα 2.3.3 και 2.3.4) που επηρεάζονται από τη διάβρωση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων στα βόρεια αυτής και τη μεταφορά του Ca στους υπόγειους υδροφορείς.

Γενικότερα, το Ca υπάρχει σε όλα τα φυσικά νερά και προέρχεται από τη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθο, δολομίτη, μάρμαρα). Η συγκέντρωσή του κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες ppm ανάλογα πάντα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του χωρίς να έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Μάλιστα ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων ασβεστίου, με τη θέρμανση, καθιζάνουν σχηματίζοντας σκληρά επικαθήματα στους λέβητες, στους σωλήνες και τα σκεύη μαγειρικής (Κατσίρης και Παππά 2001, Ιωαννίδου 2012).

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του μαγνησίου (Mg), συνηθισμένου συστατικού των φυσικών νερών, όλες οι τιμές (Πίνακας 6.1.3) δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια των 50 ppm με τις ψηλότερες συγκεντρώσεις (40,11 ppm) να έχουν μετρηθεί στα νερά του Ανατολικού στις 12.12.2011. Μάλιστα, οι σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις του Mg αλλά και του Ca στο Ανατολικό στις 12.12.2011 είναι υπεύθυνες, εξ' ορισμού, για την αυξημένη τιμή της ολικής σκληρότητας των νερών αυτών (423,6 mg CaCO₃/L), υποδηλώνοντας μία περίοδο αύξησης των συγκεντρώσεων του Ca και του Mg στα υπόγεια νερά της περιοχής. Η παρουσία του Mg στα υπόγεια νερά πιθανώς να οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες. Από το διάγραμμα της κατανομής του Ca και του Mg (Σχήμα 6.1.1) φαίνεται ότι υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων κάτι που πιθανώς να επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι και τα δύο αυτά στοιχεία οφείλονται στη σύσταση των ιζημάτων της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 6.1.1 Προβολή των δειγμάτων από τις τακτικές (◆) και τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα Mg-Ca. Τα στοιχεία από τους Πίνακες 6.1.3 και 6.2.2.

Οι συγκεντρώσεις του καλίου (K) δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα επιτρεπτά όρια των 12 ppm (Πίνακα 6.1.3) με τις υψηλότερες τιμές (7,369 ppm) να έχουν μετρηθεί στα νερά του Ανατολικού στις 12.12.2011. Οι συγκεντρώσεις του νατρίου (Na) παρουσιάζονται σχετικά αυξημένες στα νερά των Μαλγάρων (έως 155,43 ppm) και ιδιαίτερα της Βραχιάς (έως 185,55 ppm), και ξεπερνούν κατά ελάχιστα το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 ppm στις μετρήσεις που έγιναν στο Ανατολικό στις 12.12.2011 έχοντας τιμή 213,51 ppm. Η αυξημένη αυτή συγκέντρωση του Na στο Ανατολικό, στα τέλη του β' εξαμήνου του 2011 (όπως και του Ca και του Mg), πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία των θαλάσσιων ιζημάτων που περιέχουν Na, K, και Cl.

Γενικότερα, λόγω της αφθονίας του στη φύση, το Na περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 ppm. Ωστόσο, έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη υγεία διότι η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό (Κατσίρης και Παππά 2001).

Σε ότι αφορά το χλώριο (Cl) οι συγκεντρώσεις του ξεπερνούν την ανώτερη επιτρεπτή τιμή των 200 ppm στα νερά του Ανατολικού, της Βραχιάς και των Κυμίνων με τιμές που κυμαίνονται από 220,54 έως 402,42 ppm και με τη μεγαλύτερη τιμή να μετρήθηκε στο

Ανατολικό στις 12.12.2011. Πιθανώς αυτό να οφείλεται σε ρύπανση από την χρήση λιπασμάτων, τη διοχέτευση αστικών λυμάτων καθώς και από χώρους τελικής διάθεσης των στερεών αποβλήτων και απορριμμάτων των βιομηχανιών στις παραπάνω περιοχές (Βουδούρης 2009). Εντούτοις, η πολύ αυξημένη περιεκτικότητα των υδάτων σε Cl στο Ανατολικό στα τέλη του β' εξαμήνου του 2011 σχετίζεται και με την αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων του Ca, του Mg και του Na υποδεικνύοντας μία πιθανή παρουσία αυτών των στοιχείων λόγω των σχετικών θαλάσσιων ιζημάτων και άρα οι αυξημένες αυτές τιμές να οφείλονται σε φυσικά αίτια. Η προβολή των δειγμάτων στα διαγράμματα Cl-Na, Cl-K και Na-K (Σχήμα 6.1.2-4) δείχνουν ότι υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ τους κάτι που επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι η αυξημένη παρουσία αυτών των τριών στοιχείων οφείλεται στον ίδιο παράγοντα, πιθανώς στην παρουσία θαλάσσιων ιζημάτων στην περιοχή μελέτης.

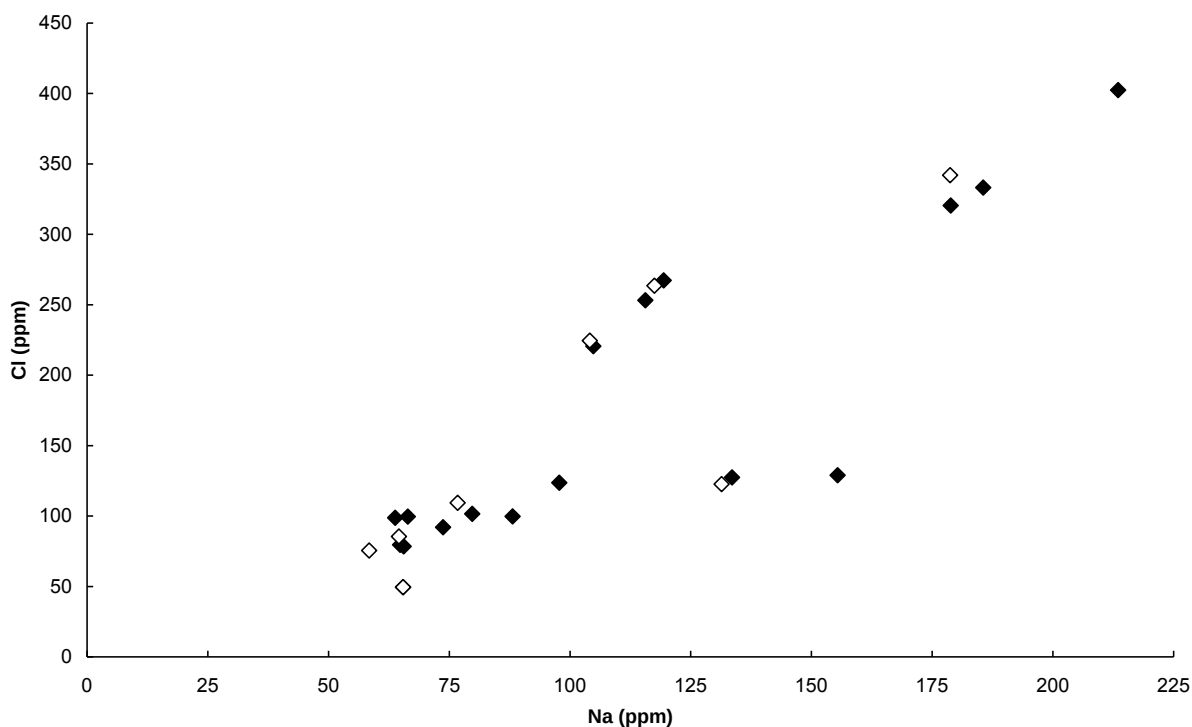
Γενικότερα, η παρουσία των χλωριόντων στα ύδατα καθορίζει και την χρήση τους (πόσιμο, άρδευσης, νερό για βιομηχανική χρήση). Μάλιστα, επειδή είναι πολύ ευκίνητα και ευδιάλυτα, κατεισδύουν στο έδαφος ή μεταφέρονται σε κλειστές δεξαμενές (Κατσίρης και Παππά 2001).

Σε ότι αφορά το φθόριο (F), οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται παντού κάτω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 1,5 ppm, με ανώτερη τιμή αυτή των 1,347 ppm στο Καλοχώρι στις 13.12.2011, ίσως εξαιτίας αυξημένης χρήσης φθοριούχων λιπασμάτων. Από την προβολή των δειγμάτων στο διάγραμμα F-Cl (Σχήμα 6.1.5) δεν προκύπτει κάποια συσχέτιση και άρα τα δύο αυτά στοιχεία δεν έχουν κοινή πηγή.

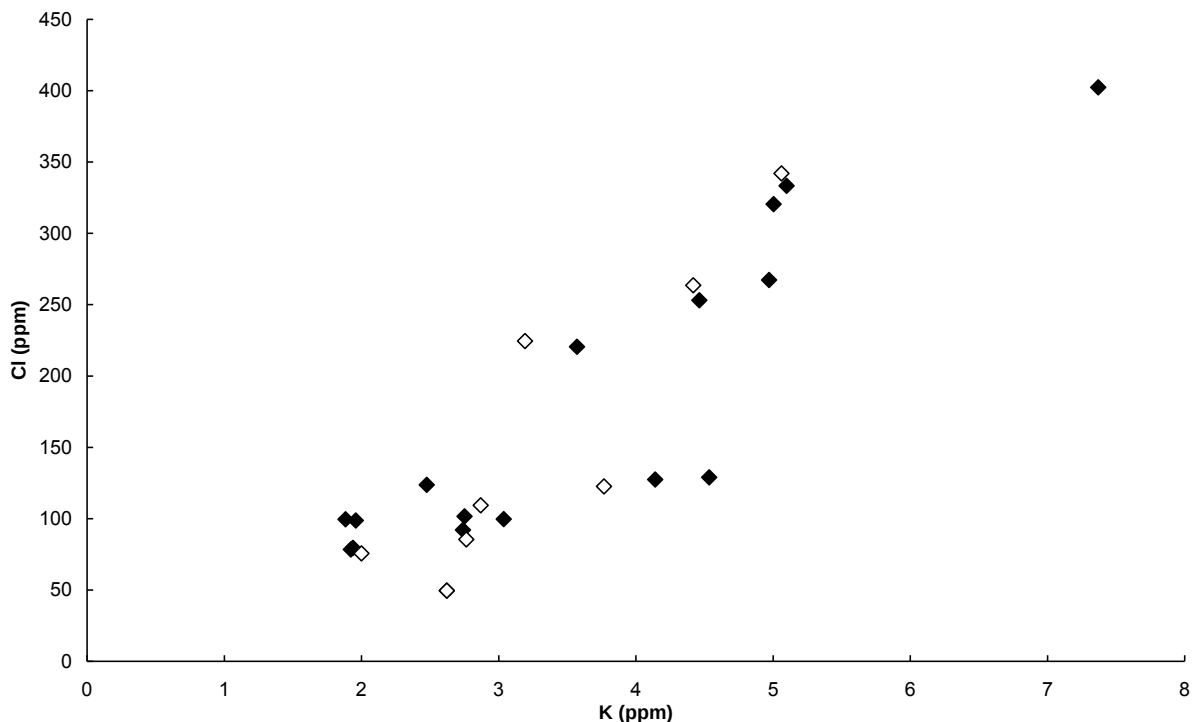
Αξίζει να σημειωθεί ότι, γενικότερα, το F είναι βασικό και ωφέλιμο στοιχείο για τον άνθρωπο (μέχρι 1 ppm) γιατί εμποδίζει τη δημιουργία τερηδόνας στα δόντια. Παράλληλα, χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμινίου, σε βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, στα λιπάσματα και στα κεραμικά (Κατσίρης και Παππά 2001).

Ένα ιχνοστοιχείο που φαίνεται ιδιαίτερα μειωμένο είναι το βρώμιο (Br) με σχετικά μεγαλύτερες τιμές στα νερά των Κυμίνων, του Ανατολικού και ιδιαίτερα της Βραχιάς, με μέγιστη τιμή μόλις αυτή των 1,145 ppm στη Βραχιά και παραμετρική τιμή αυτή των 10 ppm (για τα βρωμικά άλατα).

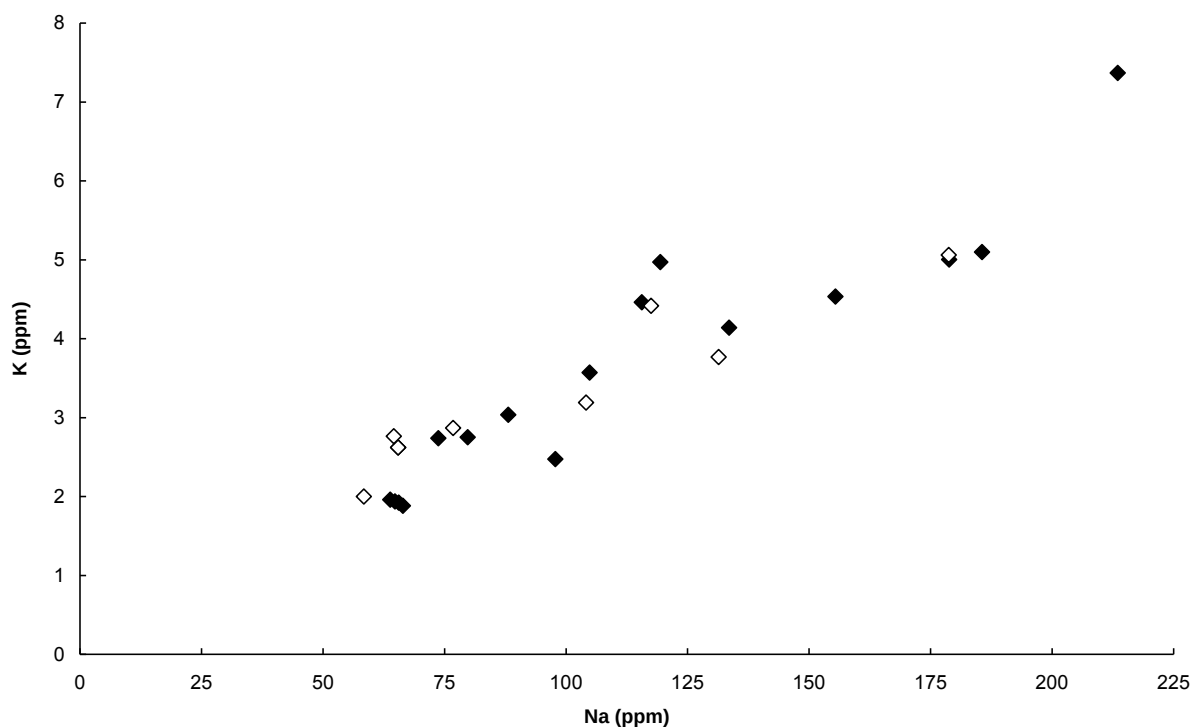
Γενικότερα το Br είναι υγρό σε θερμοκρασία δωματίου και όταν στερεοποιείται σχηματίζει καστανοκόκκινους κρυστάλλους με ελαφριά μεταλλική λάμψη, ενώ όταν βράζει δίνει καστανοκίτρινους ατμούς (Kabata-Pendias 2011). Μάλιστα, βρωμιούχες ενώσεις χρησιμοποιούνται ευρέως σε υγρά γεώτρησης.



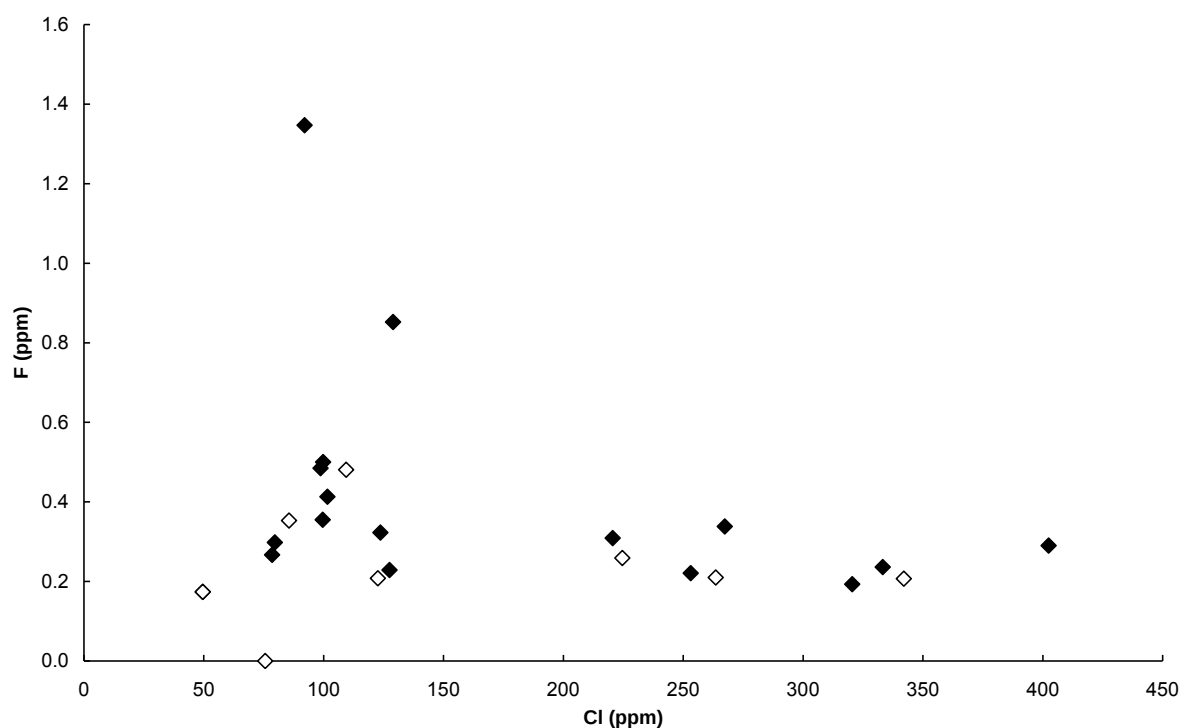
Σχ. 6.1.2. Προβολή των δειγμάτων από τις τακτικές (◆) και τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα Cl-Na. Τα στοιχεία από τους Πίνακες 6.1.3 και 6.2.2.



Σχ. 6.1.3. Προβολή των δειγμάτων από τις τακτικές (◆) και τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα Cl-K. Τα στοιχεία από τους Πίνακες 6.1.3 και 6.2.2.



Σχ. 6.1.4. Προβολή των δειγμάτων από τις τακτικές (◆) και τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα Na-K. Τα στοιχεία από τους Πίνακες 6.1.3 και 6.2.2.



Σχ. 6.1.5. Προβολή των δειγμάτων από τις τακτικές (◆) και τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα F-Cl. Τα στοιχεία από τους Πίνακες 6.1.3 και 6.2.2.

Οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις των νιτρικών (NO_3^-) και των νιτρωδών (NO_2^-) ιόντων δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα όρια των 50 και 0,5 ppm, αντίστοιχα, με μόνη εξαίρεση την πολύ υψηλή συγκέντρωση των νιτρικών στο Ανατολικό στις 12.12.2011 έχοντας τιμή 52,31 ppm, ξεπερνώντας ελάχιστα την παραμετρική του τιμή. Η υψηλή συγκέντρωση των NO_3^- στα ύδατα του Ανατολικού οφείλεται πιθανώς στην αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων, από τα οποία τα NO_3^- , σε αερόβιες συνθήκες, διείσδυσαν στον υδροφόρο ορίζοντα, και σχετίζεται άμεσα με την αυξημένη περιοδική ρύπανση στην περιοχή στα τέλη του β' εξαμήνου του 2011 (Κατσίρης και Παππά 2001).

Θεωρείται σημαντικό να αναφερθεί ότι τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και νιτρικά στο περιβάλλον του στομάχου σχηματίζουν καρκινογόνες ενώσεις (Κατσίρης και Παππά 2001), κάτι όμως που δεν συμβαίνει στην περιοχή μελέτης.

Επιπρόσθετα, οι αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις των θεικών SO_4^{2-} δεν υπερβαίνουν πουθενά το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 250 ppm. Οι μεγαλύτερες σχετικά τιμές των θεικών παρατηρούνται στα νερά του Καλοχωρίου στο β' εξάμηνο του 2011 με υψηλότερη τιμή αυτή των 42,680 ppm στις 13.12.2011, πιθανότατα εξαιτίας αυξημένης χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων καθώς και πιθανώς λόγω των ανεξέλεγκτων βιομηχανικών αποβλήτων στην περιοχή. Μάλιστα τα ιόντα αυτά όταν είναι ευρέως διαδεδομένα στα φυσικά νερά και σε υψηλές συγκεντρώσεις προσδίδουν δυσάρεστη οσμή και γεύση (Βουδούρης 2009).

Επίσης και οι αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις των φωσφορικών PO_4^{3-} δεν ξεπερνούν το ανώτερο νομοθετικό όριο των 3 ppm, με ανώτερη τιμή αυτή των 1,867 ppm που μετρήθηκε στο Ανατολικό στις 12.12.2011 και με αυξημένες τιμές στη Βραχιά και στα Κύμινα στο β' εξάμηνο του 2011. Αυτές οι σχετικά αυξημένες τιμές μπορεί να οφείλονται στα ανθρώπινα λύματα αλλά και στα φωσφορικά λιπάσματα.

Γενικότερα, τα ιόντα αυτά χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και τα επικαθήματα στους λέβητες, ενώ δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Κατσίρης και Παππά 2001).

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) δεν ανιχνεύθηκε σε καμία περίπτωση.

6.2 ΕΛΕΓΚΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΕΙΣ

Στον Πίνακα 6.2.1 παρουσιάζονται επιλεγμένες φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων ύστερα από τις ελεγκτικές παρακολουθήσεις που γίνονται μία φορά το χρόνο, στο αντλιοστάσιο του Καλοχωρίου για τα έτη 2009 έως 2011 καθώς και στα αντλιοστάσια των υπολοίπων Δημοτικών Κοινοτήτων του Δήμου Δέλτα μόνο για το έτος 2011.

Στον Πίνακα 6.2.2 παρατίθενται οι χημικές μόνο παράμετροι (κατά σειρά κατιόντα – ανιόντα – ιχνοστοιχεία/βαρέα μέταλλα – επιλεγμένα στοιχεία) των υδάτων που μετρήθηκαν, όπως και προηγουμένως, ύστερα από τις ελεγκτικές παρακολουθήσεις στα αντίστοιχα αντλιοστάσια και για τις ίδιες χρονικές περιόδους.

Πίνακας 6.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι των υδάτων από τον ελεγκτικό δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο στο αντλιοστάσιο Καλοχωρίου για τις περιόδους 2009 – 2011 και στα αντλιοστάσια Ανατολικού, Βραχιάς, Κυμίνων, Μαλγάρων και Χαλάστρας για το 2011. -: δεν αναλύθηκε.

Φυσικο χημικές παράμ.	2009	2010	2011					
	Καλοχώρι	Καλοχώρι	Ανατολικό	Βραχιά	Κύμινια	Μάλγαρα	Χαλάστρα	
Ολική σκληρ. (Γαλ. Βαθμ. f°)	24,11*	33,09	31,70	22,36	36,79	39,28	18,61	22,36
pH	8,50	8,08	7,93	7,93	8,03	7,91	8,30	8,15
Αγωγιμ. (μS/cm)	630	683	630	915	1.244	1.011	755	575
Θολερ. (NTU)	-	33,8	23,9	66,2	55,0	54,8	35,0	73,1
Χρώμα (Pt/Co)	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Οσμή	-	Άοσμο	Άοσμο	Άοσμο	Άοσμο	Άοσμο	Άοσμο	Άοσμο
Γεύση	-	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση	Χωρίς γεύση
Υπολειμ. χλώριο (mg/L)	-	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(24.11)*: Η τιμή αυτή της παραμέτρου της ολικής σκληρότητας υπολογίστηκε ύστερα από τη μετατροπή των γερμανικών βαθμών (d°) σε γαλλικούς βαθμούς (f°) σύμφωνα με τον τύπο: $0,1 \text{ f}^\circ = 0,056 \text{ d}^\circ$ ή $1 \text{ f}^\circ = 0,56 \text{ d}^\circ$.

Πίνακας 6.2.2 Χημικές παράμετροι (γεωχημική σύσταση) των υδάτων (κατά σειρά κατιόντα – ανιόντα – ιχνοστοιχεία/βαρέα μέταλλα – στοιχεία) από τον ελεγκτικό δειγματοληπτικό εργαστηριακό έλεγχο στο αντλιοστάσιο Καλοχωρίου για τις περιόδους 2009 – 2011 και στα αντλιοστάσια Ανατολικού, Βραχιάς, Κυμίνων, Μαλγάρων και Χαλάστρας για το 2011.
bdl: κάτω από το όριο ανίχνευσης. -: δεν αναλύθηκε.

Χημικές παράμετροι	2009		2010	2011				
	Καλοχώρι		Καλοχώρι	Ανατολικό	Βραχιά	Κύμιννα	Μάλγαρα	Χαλάστρα
Ca (ppm)	62,30	91,41	91,47	92,24	100,13	110,04	52,35	57,27
K (ppm)	2,000	2,622	2,764	3,192	5,061	4,418	3,767	2,869
Mg (ppm)	20,90	24,92	21,51	28,40	28,62	28,67	13,45	19,58
Na (ppm)	58,40	65,43	64,56	104,10	178,71	117,49	131,39	76,74
NH ₄ (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Br (ppm)	bdl	0,125	bdl	bdl	bdl	bdl	0,001	bdl
Cl (ppm)	75,60	49,58	85,53	224,58	342,02	263,54	122,62	109,34
F (ppm)	-	0,174	0,353	0,259	0,207	0,210	0,208	0,481
NO ₃ (ppm)	2,300	1,146	3,868	0,538	0,699	4,032	3,185	0,282
NO ₂ (ppm)	bdl	bdl	bdl	0,012	bdl	0,029	bdl	bdl
SO ₄ (ppm)	35,40	17,76	41,26	4,96	8,67	11,22	0,45	7,62
PO ₄ (ppm)	bdl	bdl	0,085	0,615	1,071	1,069	0,321	0,034
Ag (ppb)	-	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
As (ppb)	bdl	3,909	6,198	bdl	3,133	bdl	bdl	72,100
Cd (ppb)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Co (ppb)	-	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Cr (ppb)	-	0,632	2,391	0,434	1,173	0,123	0,379	1,196
Fe (ppb)	bdl	8,94	17,25	104,10	21,57	bdl	174,50	474,00
Hg (ppb)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Mn (ppb)	bdl	1,89	16,29	53,50	12,41	2,08	24,01	23,06
Ni (ppb)	-	bdl	0,907	bdl	bdl	bdl	bdl	1,984
Pb (ppb)	bdl	0,237	bdl	bdl	bdl	bdl	2,056	0,743
Zn (ppb)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
B (ppb)	0,10	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Sb (ppb)	-	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Se (ppb)	-	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 6.2.1, γίνεται αντιληπτό ότι όλες οι τιμές των χημικών παραμέτρων του pH και της αγωγιμότητας σε όλες τις περιοχές βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζει η Ευρωπαϊκή – Ελληνική νομοθεσία (βλ. Υποκεφάλαιο 2.3), όπως και στις τακτικές αναλύσεις (βλ. Πίνακα 6.1.2), με τις τιμές του pH να κυμαίνονται από 7,91 έως 8,50 μονάδες (με τη μέγιστη τιμή στο Καλοχώρι το 2009) και τις τιμές της αγωγιμότητας να βρίσκονται μεταξύ 575 – 1.244 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (με τη μέγιστη τιμή στη Βραχιά).

Σε ότι αφορά την ολική σκληρότητα, μετατρέποντας κατάλληλα τις τιμές της ολικής σκληρότητας του Πίνακα 6.2.1, παρατηρούμε ότι σχεδόν όλες υπερβαίνουν την τιμή των 200 mg ισοδύναμου CaCO_3/L , χαρακτηρίζοντας τα ύδατα του Καλοχωρίου (2009), του Ανατολικού και της Χαλάστρας (2011) “σκληρά” και τα ύδατα του Καλοχωρίου (2010, 2011), της Βραχιάς και των Κυμίνων (2011) “πολύ σκληρά”. Εξαιρέση αποτελούν τα Μάλγαρα με τιμή ολικής σκληρότητας 186,1 mg CaCO_3/L , χαρακτηρίζοντας το νερό του αντλιοστασίου ως “μέτρια σκληρό”. Όπως και στην περίπτωση των σχετικών τακτικών αναλύσεων (βλ. Πίνακα 6.1.2), έτσι κι εδώ θεωρείται απαραίτητη η αποσκλήρυνση του νερού με ειδικές μεθόδους ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλύτερα ως πόσιμο με τιμές γαλλικών βαθμών “15-20” που χαρακτηρίζουν το πολύ καλό νερό (Βουδούρης 2009).

Επίσης, παρατηρούνται τιμές θολερότητας που κυμαίνονται από 23,9 έως 75,1 NTU (με την υψηλότερη τιμή στην Χαλάστρα), που είναι αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής. Γενικά οι αυξημένες τιμές της θολερότητας, η οποία αποτελεί καθοριστική παράμετρος ελέγχου της ποιότητας των νερών, οφείλονται σε αιωρούμενα σωματίδια από οργανικές ή ανόργανες ενώσεις περιορίζοντας τη διέλευση του φωτός και, κατ’ επέκταση, ρυπαίνοντας τα υπόγεια ύδατα (Βουδούρης 2009, βλ. και Υποκεφάλαιο 6.1).

Επιπλέον, όσον αφορά τις τιμές των οργανοληπτικών παραμέτρων του χρώματος, της οσμής και της γεύσης, παρουσιάζονται φυσιολογικές, αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ συνήθους μεταβολής, όπως συμβαίνει και στις τακτικές αναλύσεις (βλ. Πίνακα 6.1.2). Ακόμη, η τιμή του υπολειμματικού χλωρίου δεν υπερβαίνει σε καμία μέτρηση το όριο των 0,6 ppm, έχοντας ως ανώτερη τιμή τα 0,2 ppm στο Καλοχώρι για το 2010 και το 2011, ενώ στις υπόλοιπες Δημοτικές Κοινότητες η τιμή του είναι μηδενική.

Μελετώντας τις τιμές των χημικών παραμέτρων των ελεγκτικών χημικών αναλύσεων του Πίνακα 6.2.2, διαπιστώνεται ότι παρουσιάζονται σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις Ca στο Καλοχώρι, για το 2010 και το 2011, καθώς και στο Ανατολικό, τη Βραχιά και τα Κύμινια, οι οποίες μάλιστα ξεπερνούν κατά ελάχιστα το επιτρεπτό όριο των 100 ppm στα δύο τελευταία προαναφερθέντα χωριά. Το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε και από τις τακτικές

αναλύσεις (βλ. Πίνακα 6.1.3, Σχήμα 6.1.1) και αυτό οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε, μάλλον στην παρουσία ιζηματογενών σχηματισμών πλούσιων σε Ca στην περιοχή μελέτης.

Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Mg δεν υπερβαίνουν σε καμία περιοχή το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 ppm. Μάλιστα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Mg μετρήθηκαν στα νερά της Βραχιάς και των Κυμίνων με τιμές 28,62 και 28,67 ppm, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι περίπου ίδιες με αυτές των τακτικών αναλύσεων (βλ. Πίνακα 6.1.3). Η περίπτωση οι συγκεντρώσεις Ca και Mg να οφείλονται σε γεωλογικούς παράγοντες είναι η πιο πιθανή αφού στο σχετικό διάγραμμα Ca-Mg (Σχήμα 6.1.1) διαπιστώνεται μία καλή συσχέτιση των δύο αυτών στοιχείων.

Οι συγκεντρώσεις του K δεν υπερβαίνουν σε καμία περιοχή το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 12 ppm, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση (5,061 ppm) να εντοπίζεται στα νερά της Βραχιάς. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις του Na δεν ξεπερνούν σε καμία περίπτωση το όριο των 200 ppm, έχοντας τιμές που κυμαίνονται από 58,40 έως 178,10 ppm (με τη μεγαλύτερη τιμή στη Βραχιά). Αυξημένες λοιπόν συγκεντρώσεις Na παρατηρούνται στα υπόγεια ύδατα των Μαλγάρων και ιδιαίτερα της Βραχιάς όπως και στις τακτικές αναλύσεις (βλ. Πίνακα 6.1.3), πιθανώς λόγω νατρίουχων λιπασμάτων, αν και δεν αποκλείεται η περίπτωση παρουσίας σχετικών θαλάσσιων ιζημάτων με υψηλές περιεκτικότητες σε Na, Cl και K.

Επίσης, όσον αφορά το Cl οι συγκεντρώσεις του ξεπερνούν την ανώτερη επιτρεπτή τιμή των 200 ppm στα νερά του Ανατολικού, της Βραχιάς και των Κυμίνων με τιμές που κυμαίνονται από 224,58 έως 342,02 ppm και με τη μεγαλύτερη τιμή να μετρήθηκε στη Βραχιά. Το ίδιο παρατηρείται και στα αποτελέσματα των τακτικών ελέγχων (βλ. Πίνακα 6.1.3, Σχήμα 6.1.2-4) και πιθανώς να οφείλεται στην παρουσία των θαλάσσιων ιζημάτων που περιέχουν Na, K, Cl.

Οι συγκεντρώσεις του F βρίσκονται παντού κάτω από το ανώτερο νομοθετικό όριο των 1,5 ppm, όπως και στις τακτικές αναλύσεις (βλ. Πίνακα 6.1.3), με τιμές που κυμαίνονται από 0,174 έως 0,481 ppm και με τη μεγαλύτερη τιμή στην Χαλάστρα.

Σε ότι αφορά τώρα τις συγκεντρώσεις σε Br, παρατηρείται ότι οι περισσότερες μετρήσεις του στοιχείου δεν ποσοτικοποιήθηκαν στο όριο αναφοράς της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε αλλά η τιμή που υπολογίστηκε για το Καλοχώρι το 2010 (0,125 ppm) φαίνεται ιδιαίτερα χαμηλή αφού το ανώτερο επιτρεπτό όριο ανέρχεται στα 10 ppm.

Οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις NO_3^- και NO_2^- δεν υπερβαίνουν πουθενά τα ανώτερα όρια των 50 και 0,5 ppm αντίστοιχα, με τις υψηλότερες περιεκτικότητες να εντοπίζονται στα νερά των Κυμίνων (μόλις 4,032 και 0,029 ppm, αντίστοιχα). Άλλωστε, οι περισσότερες

μετρήσεις των NO_2^- δεν ποσοτικοποιήθηκαν στο όριο αναφοράς της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε (bdl).

Επιπρόσθετα, οι αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} δεν υπερβαίνουν πουθενά το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 250 ppm. Οι μεγαλύτερες τιμές των συγκεντρώσεών τους παρατηρούνται στα νερά του Καλοχωρίου ιδιαίτερα το 2009 (35,40 ppm) και κυρίως το 2011 (41,26 ppm). Σύμφωνα και με τα αποτελέσματα των τακτικών αναλύσεων (βλ. Πίνακα 6.1.3), στο Καλοχώρι παρουσιάζονται λίγο αυξημένες, σχετικά με τα υπόλοιπα χωριά, περιεκτικότητες σε SO_4^{2-} λόγω ίσως της αυξημένης χρήσης εντομοκτόνων και λιπασμάτων στην περιοχή αυτή.

Ακόμη και οι σχετικά πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις των PO_4^{3-} δεν ξεπερνούν το ανώτερο νομοθετικό όριο των 3 ppm, με ανώτερες τιμές αυτές των 1,071 και 1,069 ppm που μετρήθηκαν στη Βραχιά και στα Κύμينا, αντίστοιχα, λόγω αυξημένης σχετικά χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων στις περιοχές αυτές. Το ίδιο παρατηρείται για τις περιοχές αυτές και στους τακτικούς ελέγχους (βλ. Πίνακα 6.1.3).

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι το αμμωνιακό ιόν (NH_4^+) δεν ανιχνεύθηκε σε καμία περίπτωση (bdl).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα νερά της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.2. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών υπολογίστηκαν από τις ελεγκτικές παρακολουθήσεις που πραγματοποιούνται μία φορά το χρόνο (βλ. Κεφάλαιο 5°).

Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) στα ύδατα των αντλιοστασίων των Δημοτικών Κοινοτήτων του Δήμου Δέλτα και σύμφωνα με τον πίνακα 6.2.2, γίνεται αντιληπτό ότι η συγκέντρωσή του μόνο στα νερά της Χαλάστρας υπερβαίνει κατά πολύ το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 10 ppb που ορίζει η σχετική Ευρωπαϊκή – Ελληνική νομοθεσία, έχοντας τιμή 72,1 ppb και καθιστώντας το νερό ακατάλληλο προς πόση (βλ. Υποκεφάλαιο 2.1). Στα υπόλοιπα χωριά όπου λήφθηκαν σχετικές μετρήσεις (Καλοχώρι 2010 και Καλοχώρι, Βραχιά 2011), το As βρίσκεται σε χαμηλές περιεκτικότητες χωρίς να ξεπερνά το ανώτερο όριο. Είναι πιθανό το υψηλό αρσενικό στη Χαλάστρα να συνδέεται με την χρήση φυτοφαρμάκων. Υπάρχει μια μικρή πιθανότητα το As να έχει εκπλυθεί από το μικρό κοίτασμα αρσеноπυρίτη στα βορειανατολικά του Γαλλικού ποταμού, να έχει συσσωρευθεί στην Χαλάστρα και να εμφανίζεται υπό κατάλληλες συνθήκες (Βουτσά 1993), αν και κάτι τέτοιο μάλλον δεν θεωρείται δυνατό. Στην αυξημένη συγκέντρωση του As στα υπόγεια ύδατα της Χαλάστρας πιθανώς να συμβάλλει και η ανεξέλεγκτη απόρριψη στερεών βιομηχανικών αποβλήτων από τις γύρω βιομηχανίες.

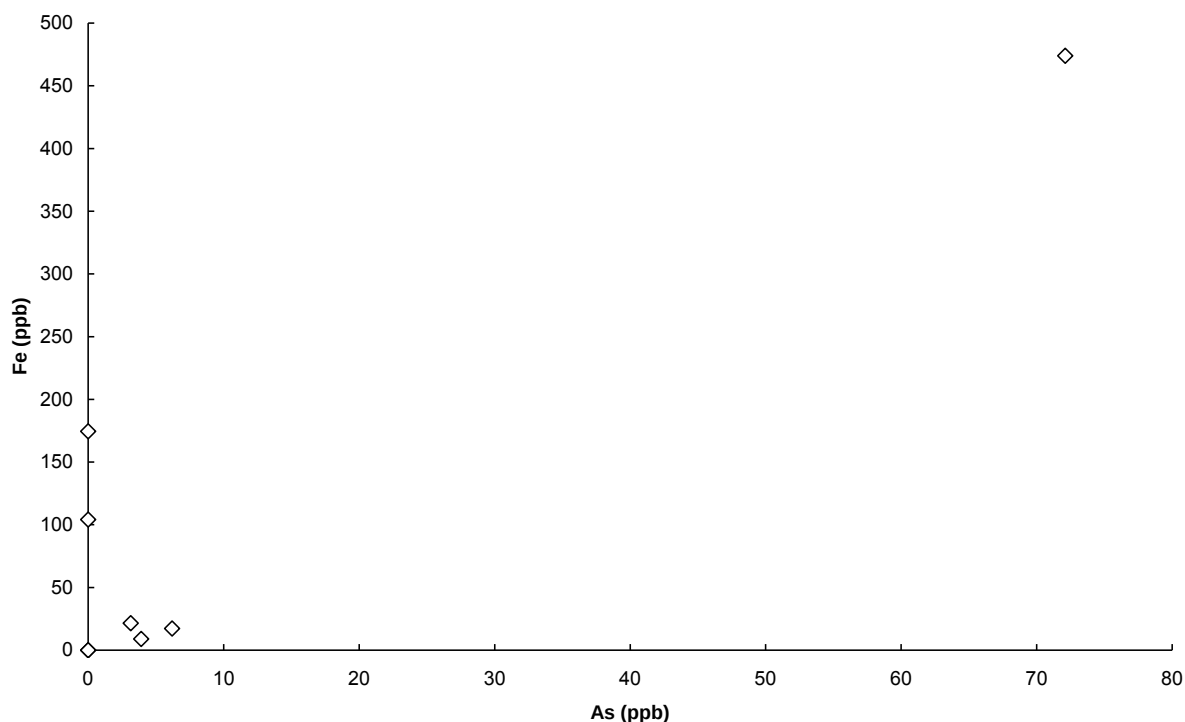
Είναι γεγονός ότι τα περισσότερα φυσικά νερά περιέχουν As σε συγκεντρώσεις πάνω από 5 µg/L (ppb). Η τοξικότητά του εξαρτάται από τη χημική και φυσική του μορφή, τη δόση, το χρόνο έκθεσης και τον τρόπο που εισάγεται στον ανθρώπινο οργανισμό (βλ. Κεφάλαιο 4). Λόγω των ιδιοτήτων του χρησιμοποιείται σε κράμα στη παραγωγή μολύβδινων σφαιρών, σε μολύβδινους τριβείς καθώς και σε μπαταρίες και περικαλύμματα καλωδίων, ενώ, οι διάφορες χημικές του ενώσεις βρίσκουν εφαρμογή ως εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα, ξηραντικά αλλά και απολυμαντικά προϊόντα (Κατσίρης και Παππά 2001).

Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου (Fe) παρουσιάζονται χαμηλές στα ύδατα του Καλοχωρίου (2010 και 2011) και της Βραχιάς και σχετικά αυξημένες στα ύδατα του Ανατολικού και ιδιαίτερα των Μαλγάρων. Όμως στα ύδατα της Χαλάστρας ο Fe βρίσκεται σε πολύ υψηλή περιεκτικότητα, όπως και το As, με τιμή που φθάνει τα 474 ppb ξεπερνώντας σε αρκετά μεγάλο βαθμό το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 200 ppb και καθιστώντας το πόσιμο νερό ανεπιθύμητο. Η πιθανότερη αιτία για την πολύ αυξημένη περιεκτικότητα των υπόγειων υδάτων της Χαλάστρας σε Fe είναι η παρουσία πολλών στερεών βιομηχανικών αποβλήτων και απορριμμάτων στην περιοχή, από τα οποία ο Fe εκπλένεται, υπό κατάλληλες συνθήκες, και μεταφέρεται στους υπόγειους υδροφορείς. Το γεγονός ότι το As και ο Fe πιστοποιούνται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο ίδιο δείγμα πιθανώς να δείχνει μία φυσική προέλευση αυτών των στοιχείων από γεωλογικές πηγές, αφού τα δύο αυτά στοιχεία παρουσιάζουν χημική συγγένεια. Όμως από το διάγραμμα As-Fe (Σχ. 6.2.1) δεν είναι δυνατό να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα, αφού δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση των δύο αυτών στοιχείων. Άρα είναι πιθανό η προέλευση του Fe και του As στα νερά της Χαλάστρας να οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

Γενικότερα, αξίζει να σημειωθεί ότι ο Fe δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, ενώ προκαλεί προβλήματα στα πλυντήρια και υφαντήρια, δημιουργώντας λεκέδες στα υφάσματα, και στους αγωγούς διανομής νερού ευνοώντας την ανάπτυξη βακτηριδίων (Κατσίρης και Παππά 2001). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα καθώς και σε χυτήρια (Γεντεκάκης 2010).

Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου (Cr) είναι χαμηλές και δεν υπερβαίνουν πουθενά το ανώτερο νομοθετικό όριο των 50 ppb, έχοντας τιμές που κυμαίνονται από 0,123 ppb στα Κύμινια έως 2,391 ppb στο Καλοχώρι το 2011.

Γενικότερα, η μέση συγκέντρωση του Cr στα φυσικά νερά είναι 0,5 – 2 ppb και χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες χρωμάτων και δέρματος, στα επιμεταλλωτήρια, στην παρασκευή κραμάτων και καταλυτών (Βουδούρης 2009).



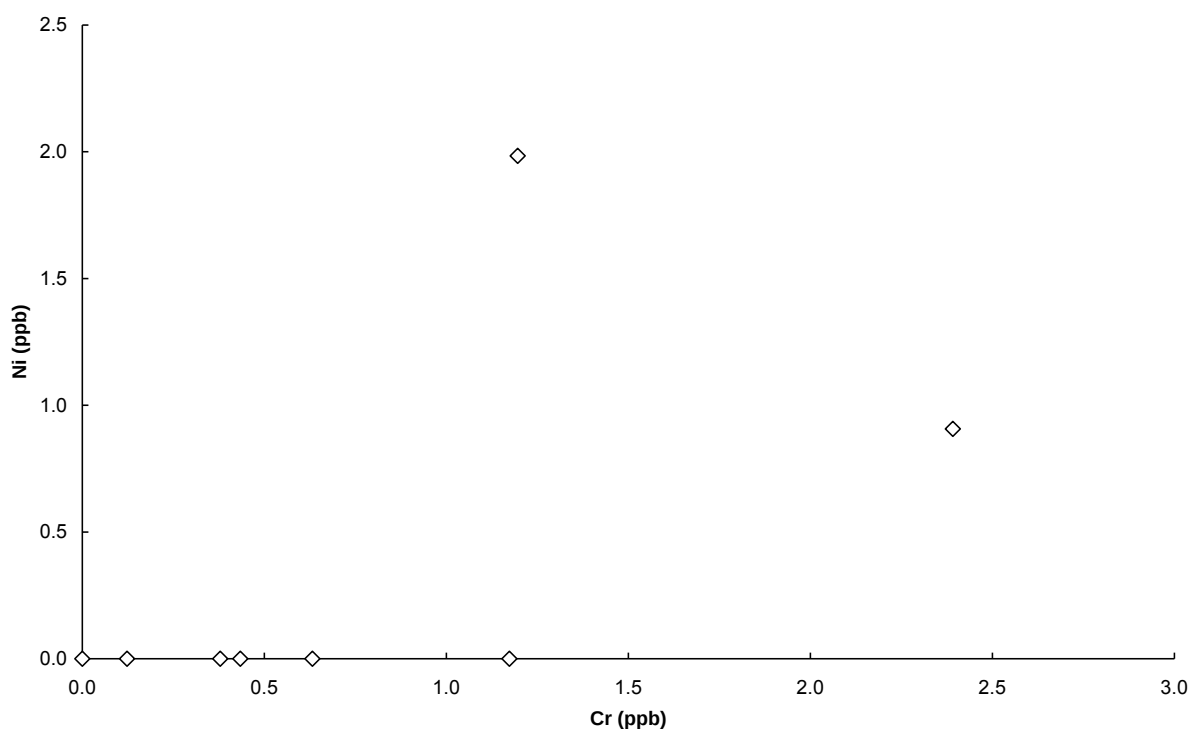
Σχ. 6.2.1. Προβολή των δειγμάτων από τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα As-Fe.
Τα στοιχεία από τον Πίνακα 6.2.2.

Ακόμη, το μαγγάνιο (Mn) βρίσκεται σε σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες στα ύδατα των Δημοτικών Κοινοτήτων με μόνη εξαίρεση τα ύδατα του Ανατολικού όπου μετρήθηκε συγκέντρωση 53,5 ppb, τιμή που υπερβαίνει ελάχιστα το ανώτερο όριο των 50 ppb. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην παρουσία στερεών βιομηχανικών αποβλήτων και απορριμμάτων κοντά στην περιοχή του Ανατολικού από όπου γίνεται έκπλυση του Mn, υπό κατάλληλες συνθήκες, και μετακίνηση αυτού στα υπόγεια ύδατα τα οποία και ρυπαίνονται, αφού είναι γνωστό ότι στην ευρύτερη βιομηχανική περιοχή Σίνδου δραστηριοποιούνται βιομηχανίες που κάνουν χρήση μαγγανίου.

Γενικά, το Mn προκαλεί λεκέδες στα υφάσματα σε πλυντήρια και υφαντήρια και διευκολύνει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στα δίκτυα νερού με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας και τη δημιουργία οσμών και αποθέσεων (Βουδούρης 2009), χωρίς όμως να είναι ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο.

Επίσης, σε ότι αφορά τις περιεκτικότητες των βαρέων μετάλλων νικελίου (Ni) και μολύβδου (Pb), αυτές βρίσκονται σε πολύ χαμηλές τιμές και δεν υπερβαίνουν τα ανώτερα νομοθετικά όρια των 20 και 10 ppb, αντίστοιχα. Μάλιστα, οι συγκεντρώσεις του Ni κυμαίνονται από 0,907 έως 1,984 ppb (με τη μεγαλύτερη τιμή στη Χαλάστρα), ενώ του Pb από 0,237 έως 2,056 ppb (με τη μεγαλύτερη τιμή στα Μάλγαρα).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι το Ni και το Cr είναι δύο στοιχεία με γεωχημική συγγένεια και συνυπάρχουν στα ίδια πετρώματα όπως είναι οι οφειόλιθοι. Εντούτοις η έλλειψη συσχέτισης τους όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα (Σχήμα 6.2.2) δείχνει ότι η παρουσία τους δεν μπορεί να οφείλεται σε γεωλογικούς παράγοντες.



Σχ. 6.2.2. Προβολή των δειγμάτων από τις ελεγκτικές (◇) παρακολουθήσεις για τα υπόγεια ύδατα από τον Δήμο Δέλτα στο διάγραμμα Ni-Cr.
Τα στοιχεία από τον Πίνακα 6.2.2.

Το Ni που θεωρείται τοξικό ακόμα και σε μικρές ποσότητες, χρησιμοποιείται κυρίως σε κράματα με το χάλυβα (νικελιοχάλυβας) για την αύξηση της σκληρότητας και της ανθεκτικότητάς του, ενώ χαρακτηριστική επίσης είναι και η επινικέλωση διαφόρων υλικών κυρίως οικιακής χρήσης για προστασία από τη διάβρωση. Ο Pb αποτελεί ένα πολύ τοξικό μέταλλο και τα φυσικά νερά συνήθως περιέχουν μέχρι 5 $\mu\text{g/L}$ (ppb). Εισέρχεται στα ύδατα με κατακρήμνιση από την ατμόσφαιρα, με τη διάβρωση εδαφών, την έκπλυση των δρόμων καθώς και με την χρήση καυσίμων πλούσιων σε Pb, σχετικών εντομοκτόνων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (Νταρακάς 2014). Χρησιμοποιείται στη βενζίνη καθώς και για την παραγωγή μπαταριών, κραμάτων, χρωστικών και αντισκωριακών (Κατσίρης και Παππά 2001).

Όσον αφορά τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα του αργύρου (Ag), του καδμίου (Cd), του κοβαλτίου (Co), του υδραργύρου (Hg) και του ψευδαργύρου (Zn), σημειώνεται ότι οι συγκεντρώσεις τους δεν ποσοτικοποιήθηκαν στο όριο αναφοράς της μεθόδου (bdl).

Τέλος, το ίδιο συμβαίνει και με τα επιλεγμένα στοιχεία του βορίου (B), του αντιμονίου (Sb) και του σεληνίου (Se), με μόνη εξαίρεση τη συγκέντρωση του B στα ύδατα του Καλοχωρίου το 2009, έχοντας τιμή 0,1 ppb η οποία δεν υπερβαίνει το ανώτερο νομοθετικό όριο του 1 ppb.

Πρόκειται για ένα μη τοξικό στοιχείο που γενικά στο περιβάλλον απαντάται σε συγκεντρώσεις κάτω από 1 ppb. Οι διάφορες ενώσεις του χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρίμαχων γυαλιών (pyrex), γυάλινων ινών, απορρυπαντικών, σαπουνιών, καλλυντικών, συνθετικών φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη γεωχημική και περιβαλλοντική μελέτη των υπογείων υδάτων των Δημοτικών Κοινοτήτων Καλοχωρίου (αποτελέσματα 2006-2011), Χαλάστρας, Ανατολικού, Βραχιάς, Κυμίνων και Μαλγάρων (αποτελέσματα 2011) του Δήμου Δέλτα Θεσσαλονίκης και τη διερεύνηση των φυσικοχημικών παραμέτρων και ιδιαίτερα της κατανομής των κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, αλλά και των αιτιών των υψηλών συγκεντρώσεων σε μερικά από αυτά, καταλήγουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Σε όλες τις περιοχές οι τιμές των χημικών παραμέτρων του pH και της αγωγιμότητας βρίσκονται εντός των ανώτερων επιτρεπτών ορίων που θεσπίζει η Ευρωπαϊκή – Ελληνική νομοθεσία για το πόσιμο νερό.
- Σε όλες τις περιοχές, με μόνη εξαίρεση τα Μάλγαρα (ελεγκτική παρακολούθηση, 2011), τα υπόγεια ύδατα χαρακτηρίζονται από “σκληρά” έως κυρίως “πολύ σκληρά”, με βάση τις τιμές της ολικής σκληρότητας, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων των στοιχείων Ca και Mg.
- Τα υπόγεια ύδατα σε όλες τις Δημοτικές Κοινότητες, σύμφωνα με τις τιμές των Ολικών Διαλυμένων Στερεών (T.D.S.) από τους τακτικούς ελέγχους, χαρακτηρίζονται ως “γλυκά”, αν και οι σχετικά ψηλές τιμές (345-727 mg/L) υποδεικνύουν έναν σχετικό εμπλουτισμό σε άλατα λόγω της παρουσίας των θαλάσσιων ιζημάτων.
- Σε όλες τις περιοχές παρατηρούνται τιμές θολερότητας αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής.
- Το ίδιο συμβαίνει και με τις τιμές των παραμέτρων του χρώματος, της οσμής και της γεύσης στα νερά της περιοχής μελέτης, που παρουσιάζονται αποδεκτές στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής (άχρωμα, άοσμα και άγευστα ύδατα).
- Οι περιεκτικότητες των υδάτων όλων των περιοχών και σε όλες τις περιόδους σε υπολειμματικό χλώριο είναι φυσιολογικές, εντός των επιτρεπόμενων ορίων.
- Το Ca βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις σχεδόν σε όλα τα χωριά, εκτός των Μαλγάρων και της Χαλάστρας, εξαιτίας πιθανόν γεωλογικών παραγόντων της περιοχής μελέτης.
- Το Na είναι αυξημένο μόνο στα ύδατα των Μαλγάρων και ιδιαίτερα της Βραχιάς και του Ανατολικού λόγω πιθανότατα της παρουσίας θαλάσσιων ιζημάτων.

- Τα στοιχεία K και Mg έχουν φυσιολογικές περιεκτικότητες αλλά παρουσιάζονται σχετικά μεγάλες τιμές στο Ανατολικό μόνο στο τέλος του β' εξαμήνου του 2011, όπως και του Ca και του Na, λόγω της γεωλογίας της περιοχής μελέτης (για το Mg και το Ca).
- Το Br παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις στα υπόγεια ύδατα όλων των Δημοτικών Κοινοτήτων της περιοχής μελέτης.
- Το Cl βρίσκεται σε πολύ αυξημένες περιεκτικότητες μόνο στα ύδατα του Ανατολικού (τέλος β' εξαμήνου 2011), της Βραχιάς και των Κυμίνων (2011) και πιθανώς αυτό να οφείλεται στην παρουσία των θαλάσσιων ιζημάτων που περιέχουν Na, K και Cl.
- Το F, τα NO_3^- και τα NO_2^- έχουν φυσιολογικές περιεκτικότητες στα ύδατα σχεδόν όλων των Δημοτικών Κοινοτήτων με εξαίρεση του Ανατολικού (τέλος β' εξαμήνου 2011) όπου παρουσιάζεται αρκετά αυξημένη τιμή μόνο των NO_3^- λόγω πιθανής περιοδικής ρύπανσης από σχετικά λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά απόβλητα. Οι μικρές συγκεντρώσεις σε F ίσως οφείλονται στην αυξημένη χρήση φθοριούχων λιπασμάτων.
- Τα SO_4^{2-} και τα PO_4^{3-} βρίσκονται σε φυσιολογικές, πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα ύδατα όλων των περιοχών.
- Οι περιεκτικότητες σε As των υδάτων της Χαλάστρας είναι αυξημένες σε αρκετά μεγάλο βαθμό (πολύ πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο) εξαιτίας πιθανότατα της αλόγιστης χρήσης φυτοφαρμάκων και της ανεξέλεγκτης απόρριψης σχετικών βιομηχανικών αποβλήτων στην περιοχή αυτή. Η παρουσία του As στην Χαλάστρα μάλλον δεν οφείλεται σε γεωλογικά αίτια.
- Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις του Fe είναι πολύ αυξημένες (πολύ πάνω από το ανώτερο επιτρεπτό όριο) στα υπόγεια ύδατα της Χαλάστρας πιθανόν λόγω της ανεξέλεγκτης απόρριψης σχετικών στερεών αποβλήτων και απορριμμάτων στην περιοχή.
- Το Mn παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένο στα ύδατα του Ανατολικού λόγω πιθανόν της παρουσίας πολλών σχετικών βιομηχανικών απορριμμάτων στην περιοχή.
- Το Cr, το Ni και ο Pb βρίσκονται σε φυσιολογικές, πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στα ύδατα της περιοχής μελέτης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

- Bowen H.J.M. (1979). Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press.
- Deutsch W.J. (1997). Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination. CRC Press, p. 232.
- Fouache E., Ghilardi M., Vouvalidis K., Syrides G., Styllas M., Kunesch S., Stiros S. (2008). Contribution on the Holocene reconstruction of Thessaloniki coastal plain, Greece. Journal of Coastal Research, 24, 1161-1173.
- Ghilardi M., Fouache E., Queyrel F., Syrides G., Vouvalidis K., Kunesch S., Styllas M., Stiros S. (2008). Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaloniki Plain (Greece) since mid Holocene. Journal of Archaeological Science, 35, 111-125.
- 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., 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.
- Gray N.F. (1994). Drinking water quality – problems and solutions. John Wiley & Sons, N.Y.
- Kabata-Pendias A. (2011). Trace elements in soils and Plants. CRC Press, New York, p. 534.
- Kapsimalis V., Poulos S.E., Karageorgis A.P., Pavlakis P., Collins M. (2005). Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: human impacts on the Inner Thermaikos Gulf, N.W. Aegean Sea. J. Geol. Soc., 162 (6), 897-908.
- Karageorgis A.P., Skourtos M.S., Kapsimalis V., Kontogianni A.D., Skoulikidis N.Th., Pagou K., Nikolaidis N.P., Drakopoulou P., Zanou B., Karamanos H., Levkov Z., Anagnostou Ch. (2005). An integrated approach to watershed management within framework: Axios River catchment and Thermaikos Gulf. Regional Environmental Change, 5, 138-160.
- Karamanos H. and Polyzonis E. (2000). Thermaikos Gulf: the adjacent land and its potentiality for the fresh water sediment supply, In: (Editor: Anagnostou Ch.) Dynamics of Matter Transfer and Biogeochemical Cycles: Their Modeling in Coastal Systems of the Mediterranean Sea. 2nd Scientific Report Metro-Med Project, Commission of the European Union, V. I, 92-105.

- Kockel F., Antoniadou P., Ioannides K. (1978). Geological map of Greece, Thessaloniki sheet, scale 1:50.000. Inst. Geol. Miner. Expl. (I.G.M.E.), Athens, Greece.
- Mountouris A., Voutsas E., Tassios D. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments. The importance of bioavailability. Man. Pollut. Bull., 44, 1136-1141.
- 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.
- Poulos S.E., Chronis G.Th., Collins M.B., Lykousis V. (2000). Thermaikos Gulf Coastal System, NW Aegean Sea: an overview of water sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. Journal of Marine Systems, 25, 2000, 47-76.
- Psimoulis P., Ghilardi M., Fouache E., Stiros S. (2007). Subsidence and evolution of the Thessaloniki plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. Engineering Geology, 90, 55-70.
- Tranos M.D., Papadimitriou E., Kiliadis 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.
- Vouvalidis K., Syrides G., Albanakis K. (2005). Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise. Zeitschrift für Geomorphologie, 137, 147-158.

Ελληνόγλωσση

- 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, 104-109.
- Βουδούρης Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος: Υπόγεια νερά και περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 460.
- Βουτσά Δ. (1993). Μελέτη και χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ.
- Βουτσά Δ., Λάζου Ε., Αντώνογλου Λ. (2008). Απομάκρυνση αρσενικού από το πόσιμο νερό με χρήση μεταλλικού σιδήρου. Πρακτικά 3^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ. 6.
- Γεντεκάκης Ι. (2010). Ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες, 2^η Έκδοση. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, σελ. 225.

- 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., σελ. 115.
- Δάνδολος Η., Παπαθανασίου Κ., Γιωτάκης Κ., Σαμπατακάκης Π., Παπαστεργίου Κ. (2008). Ο ρόλος και οι αρμοδιότητες της αυτοδιοίκησης στη διαχείριση και προστασία υδατικών πόρων. Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, Μάιος 2008, Αθήνα.
- Δασκαλάκη Π. (2002). Συμβολή στη γνώση του χημισμού και της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στον Ελλαδικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 947.
- Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού (2003). Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Ελλάδας. Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα.
- Δουλγέρης Χ., Τσουμπάρης Π., Παπαδάκης Ν., Κοβάτση Λ., Τσούκαλη Ε. (2008). Ποιότητα του πόσιμου νερού των σχολίων της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με το αρσενικό, το μαγγάνιο και τα νιτρικά ιόντα. Πρακτικά 3^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ. 7.
- Ζαβιτσάνος Κ. (2009). Αλληλεπίδραση των ιόντων Ni (ii) και Cu (ii) με πεπτιδικά μοντέλα της ιστόνης H2B: μελέτη των μηχανισμών τοξικότητας και καρκινογένεσης που προκαλούνται από μεταλλικά ιόντα. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, σελ. 211.
- Ζωγόπουλος Ε. (2012). Υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής του Ευρώτα ποταμού με την χρήση του μοντέλου MIKE SHE. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήματα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας - Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πειραιά - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 150.
- Ιωαννίδου Β. (2012). Έλεγχος βασικών παραμέτρων ποιότητας νερού στο πολεοδομικό συγκρότημα Ηρακλείου. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, σελ. 136.
- Καρατάσου Ε. (2005). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα ρέματα της περιοχής Κώνου Σαπών Νομού Ροδόπης από μεταλλευτικές δραστηριότητες. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 101.
- Κατσίρης Ν., Παππά Γ. (2001). Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό. Υπουργείο Υγείας & Πρόνοιας, Εθνική Σχολή Δημόσιας Υγείας, Τομέας Υγειονομικής Μηχανικής και Υγιεινής του Περιβάλλοντος, 1-10.
- Μαντέλα Α. (2007). Βαρέα μέταλλα στην υδρολογική λεκάνη του Κερίτη. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Τ. Ε. Ι. Κρήτης, σελ. 109.

- Μάττας Χ. (2009). Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 375.
- Μέττος Α., Κουτσουβέλης Α. (1983). Γεωλογικός χάρτης 1:50.000, Φύλλο Πλατύ, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Μήτρακας Μ., Μπουγιουκλής, Γ., Στοϊλίδου, Μ. (2002). Απομάκρυνση του Αρσενικού από το νερό με τη συμβατική μέθοδο ιζηματοποίησης με Fe^{3+} ή Al^{3+} . Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, 385-392.
- Μίσσας Σ. (2008). 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., σελ. 142.
- Μιχαηλίδου Α. (2013). Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη των υπογείων υδάτων στην περιοχή Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκης. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 49.
- Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press Α.Ε., Θεσσαλονίκη, σελ. 369.
- Μπαμπάτσικου Α.-Μ. (2014). Γεωχημική περιβαλλοντική μελέτη των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή Πεύκων (Ρετζίκι) Θεσσαλονίκη. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 55.
- Νταρακάς Ε. (2014). Ποιοτικά χαρακτηριστικά και Διεργασίες επεξεργασίας νερού. Σημειώσεις, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., σελ. 63.
- 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., σελ. 224.
- Σαββαΐδης Π., Υφαντής Ι., Δούκας Ι., Παπαδοπούλου Ι., Γκέκας Β., Μιχάλογλου Χ. (2011). Υψομετρική παρακολούθηση και διερεύνηση των εδαφικών υποχωρήσεων σε περιοχές του (παλαιού) Δήμου Εχεδώρου. Ερευνητικό πρόγραμμα, παραδοτέα πρώτης φάσης (Μετρήσεις 2010) - ενδιάμεση τεχνική έκθεση με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Σούλιος Γ. (2006). Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος τέταρτος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 233.
- Σπηλιωτόπουλος Χ. (2008). Η μελέτη της ρύπανσης των υδάτων, οι επιπτώσεις και προτάσεις για την επίλυση του προβλήματος. Πρακτικά 3^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ. 8.

- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (Τ.Ε.Ε.) – Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας (1987). Συλλογή βιβλιογραφίας για το περιβάλλον στη Θεσσαλονίκη. Ειδική έκδοση «Τεχνικής Ενημέρωσης», Βιβλιοθήκη Τ.Ε.Ε. Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
- Τσομπάνογλου Κ. (2011). Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης και των ιζημάτων του πυθμένα στο βόρειο τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 147.
- Τσουμπάρης Π., Παπαδάκης Ν., Γεωργιανός Π. (2008). Βαρέα μέταλλα στο πόσιμο νερό των Νομών Έβρου, Ημαθίας, Σερρών, Χαλκιδικής και Θεσσαλονίκης. Επιπτώσεις στην υγεία. Πρακτικά 3^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, σελ. 7.
- Φιλιππίδης Α. (2006). Εφαρμοσμένη και περιβαλλοντική γεωχημεία. Σημειώσεις, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., σελ. 171.
- 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, 162-169.
- Χριστούλας Δ. (1991). Ρύπανση των υδάτων και αντιρρυπαντική τεχνολογία. Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.

Ιστοσελίδες (πρόσβαση: Φεβρουάριος 2015)

- <http://www.civilengineering.gr> (Civil Engineering Portal, Information Technologies for Earthquake, Bridge and Structural Engineering)
- <http://web.tee.gr> (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)
- <http://www.axiosdelta.gr> (Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Αξιού – Λουδία – Αλιάκμονα).
- <http://www.ekby.gr> (Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής, Κεντρικής, Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης)
- <https://epoptes.wordpress.com> (Υπουργείο Υγείας και Πρόνοιας, Εθνική Σχολή Δημόσιας Υγείας, Τομέας Υγειονομικής Μηχανικής και Υγιεινής του Περιβάλλοντος)
- <http://www.minagric.gr> (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων)
- <http://www.chem.uoa.gr> (Τμήμα Χημείας, Ε.Κ.Π.Α.)
- <http://www.geo.auth.gr> (Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.)
- <http://www.vrisko.gr> (Αναζήτηση για: “Βιομηχανίες Δήμου Δέλτα και Σίνδου”)
- <http://el.wikipedia.org> (Βικιπαίδεια)