



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΠΟΛΥΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΤΕΛΛΑ ΧΑΤΖΗΠΑΥΛΙΔΗ

Επιβλέπων
Καθηγητής Γιώργος Σταυρουλάκης

ΧΑΝΙΑ 2021



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Μηχανικών



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΠΟΛΥΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ**

ΣΤΕΛΛΑ ΧΑΤΖΗΠΑΥΛΙΔΗ

Επιβλέπων : Καθηγητής Σταυρουλάκης Γιώργος

Επιτροπή Καλδέρης Δημήτρης Επίκουρο Καθηγητή (Μέλος)

Αξιολόγησης: Παπαφιλίππáκη Ανδρονίκη - Επιστημονικός Συνεργάτης/Νέος Διδάκτορας (Μέλος)

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιáκής Εργασίας : 83

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο καταρχήν για την ανάθεση και επίβλεψη αυτής της εργασίας, καθώς και για τη σημαντική προσφορά του στην υλοποίηση της καθ' όλη την διάρκεια της. Η στήριξη του σε επίπεδο γνωσιακό αλλά και ψυχολογικό ήταν καθοριστική για όλη τη διαδικασία της σύλληψης, της εκπόνησης και συγγραφής της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για τη βοήθεια και, κυρίως για την αγάπη και την υποστήριξη τους σε όλες μου τις αποφάσεις και τις δραστηριότητες, όπως και για την πολύτιμη βοήθεια τους καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Πρόλογος

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού φράγματος και της χημικής συγγένειας των υπόγειων υδάτων γεωτρήσεων Παναγιά και Αποϊνι. Η συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε τη χρονική περίοδο από 30.7.2018 έως 23.7.2019 στο φράγμα Αποσελέμη, το μεγαλύτερο υδρευτικό έργο της Κρήτης το οποίο κατασκευάστηκε με σκοπό να επιλύσει ζωτικές ανάγκες ύδρευσης-άρδευσης της ανατολικής Κρήτης. Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν, μελετήθηκαν και υπολογίστηκαν στο χημείο του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας θα πραγματοποιηθεί η θεωρητική προσέγγιση που συνδέεται με την ιστορία και σημασία του νερού, από την αρχαιότητά έως και τη σύγχρονη πραγματικότητα. Ακολούθως, η δεύτερη ενότητα πραγματεύεται την έννοια, τη σημασία των φραγμάτων, εστιάζοντας στο φράγμα Αποσελέμη, μελετώντας όλες τις συνιστώσες όπως και τα γεωλογικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής. Το τρίτο μέρος του παρόντος εκπονήματος αφορά τις γεωτρήσεις. Πραγματοποιείται η θεωρητική μελέτη αυτών και η εστίαση στη γεώτρηση του Αποϊνίου με την παράλληλη καταγραφή των χαρακτηριστικών του.

Στο τέταρτο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται αναλυτική καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Πρόκειται για ένα σημαντικό μέρος της εργασίας καθώς αναλύονται όλα τα στοιχεία που συνιστούν το νερό, ώστε να ακολουθήσει στην συνέχεια η πολυπαραμετρική ανάλυση της ποιότητας των νερών του φράγματος Αποσελέμη και των γεωτρήσεων της περιοχής της Μεσσαράς. Η ανάλυση των νερών από το φράγμα Αποσελέμη, τη γεώτρηση Παναγιά και Αποϊνι αναλύονται διεξοδικά στο επόμενο μέρος της εργασίας, όπου μέσω στατιστικών δεδομένων και αναλύσεων, απορρέουν τα συμπεράσματα της εν λόγω ερευνητικής εργασίας, αφού πραγματοποιείται και η σύγκριση των εν λόγω φραγμάτων.

MULTIPARAMETRIC ANALYSIS OF WATER QUALITY OF THE APOSELEMI DAM AND DRILLING IN THE MESSARA AREA

Abstract

The purpose of this dissertation is to study the change in the quality characteristics of water coming from a dam and the chemical affinity of groundwater drilling Panagia and Apoini. The specific research was carried out in the period from 30.7.2018 to 23.7.2019 at the Aposelemi dam, the largest water supply project in Crete, which was constructed in order to solve vital water-irrigation needs of eastern Crete. The measurements collected, studied and calculated at the chemistry of the Hellenic Mediterranean University.

In the first part of the work will take place the theoretical approach associated with the history and importance of water, from antiquity to modern reality. Next, the second section deals with the meaning, the importance of the dams, focusing on the Aposelemi dam, studying all the components as well as the geological data of the specific area. The third part of this paper concerns drilling. The theoretical study of these is carried out and the focus is on the drilling of Apoini with the parallel recording of its characteristics.

In the fourth part of the work, a detailed record of the quality characteristics of the water is made. This is an important part of the work as all the elements that make up the water are analyzed, so that the multi-parametric analysis of the water quality of the Aposelemi dam and the drillings in the area of Messara will follow. The analysis of the waters from the Aposelemi dam, the drilling Panagia and Apoini are analyzed in detail in the next part of the work, is the 6th where through statistical data and analyzes, the conclusions of this research work are derived, after the comparison of these dams.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	4
1.1 Μορφές νερού στην φύση	4
1.2 Κατανομή νερού	4
1.3 Οι κατηγορίες του νερού στην φύση	5
1.4 Υπόγεια νερά.....	5
1.4.1 Υδροφόροι.....	6
1.4.2 Διαχείριση υπόγειων νερών στην Αρχαία Αθήνα	8
1.4.3 Πλεονεκτήματα εκμετάλλευσης υπόγειων νερών.....	8
1.4.4Επιπτώσεις της εκμετάλλευσης υπόγειων νερών	8
1.4.5Δυσκολίες στην μελέτη υπόγειων νερών	9
1.5 Επιφανειακά νερά	9
Κεφάλαιο 2 Φράγματα	14
2.1 Ορισμός.....	14
2.2 Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος μπορεί να είναι:.....	14
2.3 Τύποι φραγμάτων.....	15
2.4 Έργα εξόδου που απαιτούνται:	16
2.5 Ανάγκες δημιουργίας φράγματος	17
2.6 Φράγμα Αποσελέμη	18
2.6.1 Γεωλογία Περιοχής	19
2.6.2 Ιστορική Εξέλιξη.....	19
2.6.3Έργα Ενίσχυσης Ταμιευτήρα Φράγματος Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου (ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ)	21
2.6.4 Χαρακτηριστικά φράγματος Αποσελέμη.....	25
Κεφάλαιο 3 Γεωτρήσεις	26
3.1 Ορισμός.....	26
3.2 Υδρογεωτρήσεις.....	26
3.2.1Στάδια κατασκευής υδρογεώτρησης [10].....	27
3.2.2 Ολοκλήρωση υδρογεωτρήσεων	28
3.3 Γεώτρηση Παναγιά.....	29
3.3.1 Χαρακτηριστικά του υφιστάμενου έργου:.....	29
3.4 Γεώτρηση Αποϊνι	30
3.4.1 Χαρακτηριστικά του υφιστάμενου έργου:.....	30

Κεφάλαιο 4.....	32
Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού	32
4.1 Φυσικοχημικές παράμετροι	32
4.1.1 pH	32
4.1.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	32
4.1.3 Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS) - Αλατότητα του υπόγειου νερού	33
4.1.4 Θολρότητα	33
4.1.5 Σκληρότητα	34
4.1.6 Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD ₅)	34
4.1.7 Χλωρίοντα (Cl ⁻)	35
4.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO ₃ ⁻)	35
4.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH ₄ ⁺)	35
4.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO ₄ ³⁻)	36
4.1.11 Θεϊικά ιόντα (SO ₄ ²⁻).....	36
4.1.12 Κάλιο	36
4.1.13 Νάτριο	37
4.1.14 Ασβέστιο	37
4.2 Μικροβιολογικές παράμετροι	37
4.2.1 Κοπρανώδη Κολοβακτηριοειδή (Fecal coliforms).....	39
4.2.2 Εντερόκοκκοι (Enterococcus)	39
4.2.3 Εσσερίχιακόλι - Κολοβακτηρίδιο (Escherichiacoli).....	39
Κεφάλαιο 5.....	40
Πολυπαραμετρική ανάλυση ποιότητας νερών Φράγματος Αποσελέμη και Γεωτρήσεων περιοχής Μεσσαράς	40
5.1 Εισαγωγή	40
5.2 pH	41
5.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα EC- Διαλυμένα στερεά TDS	41
5.4 Θολρότητα	41
5.5 Σκληρότητα	41
5.6 BOD ₅	42
5.7 Προσδιορισμός χλωριόντων (Cl ⁻)	42
5.8 Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων (NO ₃ ⁻)	43
5.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών ιόντων (NH ₄ ⁺).....	43

5.10 Προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων (PO_4^{3-})	44
5.11 Θειϊκά ιόντα (SO_4^{2-})	45
5.12 Προσδιορισμός συγκέντρωσης K, Na, Ca.....	45
5.13 Μικροβιολογικός έλεγχος νερού	46
5.13.1 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal coliforms).....	46
5.13.2 Escherichiacoli.....	47
5.13.3 Εντερόκοκκος (Enterococcus).....	47
5. 14 Αποτελέσματα	48
Φράγμα Αποσελέμη	48
6.1 Γεώτρηση Παναγιά.....	52
6.2 Γεώτρηση Αποΐνι	55
Βιβλιογραφία	59

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Τι είναι το νερό ; Μια ουσιαστική επιστημονική εξήγηση δόθηκε μόλις το 1783, όταν ανακαλύφθηκε ότι το υδρογόνο παράγει “καιόμενο” σταγόνες νερού (υδρογόνο γεννά ύδωρ). Μετά από αρκετά πειράματα των Lavoisier και Laplace το συμπέρασμα ήταν ότι «το νερό δεν ήταν μια απλή ουσία, που παράγεται από ίσα βάρη καιόμενου και ζωογόνου αέρα» (υδρογόνου και οξυγόνου). Σύμφωνα με τον Στουρνάρα (2018), το 1805, οι Humboldt και Gay-Lussak απέδειξαν ότι το νερό αποτελείται από δύο όγκους υδρογόνου και ένα όγκο οξυγόνου. Έτσι προσεγγίστηκε η κλασική διατύπωση της σύστασης του νερού H_2O και το μοριακό του βάρος ίσο με 18. [1]

1.1 Μορφές νερού στην φύση

Το σύνολο του νερού στον πλανήτη και με τις τρεις φάσεις της ύλης στερεή (πάγοι) υγρή (κάθε είδους νερά) και αέρια (υδρατμοί) αποτελεί την υδρόσφαιρα ή υγρόσφαιρα. Ένα μέρος της απάντησης “τι είναι το νερό” έδωσε τον 6ο π.Χ αιώνα ο Έλληνας σοφός Θαλής, που παρατήρησε ότι το νερό εμφανίζεται και με τις τρεις μορφές της ύλης, κάτω από τις συνθήκες της θερμοκρασίας και πίεσεως που επικρατούν στην γη. Σύμφωνα με τον Στουρνάρα (2018), περισσότερα από 2.500 χρόνια πέρασαν από τότε και οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι πρόκειται για μια ύλη ακόμα πιο ξεχωριστή από όσο νόμιζε ο Θαλής. [1]

1.2 Κατανομή νερού

Τα επιφανειακά νερά που περιέχονται στα ποτάμια, στις λίμνες και στην ακόρεστη σε νερό ανώτερη εδαφική ζώνη αποτελούν ένα ποσοστό 2%, τα υπόγεια νερά αποτελούν το 23% και τα νερά με τη μορφή των πολικών πάγων το 75% του συνόλου των γλυκών νερών σε παγκόσμια κλίμακα. Στο μικρό αυτό ποσοστό του γλυκού νερού 2% έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και στην ιστορία του ανθρώπου, αφού οι πρώτοι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν στις όχθες ποταμών και λιμνών (Νείλος, Ευφράτης, Ινδός κλπ.). Η ανάγκη χρησιμοποίησης του νερού (πόσιμο, πότισμα και μεταφορές) συνέτεινε στην προτίμηση αυτή. Από πολύ παλιά, ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε το νερό για την επιβίωση του, για αυτό και κατοικούσαν σε περιοχές κοντά σε λίμνες, ποτάμια, για την καθημερινή επιβίωση τους. Το νερό το χρησιμοποιούσαν για τις καλλιέργειες, τα ζώα τους, αλλά και για την προσωπική τους χρήση. Αργότερα τους ήταν απαραίτητο για την ανταλλαγή προϊόντων και την άνθιση του εμπορίου. Με την Βιομηχανική επανάσταση αυξάνονται, κατακόρυφα, οι χρήσεις του νερού. Με την αύξηση, όμως, της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στους υδατικούς πόρους, απειλείται η ποιότητα και η ποσότητα του. Σε αυτό συμβάλλει, βάσει του Παπαμιχαήλ (2004) η μεγάλη χρήση των υδατικών πόρων για άρδευση, αναψυχή και τουρισμό, η χημική ρύπανση, η ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα, τα αστικά λύματα και γεωργοκτηνοτροφικές απορροές, η ραδιενεργός ρύπανση, η ρύπανση από πετρελαιοειδή, καθώς και η θερμική ρύπανση. [2]

Το νερό είναι ένα φυσικό στοιχείο, πηγή ζωής, απαραίτητο για κάθε ζωντανό οργανισμό που βρίσκεται στη γη. Τα 2/3 κάθε ζωντανού οργανισμού αποτελείται από νερό. Τα 7/10 της γης καλύπτονται από νερό. Το 53% των εκτάσεων του πλανήτη είναι αρδευόμενες περιοχές ενώ το 47% των εκτάσεων είναι άνυδρο.

1.3 Οι κατηγορίες του νερού στην φύση

Το **ατμοσφαιρικό ή μετεωρολογικό νερό**, που αντιπροσωπεύεται από την βροχή, το χιόνι και την υγρασία το οποίο μελετάται από την Μετεωρολογία – Κλιματολογία. Το **επιφανειακό νερό**, σε υγρή ή στερεή μορφή, τρεχούμενο (υδρογραφικό δίκτυο) ή όχι (θάλασσες, λίμνες) το οποίο μελετάται κατά περίπτωση από την Υδρολογία, Ωκεανογραφία Λιμνολογία και Παγετολογία. Σύμφωνα με τον Στουρνάρα (2018), το **υπόγειο νερό**, που μελετάται από την Υδρογεωλογία στην οποία εντάσσονται σε μεγάλο βαθμό, και άλλα υπόγεια ρευστά (υδρογονάνθρακες). [1]

1.4 Υπόγεια νερά

Ορισμός : ονομάζονται τα νερά που απορροφώνται από το έδαφος, αναβλύζουν μέσα από πηγές ή τα ανακαλύπτουμε μέσα στη γη, ανοίγοντας πηγάδια και κάνοντας γεωτρήσεις.

Η παρουσία των υπογείων νερών στον υδρολογικό κύκλο είναι έντονη και χαρακτηρίζεται από την κατακόρυφη διήθηση επιφανειακών νερών προς τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα (υδροφορείς), την κίνηση εξαιτίας της βαρύτητας του υπόγειου αυτού νερού στην κατεύθυνση των φυσικών κλίσεων και την εμφάνιση-έξοδο του νερού και πάλι στην επιφάνεια του εδάφους με διάφορες μορφές (πηγές τροφοδότηση λιμνών, θαλασσών και ποταμών). Τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα στοιχείο του υδρολογικού κύκλου. Το νερό εισέρχεται στο έδαφος μέσω της επιφάνειας του, με διήθηση περνάει μέσα από την ακόρεστη ζώνη και συναντά την υπόγεια στάθμη του υδροφόρου στρώματος. Τα υδροφόρα στρώματα βρίσκονται μεταξύ της υπόγειας στάθμης του νερού και μιας γεωλογικής αδιαπέρατης στο νερό στρώσης, η οποία εμποδίζει το νερό να προχωρήσει βαθύτερα. Το νερό στο υδροφόρο στρώμα είναι δυνατόν να κινηθεί προς όλες τις κατευθύνσεις ανάλογα με τις υδραυλικές ιδιότητες της εδαφικής στρώσης και μπορεί να εξέλθει από την επιφάνεια του εδάφους υπό μορφή πηγών ή να απομακρυνθεί δια φρεάτων ή να εξέλθει κατευθείαν σε επιφανειακά νερά, όπως ποτάμια, λίμνες ή θάλασσα. Στα υδροφόρα στρώματα εξαντλούνται και επαναπληρώνονται με το νερό της βροχής.

Ο όγκος του νερού που μπορεί να αποδοθεί από ένα υδροφόρο στρώμα αποτελεί χαρακτηριστικό αυτού και εξαρτάται από το πορώδες του εδάφους.

Τα υδροφόρα στρώματα και μάλιστα το ανώτερο μέρος τους εκτίθενται σε ρύπανση, η οποία γίνεται από τα επιφανειακά νερά κατά την κατείσδυσή τους. Ακόμα από την υπεράντλησή τους και μετακίνηση υδάτων από τη θάλασσα ή άλλους σχηματισμούς. Τα υπόγεια νερά θεωρούνται ως πηγή νερού για οικιακούς, γεωργικούς, βιομηχανικούς και άλλους σκοπούς και συμβάλλει στη βελτίωση των οικονομικών και κοινωνικών συνθηκών μιας περιοχής.

Η υπεράντληση μπορεί να προκαλέσει την υποβάθμιση της περιοχής (γης και νερού). Πάντως δεν έχει ληφθεί μέριμνα, ώστε η διαχείριση των υπογείων υδάτων να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μη θίγεται το περιβάλλον σε μακροχρόνια βάση. Στην Ευρώπη το πόσιμο νερό προέρχεται κατεξοχήν από τα υπόγεια νερά. Τα υπόγεια νερά είναι τα αποθέματα γλυκού νερού που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στεριά αλλά κάποτε και κάτω από τη θάλασσα κοντά στις ακτές αποτελούν συλλογικό αγαθό και η ποιότητά τους επηρεάζεται από ένα σωρό φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες, που έχουν να κάνουν με όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε πολύ μεγάλες περιοχές και για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Επειδή το νερό είναι η βασικότερη προϋπόθεση της ζωής, τα υπόγεια νερά είναι ένας φυσικός πόρος, που ασκεί κρισιμότητα ρόλο και επηρεάζει τα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη ζωή και τις δραστηριότητες του ανθρώπου γενικά σε όλον τον κόσμο . Είναι ένας πόρος που βρίσκεται θεωρητικά παντού στην επιφάνεια όλης της ξηράς και είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος, που μόνο αν προστατευτεί και διαχειριστεί σωστά, μπορεί να συνεχίσει να ασκεί τις ευεργετικές του λειτουργίες επ' αορίστον. Μαζί με τα επιφανειακά νερά, τα υπόγεια αποθέματα νερού αποτελούν τα συνολικά αποθέματα του γλυκού νερού. Σχηματίζονται με την καθίζηση του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και το φιλτράρισμά του μέσα από τα στρώματα του εδάφους. Το νερό κινείται με την επίδραση της βαρύτητας και γεμίζει τις σχισμές και γενικά τα κενά ανάμεσα στα πετρώματα και την άμμο. Προμηθεύει με τεράστιες ποσότητες νερού τα ρυάκια και ποτάμια και τους υγρότοπους. Δίνει περίπου το 90% του γλυκού νερού του πλανήτη, χωρίς να υπολογιστούν οι πολιικοί πάγοι. Σήμερα, με την ολοένα και μεγαλύτερη λειψυδρία και τον περιορισμό των επιφανειακών νερών, περισσότερο από το μισό του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού εξαρτάται άμεσα από τα υπόγεια αποθέματα για πόσιμο νερό . Οι περισσότερες πόλεις του κόσμου καταφεύγουν σε αυτά για τις ανάγκες τους για ύδρευση. Σύμφωνα με τον Παπαμιχαήλ (2004), με την ευκολία της τεχνολογίας στις γεωτρήσεις, στα περισσότερα μέρη του κόσμου αποτελεί εκτός των άλλων και τη φτηνότερη μέθοδο εξεύρεσης νερού. [2]

Τα υπόγεια νερά έχουν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που είναι χρήσιμο να αναφερθούν.

Κατανομή στο χώρο: τα υπόγεια νερά καταλαμβάνουν τεράστιες εκτάσεις και με απευθείας άντληση από τους υδροφορείς αποφεύγονται τα δίκτυα μεταφοράς νερού και έχουμε εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων.

Παροχές και διαθέσιμα αποθέματα: οι στάθμες των υπόγειων νερών σε σύγκριση με το κορεσμένο σε νερό πάχος του υδροφορέα, ελάχιστα επηρεάζονται από τις εποχιακές μεταβολές.

Ποιότητα νερού: τα υπόγεια νερά είναι λιγότερο εκτεθειμένα στη ρύπανση ή στη μόλυνση από τα επιφανειακά. Όμως, σε περίπτωση ρύπανσης μπορούν να δημιουργηθούν καταστάσεις που είναι μη αντιστρέψιμες. Σύμφωνα με τον Παπαμιχαήλ (2004) επιπρόσθετα εξαιτίας της πολύ μικρής ταχύτητας κίνησης των υπογείων νερών έχουμε σαν αποτέλεσμα την παραμονή των μολυσμένων όγκων νερού στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα, δυσχεραίνοντας ακόμα περισσότερο τον καθαρισμό τους. [2]

1.4.1 Υδροφόροι

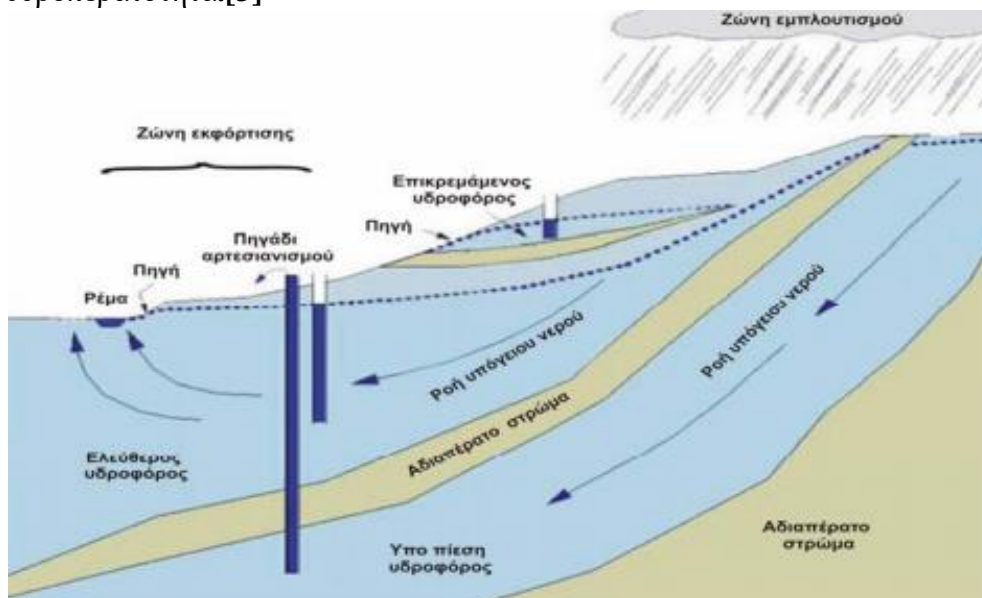
Το υπόγειο νερό είναι αυτό που κινείται και αποθηκεύεται μέσα στο έδαφος και ειδικότερα στους πόρους των εδαφών που ονομάζονται **υδροφόροι**. Το υπόγειο νερό είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικώς διαθέσιμου, ενώ δυστυχώς σχεδόν η μισή ποσότητα απ' αυτό το υπόγειο νερό είναι αποθηκευμένη σε πολύ μεγάλα βάθη από την επιφάνεια της γης όπου η ποσότητα των περιεχόμενων αλάτων είναι πολύ μεγάλη και απ' όπου η άντληση του είναι υπερβολικά δαπανηρή.

Ορισμός: είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις ή πηγές. Οι υδροφορείς έχουν αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό. Το υδροφόρο στρώμα αποτελείται από το γεωλογικό σκελετό και το υπόγειο νερό. Ως υδροφόρος ορίζοντας θεωρείται η άνω επιφάνεια του υδροφόρου, αν και οι έννοιες υδροφορέας, υδροφόρος, υδροφόρο στρώμα, υδροφόρος ορίζοντας χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν το ίδιο πράγμα όπως ορίζεται στις βασικές έννοιες υδρολογίας. [3]

Οι κυριότεροι τύποι υπόγειων υδροφορέων

Οι ελεύθεροι υδροφορείς: οι υδροφόροι που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέραστο γεωλογικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην ελεύθερη επιφάνεια (φρεάτια) των υπόγειων νερών η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφόρο. **Οι υπό πίεση υδροφόροι ή εγκλωβισμένοι ή αρτεσιανοί:** στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής. Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για τον λόγο αυτό ηπιεζομετρική επιφάνεια, η οποία είναι μια εικονική επιφάνεια και συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο, βρίσκεται ψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής.

Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα (αρτεσιανισμός). **Οι ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφορείς:** πρόκειται για υπόγειους υδροφορείς ανάλογους με τους υπό πίεση με τη διαφορά ότι το υπερκείμενο στρώμα είναι ημιπερατό, παρουσιάζει δηλαδή μικρή υδροπερατότητα. [3]



Εικόνα 1.2 Είδη υδροφόρων οριζόντων [3]

Οι υπόγειοι υδροφορείς είναι μονάδες του υδατικού συστήματος και μπορούν να λειτουργήσουν ως:

Πηγές παροχής νερού. Σε ετήσια βάση οι βροχοπτώσεις ανανεώνουν τον υδροφορέα έτσι ώστε τα υπόγεια νερά να μπορούν να θεωρηθούν σαν ανανεώσιμοι πόροι. Η επαναπλήρωση του υδροφορέα μπορεί να γίνει και από γειτονικά επιφανειακά νερά ποταμών ή λιμνών.

Δεξαμενές αποθήκευσης νερού.

Αγωγοί μεταφοράς. Η λειτουργία αυτή είναι δυνατή μόνο με την παρέμβαση του ανθρώπου, όπως π.χ. με την εισαγωγή νερού με πηγάδια φόρτισης.

Φίλτρα καθαρισμού ρυπασμένου νερού.

Έλεγχος ροής υδατορευμάτων με τη ρύθμιση της στάθμης στους υδροφορείς που επικοινωνούν υδραυλικά μαζί τους, σύμφωνα με τον Παπαμιχαήλ(2004). [2]

1.4.2 Διαχείριση υπόγειων νερών στην Αρχαία Αθήνα

Ο αρχαίος αθηναϊκός πολιτισμός εκτός από τεχνικά έργα ανέπτυξε ένα πλαίσιο νόμων και θεσμών για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι πρώτοι γνωστοί κανόνες εισήχθησαν από τον Σόλωνα που ήρθε στην εξουσία το 594π.Χ. και Διαμόρφωσε ένα νομικό σύστημα το οποίο περιγράφεται από τον Πλούταρχο (47-195μ.Χ.) στο έργο του ‘Σόλων’ .Σχετικά με τα υπόγεια νερά αναφέρεται: Δεδομένου ότι η περιοχή δεν τροφοδοτείται με αρκετό νερό από τα ποτάμια, λίμνες και πηγές, οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν πηγάδια.Ο Σόλων έκανε ένα νόμο όπου: Εάν υπήρχε ένα δημόσιο πηγάδι σε απόσταση 4 σταδίων (710μέτρα) όλοι θα χρησιμοποιούσαν αυτό. Εάν το πηγάδι ήταν μακρύτερα θα έπρεπε να ανοιχτεί πηγάδι με ιδιωτικά μέσα .Εάν είχαν σκάψει για 18 μέτρα και δεν είχαν βρει νερό είχαν το δικαίωμα να παίρνουν μια υδρία (20 λίτρα) 2 φορές την ημέρα από τους γείτονές τους. Έτσι με το νόμο αυτό εξυπηρετούνταν οι ανάγκες. Ένας συγκεκριμένος δημόσιος αξιωματούχος (κρουνών επιμελητής) ήταν υπεύθυνος για τη τήρηση των νόμων και των κανονισμών. Το αξίωμα αυτό θεωρείτο τόσο σημαντικό ώστε ήταν ένα από τα λίγα που δινόταν με ψηφοφορία (τα περισσότερα αξιώματα στην αρχαία Αθήνα δίνονταν με κλήρωση).Το αξίωμα αυτό, βάσει του Μαμάση (2011) είχε καταλάβει και ο Θεμιστοκλής. Αργότερα όταν τα δημόσια έργα αυξήθηκαν με υδραγωγεία και κρήνες, τα ιδιωτικά έργα (πηγάδια, δεξαμενές άρχισαν να εγκαταλείπονται. Δεδομένης της αναγκαιότητάς τους σε κατάσταση πολέμου οι ιδιοκτήτες τους υποχρεώθηκαν από κανονισμούς να διατηρούνται πηγάδια σε καλή κατάσταση και έτοιμα προς χρήση. [4]

1.4.3 Πλεονεκτήματα εκμετάλλευσης υπόγειων νερών

Δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή ταμιευτήρων, αφού οι υδροφορείς πρακτικά συμπεριφέρονται ως ταμιευτήρες ετήσιας εξίσωσης. Πολλές φορές οι υδροφορείς αναπτύσσονται κάτω από τις εκτάσεις όπου γίνεται η κατανάλωση του νερού, οπότε αποφεύγεται η κατασκευή μεγάλων έργων μεταφοράς. Οι γεωτρήσεις εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών μπορούν να κατασκευάζονται και να λειτουργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα, κάτι που ευνοεί τη σταδιακή ανάπτυξη του συστήματος εκμετάλλευσης .Κατά κανόνα η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι καλύτερη από αυτήν του επιφανειακού.

Σημαντικό **μειονέκτημα της εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών** είναι η απαραίτητη άντληση του νερού, συχνά από μεγάλα βάθη, η οποία συνεπάγεται σημαντική ενεργειακή, άρα και οικονομική, επιβάρυνση. Έτσι, για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη υδατικών πόρων, το συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των έργων εκμετάλλευσης υπόγειου νερού διαμορφώνεται σε πολύ μεγαλύτερα επίπεδα από τα αντίστοιχα των έργων εκμετάλλευσης επιφανειακού νερού. [4]

1.4.4 Επιπτώσεις της εκμετάλλευσης υπόγειων νερών

Η άντληση υπόγειου νερού σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές μετακινεί τη διεπιφάνεια που σχηματίζεται ανάμεσα στο υπόγειο γλυκό νερό και το νερό της θάλασσας. Το τελευταίο προωθείται προς την ξηρά και στη συνέχεια αντλείται ποιοτικά υποβαθμισμένο (υφαλμύρωση) ή ακόμη και θαλασσινό νερό. Η επαναφορά στην προϋπάρχουσα κατάσταση μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται σε υδροφορείς που γειτονεύουν με άλλους υδροφορείς που περιέχουν νερό χαμηλότερης ποιότητας.

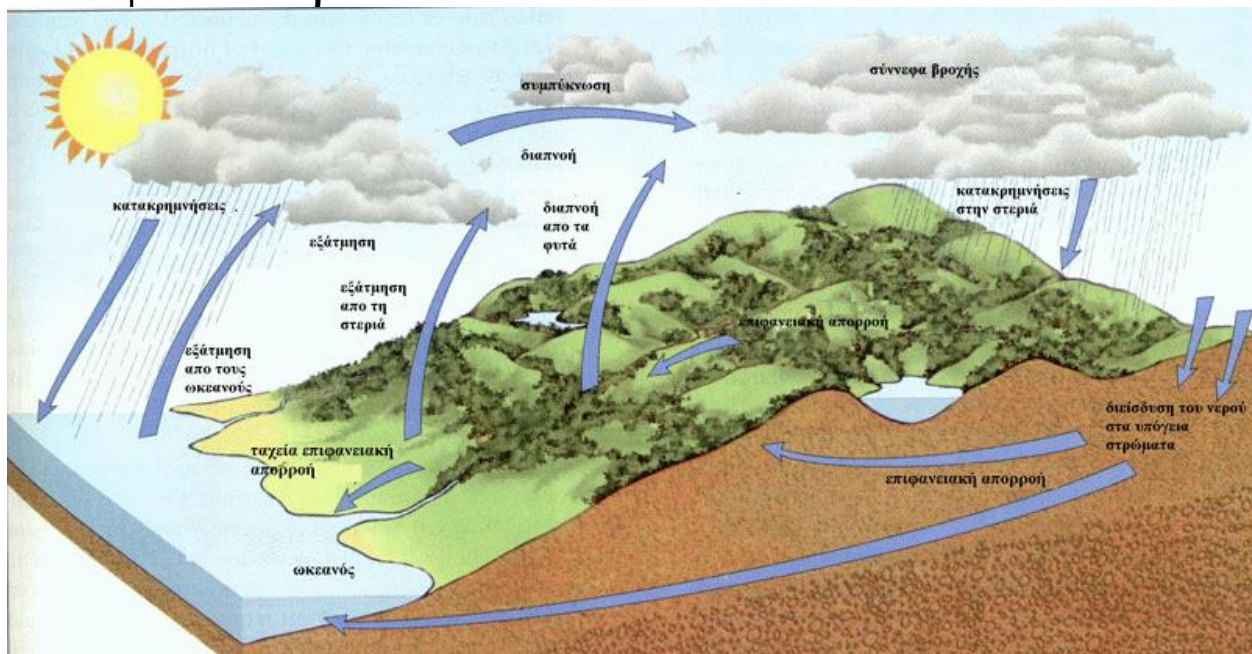
Η ταπείνωση της στάθμης των φρεάτιων υδροφόρων και η αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων νερού από περιορισμένους υδροφορείς μπορεί να προκαλέσει καθιζήσεις. Η ταπείνωση της

στάθμης των φρεατίων οριζόντων ή της πίεσης των περιορισμένων υδροφόρων αυξάνει το κόστος άντλησης σε γραμμική αναλογία. Η ταπείνωση ενός φρεάτιου υδροφορέα από μία γεώτρηση μπορεί να οδηγήσει γειτονικές αβαθέστερες γεωτρήσεις σε αστοχία, δημιουργώντας ουσιαστικά και νομικά προβλήματα. Η μείωση της επιφανειακής ή υπόγειας τροφοδοσίας των λιμνών και των υγροτόπων μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα οικοσυστήματά τους και να περιορίσει τις απολήψεις νερού από αυτά. Η μείωση της εκροής υπόγειου γλυκού νερού προς τη θάλασσα μπορεί να έχει δυσμενείς συνέπειες στα παράκτια οικοσυστήματα, βάσει του Μαμάση (2011)[4]

1.4.5 Δυσκολίες στην μελέτη υπόγειων νερών

Λόγω έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας (ανομοιομορφία) και ανισορροπίας των χαρακτηριστικών των υδροφόρων δυσχέρειας ακριβούς γνώσης τόσο της γεωμετρίας όσο και των χαρακτηριστικών των υδροφόρων ανάπτυξης των υπόγειων ροών σε δύο ή τρεις χωρικές διαστάσεις, σε αντίθεση με την κατά κανόνα μονοδιάστατη εικόνα των επιφανειακών ροών, βάσει του Μαμάση (2011) [4]

1.5 Επιφανειακά νερά



Εικόνα 1.3 Υδρολογικός κύκλος

Ο κύκλος του νερού είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα και στη λιθόσφαιρα (έδαφος-υπέδαφος). Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Το νερό του πλανήτη αλλάζει συνεχώς φυσική κατάσταση, από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή μορφή των ποταμών, λιμνών και των θαλασσών και την αέρια κατάσταση των υδρατμών.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης, τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα.

Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νετού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

Από τη θάλασσα, τις λίμνες και τα ποτάμια εξατμίζεται κάθε λεπτό μια ποσότητα 1.000.000.000 (ένα δισεκατομμύριο) κυβικών μέτρων νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνεται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάχους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή. Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα, βάσει του Παπαμιχαήλ (2004) και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" και "ξεκινάει" εκ νέου.[2]

1.5.1 Κύριες μορφές επιφανειακών νερών

Οι κύριες μορφές με τις οποίες εμφανίζονται τα επιφανειακά νερά είναι οι ωκεανοί, οι θάλασσες, τα πελάγη, οι λιμνοθάλασσες, οι λίμνες, τα έλη, οι ποταμοί και οι χείμαρροι.

Ωκεανός είναι το σύνολο των αλμυρών νερών υδάτινων μαζών που καλύπτουν τις λεκάνες μεταξύ των ηπείρων. **Θάλασσες** χαρακτηρίζονται οι κατά κάποιο τρόπο κλειστές εκτεταμένες αλμυρές υδάτινες μάζες, πολύ μικρότερες βέβαια των ωκεανών. **Πελάγη** καλούνται τμήματα των θαλασσών. **Λιμνοθάλασσες** είναι μεγάλες κλειστές ή ημίκλειστες παραθαλάσσιες υδάτινες εκτάσεις υφάλμυρων ή αλμυρών νερών και μικρού βάθους, που έχουν άμεση επικοινωνία με τις θάλασσες και δέχονται συνήθως γλυκά νερά. **Λίμνες** είναι υδάτινες εκτάσεις γλυκών συνήθως νερών που καλύπτουν βαθιές λεκάνες της στεριάς και δεν επικοινωνούν άμεσα με τη θάλασσα. **Έλη** είναι μικρές εκτάσεις με γλυκά, τις περισσότερες φορές, νερά μικρού βάθους.

Ποταμοί είναι οι ρέουσες μεγάλες μάζες γλυκών νερών. **Χείμαρροι** είναι υδάτινα ρεύματα γλυκών νερών πρόσκαιρης ροής με μεγάλη κλίση και μικρό σχετικά μήκος.

1.5.2 Άλλες μορφές

Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δεν εισέρχονται στο έδαφος και δεν εξατμίζονται αποτελούν μαζί με το νερό των πηγών, το επιφανειακό νερό. Το νερό της βροχής αμέσως μετά την πτώση του στο έδαφος ρέει προς τα κατάντη εξαιτίας της δράσης της βαρύτητας με τη μορφή επιφανειακού μανδύα μεταβλητού συνήθως πάχους και ακανόνιστης ροής.

Πολύ γρήγορα όμως οργανώνεται μέσα σε ένα δίκτυο ρυακιών, χειμάρρων και ποταμών δημιουργώντας ένα δίκτυο επιφανειακής αποστράγγισης της επιφάνειας της γης, το οποίο ονομάζεται υδρογραφικό δίκτυο. Η διανύομενη απόσταση μεταξύ του σημείου πτώσης της βροχοσταγόνας και των δημιουργούμενων υδατορευμάτων ονομάζεται μήκος επίγειας ροής, βάσει του Παπαμιχαήλ (2004)[2]

Υδάτινα ρεύματα

Με τον όρο υδάτινο ρεύμα ονομάζουμε μια στενή, επιμήκης μάζα νερού που συγκεντρώνεται στη βάση μιας κοιλότητας ή κατά μήκος μιας κοίτης και μετακινείται προς τα κατάντη με την

δύναμη της βαρύτητας. Όταν η ροή του επιφανειακού νερού μεταβληθεί από επιφανειακού μανδύα σε γραμμική, τότε το νερό συγκεντρώνεται σε μια στενή κοίτη με πλευρικές όχθες και ρέει ευκολότερα προς τα κατάντη με την μορφή ενός επιμήκους υδάτινου ρεύματος.

Η κοίτη ενός ποταμού είναι μια στενή αύλακα που διοχετεύει τη ροή της υδάτινης μάζας του ποταμού προς τα κατάντη. Διαμορφώνεται από τις δυνάμεις του τρεχούμενου νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρει όσο το δυνατόν καλύτερα προς τα κατάντη, εκτός από τη μάζα του νερού και τις φερτές ύλες που αποτελούν προϊόντα της ποτάμιας διάβρωσης. Το μέγεθος της κοίτης βάσει του Παπαμιχαήλ (2004) ενός ποταμού ποικίλει από λίγα μέτρα έως χιλιόμετρα. [2]

Φυσικές και τεχνητές λίμνες

Στο επιφανειακό νερό συγκαταλέγονται και τα νερά των λιμνών. Πρόκειται για νερά που κατακλύζουν επιφανειακές κοιλότητες της γης και είναι είτε απομονωμένες από την θάλασσα, ή υπάρχει μια πολύ μικρή υπερχειλιστική ροή προς αυτή. Για να δημιουργηθεί μία φυσική λίμνη ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι το τοπογραφικό ανάγλυφο το οποίο θα πρέπει να ευνοεί το μέγεθος κλειστών υδρολογικών λεκανών. Οι λίμνες δέχτηκαν από πολύ νωρίς την επέμβαση του ανθρώπου, που αποσκοπούσε στην αύξηση της γεωργικής γης με μερική ή ολική αποξήρανσή τους ή τη χρήση του νερού τους για αρδευτικούς σκοπούς, με αποτέλεσμα τη συρρίκνωση του όγκου και της επιφάνειάς τους. Υπάρχουν όμως λίμνες που έχουν δημιουργηθεί και με τεχνητό τρόπο πάνω στα ποτάμια συστήματα της Ελλάδας που είναι ενταγμένες σε ένα πλαίσιο αντιπλημμυρικής προστασίας, παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας και άρδευσης.

Το πρώτο μεγάλο έργο βάσει του Παπαμιχαήλ (2004) αυτής της μορφής ολοκληρώθηκε στις αρχές της 10ετίας του 1930 είναι η τεχνητή λίμνη της Κερκίνης που δημιουργήθηκε μετά από την εκτροπή του Στρυμόνα για την αντιπλημμυρική προστασία της πεδιάδας των Σερρών και για τις ανάγκες άρδευσής της. [2]

1.5.3 Έργα αξιοποίησης επιφανειακών υδάτων

Η χρησιμοποίηση του νερού από ποταμούς, λίμνες και υπόγεια νερά μπορεί να είναι καταναλωτική, όπως η ύδρευση και η άρδευση, στις οποίες το νερό δεν επιστρέφει στην αρχική του θέση, ή μη καταναλωτική, όπως η υδροηλεκτρική παραγωγή, αλιεία και ναυσιπλοΐα, στις οποίες το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερες από μία φορές. Συνδυασμός της καταναλωτικής και της απλής χρησιμοποίησης του νερού δεν είναι δυνατόν να γίνεται πάντοτε. Οι καταναλωτικές χρήσεις του νερού είναι μερικές φορές μεγαλύτερες από τις διαθέσιμες ποσότητες νερού, οπότε γίνεται μεταφορά νερού από περιοχές με άφθονες διαθέσιμες ποσότητες νερού σε περιοχές με ανεπαρκείς ποσότητες νερού. Οι υδραυλικές κατασκευές έχουν σκοπό τον έλεγχο των νερών έτσι ώστε να προκύψει ή βέλτιστη χρησιμοποίησή τους. Με τις υδραυλικές κατασκευές μετατρέπεται η φυσική ροή των νερών του ποταμού σε ρυθμιζόμενη ροή η οποία προσαρμόζεται σε χρήσεις προσοδοφόρες για την εθνική οικονομία κάθε χώρας, σε συνδυασμό με την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρησιμοποίηση του νερού με την αποθήκευση του σε ταμιευτήρες και με τη ρύθμιση της παροχής του ανάλογα με την ποιότητα η οποία απαιτείται για τη χρησιμοποίησή του. Οι υδραυλικές κατασκευές, ανάλογα με τη θέση των νερών για τα οποία κατασκευάστηκαν, διακρίνονται σε κατασκευές στους ποταμούς, στις λίμνες και στις ακτές.

Ανάλογα με την επίπτωση των κατασκευών στη ροή του ποταμού, οι υδραυλικές κατασκευές διακρίνονται σε έργα ανάσχεσης-εγκιβωτισμού και σε έργα μεταφοράς. Στα έργα ανάσχεσης περιλαμβάνουν τα φράγματα οποία δημιουργούν διακοπή της ροής, και επομένως το

σηματισμό ενός ταμιευτήρα ανάντη του φράγματος με στάθμη νερού (HEADWATER) υψηλότερη από τη στάθμη νερού κατάντη του φράγματος (TAILWATER). Η ανάσχεση της ροής προκαλεί μεταβολή στη στάθμη, στην παροχή, στην ταχύτητα και στο βάθος ροής του ποταμού. Παράλληλα, προκαλείται μεταβολή του υπόγειου ορίζοντα, ο οποίος αυξάνεται σε μεγαλύτερες στάθμες από τις στάθμες πριν την κατασκευή των έργων ανάσχεσης, και μπορεί να έχει δυσμενή επίπτωση στις καλλιέργειες. Φαινόμενα διήθησης παρατηρούνται κάτω από τα έργα ανάσχεσης, και οφείλονται στη διαφορά στάθμης του νερού ανάντη και κατάντη των έργων. Η διήθηση αυτή, σύμφωνα με την Παπαφιλίππáκη (2017) γίνεται υπόγεια και πλευρικά των έργων. [6]

1.5.4 Αξιοποίηση των απορροών

Τα φράγματα από πλευράς αξιοποίησεως των απορροών είναι μια αρκετά αξιόπιστη λύση στις περιοχές όπου υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες. Ως γνωστόν η κατασκευή ενός φράγματος προϋποθέτει σε γενικές γραμμές ότι υπάρχει θέση κατάλληλη από τοπογραφικής, γεωλογικής και εδαφοτεχνικής απόψεως για την κατασκευή του φράγματος. Θα πρέπει ο δημιουργούμενος ταμιευτήρας έχει ικανοποιητική χωρητικότητα σε σχέση με τον απορρέοντα όγκο νερού, αλλά και με το ύψος του φράγματος. Επίσης το γεωλογικό υπόβαθρο στην περιοχή του ταμιευτήρα εξασφαλίζει την στεγανότητα αυτού και να υπάρχουν πλησίον του έργου υλικά κατάλληλα και στις απαιτούμενες ποσότητες για την κατασκευή του φράγματος. Ανάλογα με την γεωμορφολογία της περιοχής και τα διατιθέμενα επί τόπου υλικά, γίνεται η επιλογή του τύπου του φράγματος (χωμάτινο ή σκυροδέματος).

Για την αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος σε περιοχές όπου οι γεωμορφολογικές και υδρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την κατασκευή φράγματος, κατασκευάζονται μικροί ταμιευτήρες νερού που ονομάζονται λιμνοδεξαμενές. Με τον όρο λιμνοδεξαμενή ή πιο σωστά "εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή" χαρακτηρίζουμε ένα έργο που κατασκευάζεται έξω από την κοίτη του φυσικού υδατορεύματος, σε θέσεις όπου το ανάγλυφο του εδάφους και τα γεωλογικά του χαρακτηριστικά είναι γενικά ευνοϊκά, χωρίς να είναι απαραίτητο να υπάρχουν αδιαπέρατοι σχηματισμοί, διότι η λιμνοδεξαμενή στεγανοποιείται με την χρήση ειδικών μεμβρανών σύμφωνα με την Παπαφιλίππáκη (2017). [6]

1.5.5 Κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις φραγμάτων

Τα προβλήματα τα οποία δημιουργούν τα φράγματα είναι κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά. Οι εκτάσεις οι οποίες κατακλύζονται από τα νερά του ταμιευτήρα μπορεί να περιλαμβάνουν αστικές και βιομηχανικές περιοχές, καλλιέργειες και δασικές εκτάσεις, συγκοινωνιακές, γραμμές δρόμων και σιδηροδρόμων, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ορυκτό πλούτο στο υπέδαφος, και κτίσματα ιστορικής και αρχιτεκτονικής σημασίας.

Οι περιοχές οι οποίες επηρεάζονται από τον ταμιευτήρα περιλαμβάνουν όχι μόνο τις περιοχές ταμίευσης του νερού, αλλά και τις περιοχές γύρω από το ταμιευτήρα του φράγματος. Οι στάθμες αυτές δημιουργούν ανύψωση του υδροφόρου ορίζοντα στην περίξ περιοχή, η οποία πρέπει να ελέγχεται προκειμένου να γίνεται πρόβλεψη και προστασία των θεμελιώσεων των κατασκευών. Οι γέφυρες οι οποίες υπάρχουν στην περιοχή πρέπει να αφήνουν αρκετό ύψος κάτω από την κατασκευή τους για την περίπτωση όπου η στάθμη του ταμιευτήρα έχει υπερβεί την ανώτατη στάθμη.

Η δημιουργία ταμιευτήρων σε ορεινές συνήθως περιοχές, προκαλεί μεταβολή του τοπίου, με την παρουσία μεγάλου όγκου νερού. Οι περιοχές αυτές γίνονται παραλίμνιες με τμήματα βαθιά, ρηχά και περιοχές απόθεσης φερτών.

Με τη δημιουργία του φράγματος ορισμένα είδη φυτών και ζώων εξοντώνονται, ενώ άλλα θα πρέπει να συνηθίσουν και να εγκλιματισθούν στις νέες συνθήκες που δημιουργεί η παρουσία του φράγματος. Οι πληθυσμοί στις ορεινές περιοχές, οι οποίοι είναι κυρίως κτηνοτρόφοι, αλλάζουν ασχολίες και ασχολούνται με τη γεωργία. Η δημιουργία του ταμιευτήρα μπορεί να κατακλύσει τις πηγές ποταμών στις οποίες γεννούν αυγά μερικά είδη ψαριών, με αποτέλεσμα τη μείωση ή την εξαφάνιση του είδους. Κατά τη δημιουργία των ταμιευτήρων κατακλύζονται εκτάσεις, οι οποίες έχουν άφθονο οργανικό υλικό, όπως αγροτικές και δασικές. Πριν δημιουργηθεί ο ταμιευτήρας απαιτείται αποψίλωση της επιφάνειας του εδάφους από δένδρα και θάμνους μεταξύ των ισούψων οι οποίες αποτελούν τη μέγιστη και ελάχιστη στάθμη του ταμιευτήρα, έτσι ώστε να μην υπάρχουν φυτά τα οποία θα βρίσκονται περιοδικά μέσα ή έξω από το νερό. Στα είδη ψαριών τα οποία ζουν στους ταμιευτήρες είναι διαφορετικά από εκείνα των ποταμών. Στους ταμιευτήρες, και μάλιστα στις πιο ρηχές περιοχές, υπάρχει περισσότερη τροφή για τα ψάρια και μπορεί να γίνει ιχθυοκαλλιέργεια. Η ανάπτυξη φυκιών στους ταμιευτήρες εξαρτάται από την ποιότητα των νερών τα οποία εισρέουν σε κάθε περιοχή του ταμιευτήρα. Οι ταμιευτήρες μπορούν να υποστούν ρύπανση από απόβλητα αστικών και βιομηχανικών περιοχών, όπως οι φυσικές λίμνες και οι ποταμοί, οπότε πρέπει να λαμβάνονται παρόμοια μέτρα για την προστασία τους. Από περιβαλλοντική άποψη απαιτείται μελέτη της περιοχής πριν από την πλήρωση του ταμιευτήρα, κατά την οποία θα καταγράφονται τα σπάνια είδη φυτών και ζώων στην περιοχή, τα οποία δεν συναντώνται σε γειτονικές περιοχές και τα οποία θα πρέπει να διασωθούν.

Η κατασκευή ενός φράγματος και η δημιουργία τεχνητής λίμνης δημιουργεί επίσης διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, γιατί στην περιοχή που κατακλύζεται από νερό του ποταμού (λίμνη), συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Εκτός όμως από τις πιέσεις, οι μεγάλες ποσότητες του νερού δημιουργούν προβλήματα διαβρώσεων, διαρροών ή ακόμα και κατολισθήσεων στην περιοχή του φράγματος που αν δεν προβλεφθούν για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μπορεί να οδηγήσουν στην καταστροφή του. Από τις στατιστικές για τα αίτια που προκαλούν την καταστροφή των διαφόρων φραγμάτων στον κόσμο προκύπτουν ότι τα σημαντικότερα είναι η ανεπαρκής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του φράγματος, η θεομηνία που δεν προβλέφθηκε (υπερχείλιση) η σεισμική καταπόνηση και η κακότεχνη κατασκευή. Από την άποψη τεχνικών έργων για τη χρησιμοποίηση των υδατικών πόρων, απαιτούνται αναχώματα και προστασία περιοχών από τα νερά, διαχωρισμός ρηχών περιοχών ταμιευτήρων από τις βαθιές περιοχές για χρησιμοποίηση σε ιχθυοκαλλιέργειες, ή αποξήρανση περιοχών και χρησιμοποίηση στη γεωργία. Τα μέτρα προστασίας περιλαμβάνουν αναχώματα μεταξύ του ταμιευτήρα και των περιοχών οι οποίες πρέπει να προστατευθούν. Επίσης, περιλαμβάνουν συστήματα αποστράγγισης των περιοχών αυτών, και αντλιοστάσια για απομάκρυνση των νερών από το χαμηλότερο σημείο της συγκέντρωσης τους. Οι περιοχές αυτές μπορεί να είναι οικισμοί, βιομηχανικές περιοχές, και αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες. Παρ' όλες τις αρνητικές σύμφωνα με τον Στουρνάρα (2018) και την Παπαφίλιππάκη (2017), συνέπειες τα φράγματα και οι τεχνητές λίμνες έχουν αναδειχτεί σε δημιουργούς νέων υδροβιότοπων και έχουν εμπλουτίσει τη βιολογική ποικιλότητα των τοπικών οικοσυστημάτων με νέα είδη πανίδας και χλωρίδας. [1] [6]

Κεφάλαιο 2 Φράγματα

2.1 Ορισμός

Το φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού ρεύματος (ποταμού) για την αποκοπή της ροής, με σκοπό την αποθήκευση, παροχέτευση ή ανάσχεση της πλημμυρικής παροχής του ρεύματος.

Με την κατασκευή των φραγμάτων το νερό δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για άρδευση, ύδρευση ή περικλείει ενέργεια εξ' αιτίας της διαφοράς στάθμης για την κίνηση υδροστρόβιλων και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα με την κατασκευή ενός φράγματος δημιουργούνται συλλέκτες υδάτων, δεξαμενές ή ακόμη και τεχνητές λίμνες. Με τον όρο τεχνητή λίμνη αποκαλούμε κάθε λίμνη που σχηματίστηκε με κατασκευή φράγματος, συνήθως στη ροή ποταμού, αλλά και πολύ μικρότερων υδάτινων ρευμάτων, που προέρχονται από την ίδια λεκάνη απορροής, όπως είναι η Λίμνη του Μαραθώνα. Ο σκοπός της δημιουργίας τέτοιων λιμνών είναι η παραγωγή ενέργειας, η άρδευση, η ύδρευση και ο έλεγχος των πλημμυρών του ποταμού. Ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για την αναφορά στις τεχνητές λίμνες για άρδευση και ύδρευση είναι ταμιευτήρας. Στην Ελλάδα υπάρχουν, μέχρι σήμερα, 25 τέτοιες λίμνες με συνολική επιφάνεια 358,235 km². Η χρησιμότητα των τεχνητών λιμνών είναι ανεκτίμητη.

Αρχικά, η ανάγκη εξασφάλισης νερού για άρδευση ανάγκασε τους ανθρώπους να κατασκευάσουν φράγματα. Αργότερα ακολούθησε η υδροδυναμική αξιοποίηση του αποθηκευμένου νερού και η τόσο μεγάλη χρησιμότητα των φραγμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φράγματα είναι τόσο δαπανηρά, αλλά με μεγάλη οικονομική απόδοση και γι' αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους. Η κατασκευή ενός φράγματος μελετάται ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει και βρίσκεται τόσο ο καλύτερος τύπος φράγματος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα και δεν είναι δυνατόν να τυποποιηθούν. Κάθε φράγμα έχει τη δική του λειτουργικότητα, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον. Η κατασκευή ενός φράγματος δημιουργεί διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, μεγαλύτερες και εντονότερες από οποιοδήποτε άλλο έργο, γιατί στην περιοχή που κατακλύζεται από νερό του ποταμού (λίμνη), συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Εκτός όμως από τις πιέσεις, οι μεγάλες ποσότητες του νερού δημιουργούν προβλήματα διαβρώσεων, διαρροών ή ακόμα και κατολισθήσεων στην περιοχή του φράγματος που χρειάζεται να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα σύμφωνα με την Παπαφιλιππάκη (2017). [6]

2.2 Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος μπορεί να είναι:

1. η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
2. η άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
3. η ύδρευση πόλεων, οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
4. η ρύθμιση της παροχής φυσικών ρευμάτων (ποταμών). Συχνά τα φράγματα εξυπηρετούν περισσότερους από έναν σκοπούς και ονομάζονται φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας.

Τα φράγματα είναι από τα πρώτα τεχνικά επιτεύγματα του ανθρώπου, αφού οι πρώτες κατασκευές ανάγονται στα προϊστορικά χρόνια. Από τα παλιότερα φράγματα αναφέρονται το φράγμα στον ποταμό Ιορδάνη και το φράγμα στον ποταμό Τίγρη. Στα 4.000 π.Χ. κατασκευάστηκε στην Αίγυπτο φράγμα στον ποταμό Νείλο που διατηρήθηκε περίπου 4.500 χρόνια. Τα φράγματα είναι έργα δαπανηρά, παρουσιάζουν όμως μακροπρόθεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη και για το λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους. Η κατασκευή ενός φράγματος, ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει, μελετάται και βρίσκεται τόσο ο καλύτερος τύπος φράγματος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα, γιατί δεν είναι δυνατό να τυποποιηθούν και να εφαρμόζονται επανειλημμένα. Κάθε φράγμα έχει τη δική του λειτουργία, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον, που παίζει σπουδαίο ρόλο για τη θεμελίωση του. Η κατασκευή ενός φράγματος και η δημιουργία τεχνητής λίμνης δημιουργεί διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, μεγαλύτερες και εντονότερες από οποιοδήποτε άλλο έργο, γιατί στην περιοχή του συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Η συγκέντρωση σύμφωνα με την Παπαφιλιππάκη (2017) ,εξάλλου μεγάλων ποσοτήτων νερού δημιουργεί προβλήματα διαβρώσεων, διηθήσεων, διαρροών ή και κατολισθήσεων ακόμη στην περιοχή του φράγματος που αν δεν προβλεφθούν για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, μπορούν να οδηγήσουν στη μη αποδοτική λειτουργία του ή ακόμη και στην καταστροφή του.[6]

Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο γίνονται χαρακτηρίζονται φράγματα για άρδευση, για ύδρευση, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3 Τύποι φραγμάτων

Τα **φράγματα βαρύτητας** δεν κινδυνεύουν να καταστραφούν από υπερχειλίση ούτε από την πίεση του νερού που τείνει να τα ανατρέψει. Κατασκευάζονται έτσι που να αντέχουν στις πιέσεις του νερού με μόνο στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Η χάραξη του φράγματος σε οριζοντιογραφία μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή καμπυλωτή ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχή και τις λειτουργικές ανάγκες. Ο κίνδυνος προέρχεται από τις πιέσεις του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα και αυξάνει αν το φράγμα κατασκευαστεί σε ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω χημικής διάβρωσης τους και της δημιουργίας καρστ. Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται από άοπλο μπετόν, έχουν ολόσωμη τριγωνική διατομή ή διατομή με διάκενα και η συμπεριφορά τους είναι ανάλογη με τη συμπεριφορά των τοίχων αντιστήριξης. Στα φράγματα βαρύτητας υπάγονται και τα **αντηριδωτά φράγματα** από οπλισμένο σκυρόδεμα και τα **φράγματα νέας τεχνολογίας ή R.C.C.** Τα **τοξωτά φράγματα** κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα. Όταν το πάχος τους είναι μεγάλο συμπεριφέρονται εν μέρει σαν φράγματα βαρύτητας και εν μέρει σαν τοξωτά φράγματα. Τα **χωμάτινα ή τα λιθόρριπτα φράγματα** θεωρούνται σήμερα τα πλέον κατάλληλα. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία μορφών τέτοιων φραγμάτων. Το ύψος τους κυμαίνεται από δέκα μέτρα (μικρά αρδευτικά φράγματα) μέχρι και τετρακόσια μέτρα περίπου, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και το σκοπό που καλούνται να εξυπηρετήσουν.

Η επιλογή ανάμεσα στους παραπάνω τύπους φραγμάτων είναι απλή. Η κατασκευή φραγμάτων βαρύτητας προϋποθέτει κοίτη καλής ποιότητας και βραχώδες υπέδαφος, η κατασκευή θολωτών (ή τοξωτών) φραγμάτων διατομή μικρού πλάτους και όχθες βραχώδεις. Η κατασκευή και θεμελίωση των φραγμάτων σκυροδέματος γίνεται κυρίως σε εκρηξιγενή πετρώματα όπως γρανίτες, διορίτες και βασάλτες , τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή στη θλίψη, μικρή

συμπιεστότητα και μεγάλο μέτρο ελαστικότητας. Στην περίπτωση των χωμάτινων φραγμάτων η ποιότητα του εδάφους θεμελίωσης δεν μας απασχολεί ιδιαίτερα. Καθοριστικό ρόλο παίζει η επάρκεια κοντά στην περιοχή του φράγματος των εδαφικών υλικών που χρειάζονται για την κατασκευή του φράγματος. Πολλές φορές η γεωμορφολογία προσφέρεται για την κατασκευή φραγμάτων που αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω τύπων φραγμάτων.

Έργα απαραίτητα για τη λειτουργία και την ασφάλεια του ταμιευτήρα είναι τα έργα εξόδου. Με το γενικό αυτό όρο σύμφωνα με την Παπαφιλιππάκη (2017) εννοούμε τις υδραυλικές κατασκευές που έχουν σαν σκοπό τη μεταφορά του νερού από τα ανάντη του φράγματος στα κατάντη του, στην έξοδο δηλαδή του νερού από τον ταμιευτήρα.[6]

2.4 Έργα εξόδου που απαιτούνται:

Το έργο εκτροπής: Μέσω μιας σήραγγας και ενός προφράγματος τα νερά εκτρέπονται από τη θέση στην οποία θα κατασκευαστεί το φράγμα και παρέχεται με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα να γίνουν οι εργασίες κατασκευής του φράγματος.

Το έργο υδροληψίας: Οι υδροληψίες είναι υδραυλικές κατασκευές με τις οποίες παραλαμβάνεται νερό από έναν ταμιευτήρα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή, αρδεύσεις, αστικές και βιομηχανικές υδρεύσεις. Οι εγκάρσιες υδροληψίες βρίσκονται κάθετα στη ροή του ποταμού και συνδυάζονται με κατασκευές φραγμάτων. Στο πλεονέκτημα των εγκάρσιων υδροληψιών είναι ότι δημιουργείται ταμιευτήρας και συγκέντρωση του νερού, έτσι ώστε η παροχή να μπορεί να έχει σταθερή διακύμανση ανεξάρτητη από τη διακύμανση της ροής του ποταμού, και το νερό να είναι καλύτερης ποιότητας, δηλαδή να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά. Οι υδροληψίες οι οποίες κατασκευάζονται πάνω σε φράγματα μπορεί να είναι σε μικρό βάθος από την επιφάνεια ή σε μεγάλο βάθος. Όταν η διακύμανση της στάθμης του ταμιευτήρα είναι μικρή, το οποίο συμβαίνει σε πεδινές περιοχές, η υδροληψία είναι σε μικρά βάθος. Αντίθετα, όταν η στάθμη του ταμιευτήρα είναι μεγάλη, σε εγκαταστάσεις ορεινών περιοχών, η υδροληψία είναι βυθισμένη και λειτουργεί με πίεση. Τα φερτά της ροής καθιζάνουν στον ταμιευτήρα, σε στάθμες χαμηλότερες από τη στάθμη υδροληψίας, και επομένως το νερό το οποίο παραλαμβάνει η υδροληψία είναι καθαρό.

Ο εκχειλιστής: Προστατεύει το φράγμα από ενδεχόμενη υπερχειλίση του σε περίοδο πλημμυρικών παροχών. Στα φράγματα σκυροδέματος ο εκχειλιστής μπορεί να είναι ενσωματωμένος στο φράγμα ή όχι. Οι εκχειλιστές οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στα φράγματα τοποθετούνται στη στέψη του φράγματος ή σε ενδιάμεση στάθμη. Πολλές φορές ολόκληρο το φράγμα λειτουργεί ως εκχειλιστής (π.χ. φράγμα Λούρου). Αντίθετα στα χωμάτινα φράγματα ο εκχειλιστής βρίσκεται έξω από το σώμα του φράγματος.

Το έργο εκκένωσης του ταμιευτήρα: Αποσκοπεί στην ταπείνωση της στάθμης ή στην πλήρη εκκένωση της υδαταποθήκης. Γίνεται έτσι δυνατός ο καθαρισμός του ταμιευτήρα από τα φερτά υλικά που έχουν συσσωρευτεί σε αυτόν και δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου. Η κορυφή του φράγματος σύμφωνα με την Παπαφιλιππάκη (2017) , ονομάζεται στέψη και ανάλογα με την στέψη του, το φράγμα μπορεί να είναι είτε βατό, είτε συγκοινωνιακό, είτε όχι.[6]

2.5 Ανάγκες δημιουργίας φράγματος

Το νερό αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της ζωής, ενώ είναι βασικότερο συστατικό των οργανισμών του πλανήτη μας και από του βασικούς παράγοντες για την διατήρηση – ευημερία της ζωής. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που βρίσκεται στη φύση αποτελεί το θαλασσινό νερό. Το 96,5% του νερού είναι συγκεντρωμένο στους ωκεανούς, το 1,7 % στα επιφανειακά νερά, το 0,001% στην ατμόσφαιρα ως υγρασία και το υπόλοιπο 1,7% στην Ανταρκτική. Όμως, όπως φαίνεται αναλυτικότερα στον παρακάτω πίνακα, οι πόροι στους οποίους έχει πρόσβαση ο άνθρωπος είναι περιορισμένοι, αφού το νερό βρίσκεται σε πηγές που προς το παρόν η επεξεργασία του χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος για την αξιοποίηση του προς όφελος του ανθρώπου.

Πηγή νερού	Γλυκό νερό (%)	Συνολική Ποσότητα νερού (%)
Ωκεανοί, θάλασσες,	--	96.54
Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	68.7	1.74
Υπόγεια Υδατα	--	1.69
Γλυκό	30.1	0.76
Αλμυρό	--	0.93
Υγρασία εδάφους	0.05	0.001
Πάγος εδάφους & μόνιμος παγετός	0.86	0.022
Λίμνες	--	0.013
Γλυκό	0.26	0.007
Αλμυρό	--	0.006
Ατμόσφαιρας	0.04	0.001
Βαλτώδες	0.03	0.0008
Ποτάμια	0.006	0.0002
Βιολογικό νερό	0.003	0.0001

Εικόνα 2.1 Ποσοστά συγκέντρωσης νερού [8]

Η ανθρώπινη δραστηριότητα επικεντρώνεται στο 69% για αγροτική χρήση, το 23% για βιομηχανική χρήση, και το 8% για αστικές χρήσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει καταγραφεί αύξηση των αναγκών για άρδευση λόγω της αυξημένης αγροτικής παραγωγής, καθώς και λόγω της καλλιέργεια νέων ειδών που απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Τα συστήματα άρδευσης που χρησιμοποιούνται στην χώρα μας είναι τα εξής. Πρώτον η επιφανειακή άρδευση. Έπειτα η τεχνητή βροχή (σωλήνες και εκτοξευτήρες νερού) και τέλος η μικροάρδευση (στάγδην άρδευση, εκτοξευτήριο χαμηλής πίεσης) η οποία είναι η πιο οικονομική στην κατανάλωση νερού. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η επέκταση των δικτύων άρδευσης έχουν δημιουργήσει την εντύπωση ότι οι πόροι του νερού είναι ανεξάντλητοι. Σε συνδυασμό με την υπεράντληση των υπόγειων αποθεμάτων και των διαθέσιμων επιφανειακών νερών των ποταμών, την αλατοποίηση του εδάφους, και η υποχώρηση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων, το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι ορατό. Από την σκοπιά της βιομηχανικής χρήσης του νερού το πρόβλημα δημιουργείται από την επιστροφή του νερού στον υδρολογικό κύκλο. Η επιστροφή του νερού γίνεται είτε σε λίμνες είτε σε ποτάμια, όμως συχνά είναι επιβαρυνμένο σε χημικά ή βαρέα μέταλλα. Στην ρύπανση των υδάτινων πόρων έχει συμβάλει η αστικοποίηση, είτε άμεσα είτε έμμεσα. Σε ότι αφορά τις άμεσες ενέργειες, οι κύριες είναι αυθαίρετη επέκταση της αστικής δόμησης με συνέπεια τις αυξημένες πιθανότητες πλημμυρικών φαινομένων. Επιπρόσθετα η ρίψη ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων είναι ένας σημαντικός παράγοντας που ρυπαίνει τους υδάτινους πόρους και δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Ακόμα η εμφανής μείωση των βροχοπτώσεων έχει επηρεάσει το σύνολο των υδάτινων πόρων και σε συνδυασμό με την μείωση των δασικών εκτάσεων, μειώνει την δυνατότητα αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού .

Η κατάσταση αυτή έχει δημιουργήσει έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, εξάντλησης και ρύπανσης των υδροφορέων . Οι τοπικοί υδατικοί πόροι δεν είναι αρκετοί ώστε να ικανοποιήσουν τη ζήτηση σε νερό, ειδικά αν συμπεριλάβουμε την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού του καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουρισμού. Επίσης το φαινόμενο της παράνομης ιδιωτικής άντλησης από τους υδροφορείς είναι εκτεταμένο, και ο έλεγχός του πολύ δύσκολος. Ο άνθρωπος, στην προσπάθειά του να εξασφαλίσει την ποσότητα υδάτων που του χρειάζεται, έχει φτάσει σε σημείο σύγκρουσης με τα φυσικά οικοσυστήματα, με την έννοια πως, ενώ οι φυσικές διαδικασίες χρειάζονται κάποιες κατάλληλες συνθήκες για να συνεχίζουν να λειτουργούν, ο άνθρωπος με τις υπερβολικές απαιτήσεις του, παρεμβαίνοντας ανατρέπει τις συνθήκες αυτές, οδηγώντας τα φυσικά οικοσυστήματα σε υποβάθμιση ή και θάνατο.

Για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων αναγκών του ανθρώπου για νερό, βάσει του Μαραγκάκη (2017), η συγκράτηση του γλυκού νερού που απορρέει στα ποτάμια, είτε επίγεια είτε υπόγεια , είναι μια επιλογή που θα μπορούσε να λύσει ή να αμβλύνει το πρόβλημα για την απαραίτητη κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου. [8]

2.6 Φράγμα Αποσελέμη



Εικόνα2.2 Ταμιευτήρας Φράγματος Αποσελέμη

Ο ποταμός Αποσελέμης βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νομού Ηρακλείου, πηγάζει από τις βορειοδυτικές πλαγιές της Δίκτης και ύστερα από μια σχετικά σύντομη διαδρομή (περίπου 25 km) μέσα από την καταπράσινη κοιλάδα της Λαγκάδας το ομώνυμο φαράγγι και στη συνέχεια τον υγρότοπο καταλήγει στο Κρητικό πέλαγος μεταξύ Ανάληψης και Γουβών. Το φράγμα Αποσελέμη βρίσκεται μετά το ενοποιημένο σημείο του ποταμού Αποσελέμη και σε απόσταση περίπου 1,2 km ανάντη του οικισμού Ποταμίες στο δρόμο προς το οροπέδιο Λασιθίου και σε απόσταση περίπου 30 km ανατολικά της πόλεως Ηρακλείου, βάσει του Μαραγκάκη (2017). [8]



Χάρτης 2.1 Η τοποθεσία του φράγματος Αποσελέμη και τα γύρω χωριά Πηγή : Google maps, 2016

2.6.1 Γεωλογία Περιοχής

Η περιοχή της λεκάνης κατάκλισης του φράγματος δομείται από τις σύγχρονες και παλαιότερες αποθέσεις κατά μήκος της κοίτης του χειμάρρου Αποσελέμη, τα αποσπασμάτα των σχηματισμών του υποβάθρου της χειμάρρου – λιμναίες αποθέσεις της λεκάνης κατάκλισης δομείται από τους σχιστοφυλλιτικούς σχηματισμούς και μόνο δυο συγκεκριμένες θέσεις της λεκάνης χαρακτηρίζονται από του υποκείμενους έντονα καρστικοποιημένους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι φθάνουν μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Στις θέσεις αυτές κατασκευάστηκαν δυο μικρού ύψους βοηθητικά αναχώματα για την απομόνωση των ασβεστολιθικών μαζών που έρχονται σε άμεση επαφή με τα νερά του ταμιευτήρα (όταν η στάθμη του ταμιευτήρα θα υπερβαίνει το υψόμετρο +160,00). Η σημαντικότερη τεκτονική δομή που χαρακτηρίζει την περιοχή, σύμφωνα με τον Μαραγκάκη (2017), είναι η δομή που αναπτύσσεται κατά μήκος της κοίτης του χειμάρρου Αποσελέμη και αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα διαμόρφωσης ευνοϊκών συνθηκών ευστάθειας σε συνδυασμό και με τη μικρή γωνία κλίσης αντερείσματων.[8]

2.6.2 Ιστορική Εξέλιξη

Έργο με μεγάλη ιστορία είναι η κατασκευή του φράγματος Αποσελέμη για το οποίο οι πρώτες μελέτες για το έργο ξεκίνησαν το 1972 ενώ η οριστική μελέτη του φράγματος πραγματοποιήθηκε το 2000. Η κατασκευή του φράγματος δημοπρατήθηκε τέλη του 2004 και ο διαγωνισμός ολοκληρώθηκε με θετικό πόρισμα από το Ελεγκτικό Συνέδριο τον Ιούνιο του 2005. Οι εργασίες ξεκίνησαν το 2005 και ολοκληρώθηκαν στα μέσα του 2015. Το έργο αποτελείται από το κυρίως ανάχωμα του Φράγματος, με ενσωματωμένο το κυρίως ανάντη πρόφραγμα, τον αγωγό εκτροπής στο δεξί αντέρεισμα ο οποίος συνδυάζεται με το σύστημα υδροληψίας εκκένωσης (κεκλιμένος οχετός με 4 υδροληψίες) και με τον μετωπικό υπερχειλιστή επίσης στη δεξιά κατηφορική κορυφογραμμή (αντέρεισμα).

Το ανάχωμα του φράγματος έχει συνολικό όγκο $3,35 \times 10^6 \text{ m}^3$, ύψος 61 μέτρα από την προβλεπόμενη στάθμη θεμελίωσης, πλάτος και μήκος στέψης 8 μέτρα και 660 μέτρα αντίστοιχα και κλίση πρανών ανάντη 1:3 και κατόντη 1:2.5. Έργα για την ενίσχυση του ταμιευτήρα φράγματος του Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου συμπληρώνουν το παραπάνω έργο.

Με τα έργα ενίσχυσης του ταμιευτήρα εξασφαλίζεται η πλήρωση του φράγματος με τα πλεονάζοντα νερά του Οροπεδίου Λασιθίου, μέσω υπόγειας σήραγγας η οποία δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα και δεν υποβαθμίζει αισθητικά την ιδιαίτερου φυσικού κάλλους περιοχή. Η λεκάνη απορροής του φράγματος Αποσελέμη έχει έκταση $62,4 \text{ km}^2$, μέσο υψόμετρο 595,4m και μέση ετήσια βροχόπτωση 800,6 mm. Η λεκάνη απορροής του Οροπεδίου Λασιθίου έχει έκταση $80,56 \text{ km}^2$. Τμήμα της επαρχιακής οδού από τις Ποταμιές μέχρι το Αβδού κατακλύζεται από τον ταμιευτήρα Αποσελέμη. Για την εξυπηρέτηση των κατοίκων της περιοχής και την πρόσβαση στη στέψη του φράγματος δημιουργήθηκε στο δεξιό αντέρεισμα αγροτική παραλίμνια οδός μήκους 6,8km και πλάτους 5m.

Ο Αποσελέμης συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό των νερών των δυτικών πλαγιών της Δίκτης (νερά των οροπεδίων Καθαρού και Λασιθίου) τα οποία μέσω του Χώνου, που βρίσκεται στη δυτική πλευρά του οροπεδίου Λασιθίου, τροφοδοτούν υπό ομαλές συνθήκες τις υπόγειες υδατοδεξαμενές της ευρύτερης περιοχής. Όταν όμως η ποσότητα των εισρεόντων στο Χώνο υδάτων ξεπερνά την δυνατότητα υπόγειας απορρόφησης, τότε η επιπλέον ποσότητα εκβάλλει σε διάφορα σημεία της δυτικής πλευράς του ορεινού δακτυλίου του Οροπεδίου, τις αποκαλούμενες από τον λαό Φλέγες.

Η σημαντικότερη Φλέγα που θεωρείται η αφετηρία του ποταμού είναι εκείνη που βρίσκεται γύρω στα 3 km ανατολικά της Κασταμονίτσας κάτω από το Ρούσο γκρεμό. Η εκροή των υδάτων από τις Φλέγες είναι διαλείπουσα και γίνεται ορατή μόνον όταν στον κάμπο του οροπεδίου Λασιθίου δημιουργείται πλημύρα λόγω έντονων καιρικών φαινομένων.[7]



Εικόνα 2.3 Πλημύρα στο Οροπέδιο Λασιθίου λόγω έντονων καιρικών φαινομένων, Πηγή : Σιγανός, 2013

Από τις Φλέγες ο ποταμός ακολουθώντας βόρειο – βορειοανατολική πορεία συλλέγει κατά αυτήν τα νερά διαφόρων πηγών. Λίγο πριν φθάσει στο Αβδού ο ποταμός ενώνεται με δυο άλλα ρέματα, τον Αγιωργιώτη ποταμό και τον Πετρά, σχηματίζουν με το Χώνο το λεγόμενο τριπόταμο και παίρνει πορεία προς τα δυτικά. Μέχρι εδώ ο ποταμός δεν έχει πάρει ακόμη το όνομα Αποσελέμης αλλά λέγεται Χώνος προφανώς υπενθυμίζοντας με αυτό το όνομα ότι η δημιουργία του οφείλεται στα νερά του Λασιθιώτικου Χώνου. Προτού φθάσει στις ποταμίες δέχεται τα νερά ενός ρυακιού που ξεκινά από την περιοχή των Ασκών, το λεγόμενο φαράγγι. Ενισχυμένος εδώ ο χείμαρρος παίρνει το όνομα Αποσελέμης και φθάνοντας στις Ξεροκαμάρες ενώνεται με τον μικρό ποταμό που έρχεται από την περιοχή του Μπιτζαριανού. Ο ενοποιημένος Αποσελέμης μπαίνει στο ομώνυμο φαράγγι έως το ύψος των Αγριανών και στη συνέχεια διασχίζει ένα σημαντικό υγρότοπο για να καταλήξει στη θάλασσα. [7]

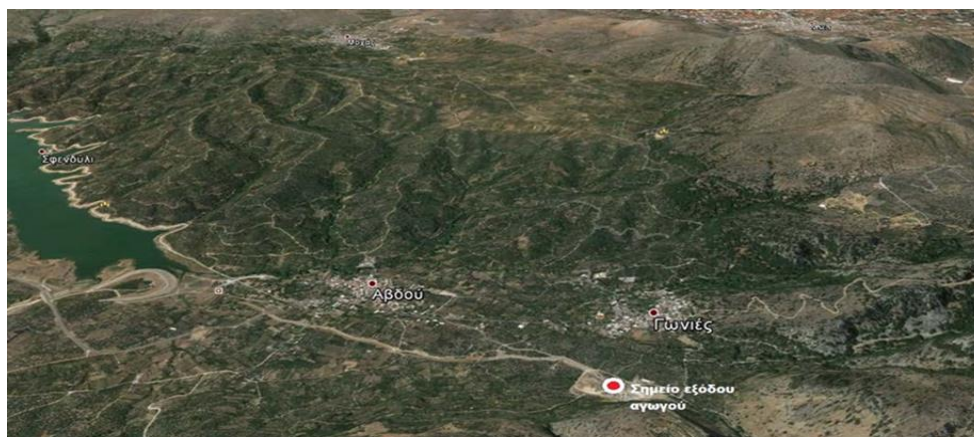
2.6.3 Έργα Ενίσχυσης Ταμιευτήρα Φράγματος Αποσελέμη από το Οροπέδιο Λασιθίου (ΣΗΡΑΓΓΑ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ)

Ο Υπόγειος αγωγός

Ένα από τα συμπληρωματικά έργα του φράγματος Αποσελέμη είναι η ενίσχυση του φράγματος με τη συλλογή των πλεοναζόντων νερών του Οροπεδίου Λασιθίου και την διοχέτευση τους μέσω ενός υπόγειου αγωγού στο φράγμα. Η τοποθεσία η οποία ξεκινάει ο υπόγειος αγωγός είναι μπροστά από την Ι. Μονή Βιδιανής, και καταλήγει στην τοποθεσία λίγο έξω από το χωριό Γωνιές. Στους παρακάτω χάρτες φαίνονται τα αντίστοιχα σημεία εισόδου και εξόδου του αγωγού.



Χάρτης 2.2
Τοποθεσία εισόδου
υπόγειου αγωγού.
Πηγή: Google maps,
2016



Χάρτης 2.3
Τοποθεσία εξόδου
υπόγειου αγωγού
Πηγή: Google maps,
2016

Για τον αντίστοιχο αγωγό έχει γίνει συγκεκριμένη μελέτη και όσον αφορά τη διάμετρό του αλλά και για την κατάλληλη τοποθεσία από οικονομική άποψη αλλά και περιβαλλοντική. Το αποτέλεσμα της μελέτης είναι ένας αγωγός διαμέτρου 1,80m ο οποίος είναι κατάλληλος ακόμη και για τις μεγαλύτερες παροχές από τυχόν πλημμύρες που φτάνουν και τα 20m³/s. Βέβαια η υπόγεια σήραγγα θα είναι μεγαλύτερης διατομής έτσι ώστε να μπορεί να μπαίνει συνεργείο και να γίνεται η κατάλληλη συντήρηση.

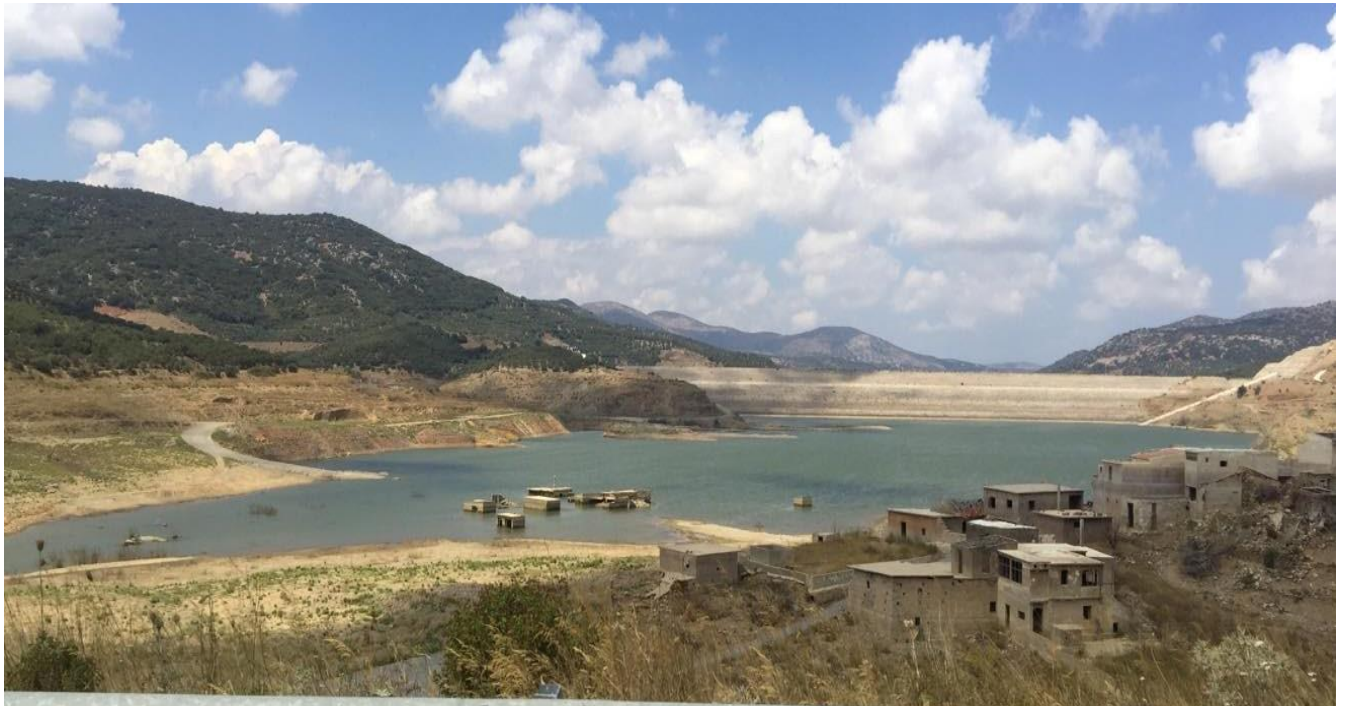


Χάρτης 2.4 Υπόγειος αγωγός, Πηγή google maps 2016



Εικόνα 2.3 Υπόγεια σήραγγα Πηγή ΕΕΝ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ

Θυμίζουμε ότι η συνολική σήραγγα που έχει ανοιχτεί με μετροπόντικα έχει μήκος 3.400 μέτρα, διάμετρο 4,10 μέτρα και κλίση 15% σε όλη τη διαδρομή, προκειμένου να μεταφέρει νερό από το Οροπέδιο Λασιθίου στο φράγμα. Το συνολικό έργο είναι πλήρως λειτουργικό, από τον χειμώνα του 2018, μεταφέρει ετησίως περίπου 15 εκατ. κυβικά νερού που εμπλουτίζουν το φράγμα Αποσελέμη. Πριν την δημιουργία της σήραγγας τον Ιούλιο του 2018 η εικόνα του ταμιευτήρα ήταν απογοητευτική αφού είχε σχεδόν αδειάσει. Την επιτυχία του έργου πιστοποιούν οι δύο υπερχειλίσεις τον Μάρτιο του 2019 και τον Ιανουάριο του 2020, λόγω των πλούσιων βροχοπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή αλλά και την συμβολή των απορροών του Οροπεδίου.



Εικόνα 2.4 Ταμιευτήρας Φράγματος Αποσελέμη Ιούλιος 2018



Εικόνα 2.5 Ταμιευτήρας Φράγματος Αποσελέμη Ιανουάριος 2020

Εξυπηρετούμενος πληθυσμός

Η σημασία του έργου του φράγματος του Αποσελέμη είναι σπουδαία διότι έχει δώσει λύση σε ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της Κρήτης την ανυδρία και ειδικότερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Υδροδοτούνται οι πόλεις του Ηρακλείου και του Αγίου Νικολάου καθώς και έξι Δήμοι και δεκαεννέα οικισμοί κατά μήκος του άξονα Λινοπεράματα-Ηράκλειο-Χερσόνησος-όρια Νομών Ηρακλείου και Λασιθίου-Νεάπολη-Άγιος Νικόλαος- Ελούντα. Τα έργα αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα υδροδότησης το οποίο έχει σαν στόχο την αντιμετώπιση του οξύτατου προβλήματος ανεπάρκειας νερού μέχρι το 2035. Εκτιμάται ότι κατά το έτος αυτό οι ανάγκες ύδρευσης στις προς υδροδότηση περιοχές θα αντιστοιχούν σε μόνιμο πληθυσμό 264.000 κατοίκων καθώς και σε 125.000 ξενοδοχειακές κλίνες. Εξασφαλίζεται νερό πολύ καλής ποιότητας, σε σχέση με το υπάρχον, που ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές της ΕΟΚ για νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (ύδρευση). Με την κατασκευή του φράγματος Αποσελέμη στην περιοχή Ποταμιές γίνεται ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, επιφανειακών και υπογείων, όπως απαιτεί η αειφόρος ανάπτυξη. Γίνεται δηλαδή εκμετάλλευση των βροχοπτώσεων και μειώνεται η χρήση των γεωτρήσεων που αποδίδουν και κακής ποιότητας νερό, σύμφωνα με τον Καββαλάκη (2017). [7]

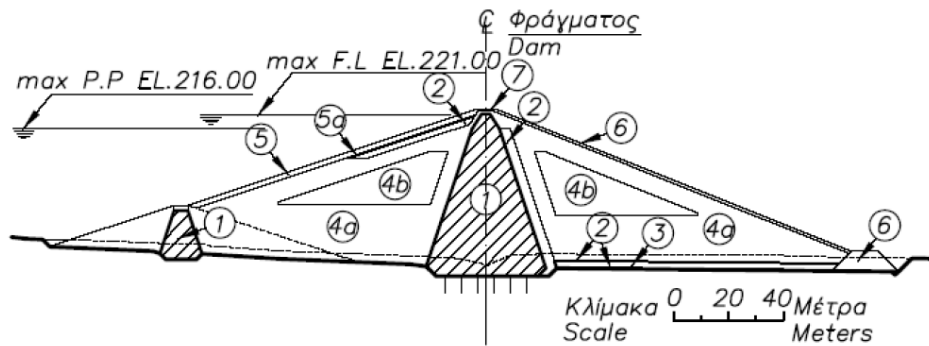


Εικόνα 2.5 Σημείο δειγματοληψίας ταμιευτήρα Φράγματος Αποσελέμη

Πηγή ΕΕΝ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ

2.6.4 Χαρακτηριστικά φράγματος Αποσελέμη

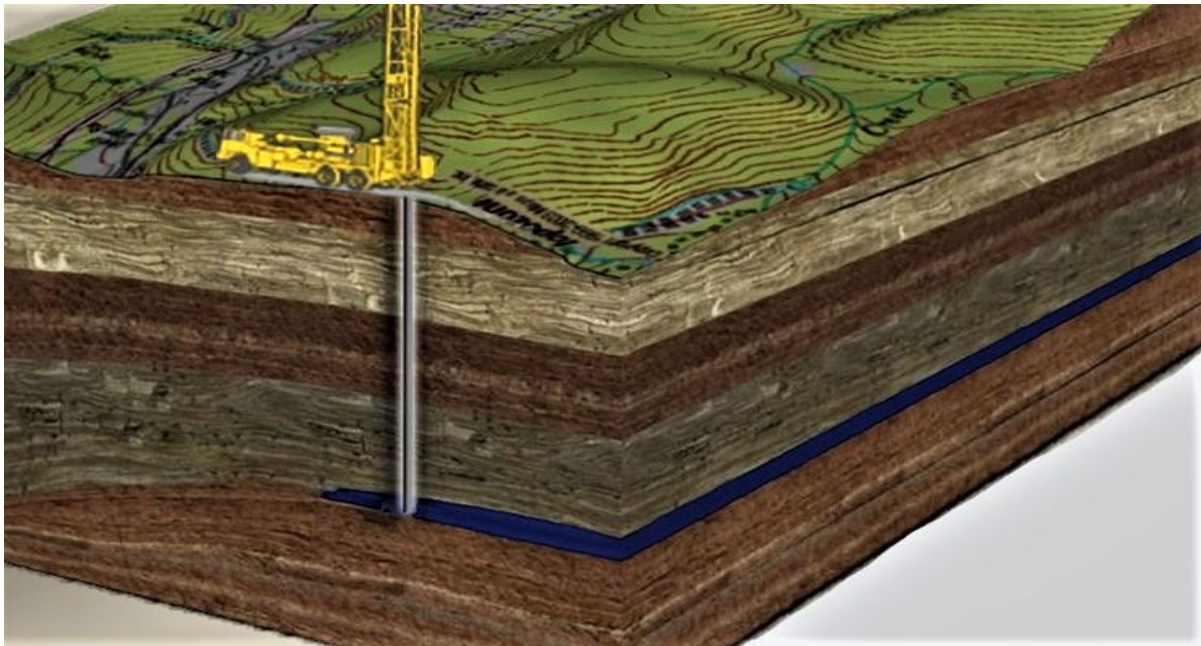
Τύπος φράγματος	Λιθόρριπτο με κεντρικό πυρήνα
Ύψος φράγματος	61 m
Μήκος στέψης	660 m
Όγκος φράγματος	$3,35 \times 10^6 \text{ m}^3$
Χωρητικότητα ταμιευτήρα	$25,27 \times 10^6 \text{ m}^3$
Επιφάνεια ταμιευτήρα	$1,6 \text{ km}^2$
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	143 km^2
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	$1000 \text{ m}^3/\text{sec}$
Περάτωση	2012
Σκοπός	Ύδρευση
Κύριος του έργου	Ελληνικό Δημόσιο



- | | | | |
|----|--|----|----------------------------------|
| 1 | Πυρήνας | 1 | Core |
| 2 | Φίλτρο | 2 | Filter |
| 3 | Στραγγιστήριο | 3 | Drain |
| 4a | Σώματα στήριξης (αποσαθρωμένος φυλλίτης) | 4a | Shells (weathered phyllite) |
| 4β | Σώματα στήριξης (βραχώδη προϊόντα φυλλίτη) | 4β | Shells (rock-like phyllite) |
| 5 | Ζώνη κυματοπροστασίας | 5 | Rip-rap |
| 5a | Μεταβατική ζώνη | 5a | Transition zone |
| 6 | Ζώνη προστασίας κατάντη πρανούς | 6 | Downstream slope protection zone |
| 7 | Στέψη (βάση και ασφαλτικές στρώσεις) | 7 | Crest (paving and asphalt zones) |

Εικόνα 2.7 Διατομή φράγματος Πηγή ΕΕΝ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ

Κεφάλαιο 3 Γεωτρήσεις



Εικόνα 3.1 Υδρογεώτρηση (Google)

3.1 Ορισμός

Οποιαδήποτε οπή που ανοίγεται στο έδαφος με χειροκίνητο ή μηχανοκίνητο τρόπο ονομάζεται γεώτρηση. Γεωτρύπανο είναι το μηχάνημα που ανοίγει τη γεώτρηση. Οι γεωτρήσεις ανάλογα με τον σκοπό δημιουργίας τους μπορεί να είναι εκμετάλλευσης, ερευνητικές, δειγματοληπτικές (εξαγωγή δειγμάτων πετρωμάτων) ή ειδικού σκοπού.

3.2 Υδρογεωτρήσεις

Γίνονται για την ανεύρεση και παραγωγή υπόγειου νερού που είναι το πολυτιμότερο γήινο φυσικό αγαθό. Το νερό που χρειάζεται ο άνθρωπος για τις βασικές και καθημερινές του ανάγκες αυξάνει συνεχώς όσο ανεβαίνει το βιοτικό του επίπεδο. Η μεγάλη όμως ζήτηση οφείλεται κυρίως στην ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης. Η αύξηση αυτή μαζί με την οικονομική και κυρίως βιομηχανική επιβάρυνση και μόλυνση των επιφανειακών υδάτινων φορέων (πηγών ποταμών, λιμνών) αλλά και των ρηχών υδροφόρων σχηματισμών. Από την άλλη η εντατικοποίηση της γεωργίας που είναι φυσική και ζωτική συνέπεια της αύξησης του πληθυσμού, απαιτεί όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού άρδευσης, καλής σχετικά ποιότητας που δεν μπορεί να εξασφαλιστούν μόνο από τους επιφανειακούς πόρους ιδιαίτερα σε μερικές μην ευνοημένες από την φύση περιοχές ή χώρες. Αν σε όλα αυτά προστεθεί η ελάττωση των βροχοπτώσεων που παρατηρείται γενικά τα τελευταία χρόνια, γίνεται κατανοητό γιατί η αναζήτηση όλο και περισσότερο καλής ποιότητας νερού ύδρευσης και άρδευσης με όλο και πιο βαθιές γεωτρήσεις. [9]

Έτσι οι γεωτρήσεις αναζήτησης, εντοπισμού και παραγωγής νερού αυξήθηκαν και αυξάνονται συνεχώς σε αριθμό και βάθος και οι προβλέψεις για παραπέρα ανάπτυξη τους φαίνονται βάσιμες.

Για όλα αυτά οι υδρογεωτρήσεις αποτελούν πολύ σημαντικό κεφάλαιο της τεχνικής γεωτρήσεων και πρέπει να τύχει ιδιαίτερης προσοχής από τους ειδικούς και φυσικά από τους γεωλόγους. Ο κύριος στόχος που τίθεται κατά τον σχεδιασμό μιας υδρογεώτρησης είναι η κατασκευή μια γεώτρησης σταθερής που θα διαρκέσει πολλά χρόνια και θα παρέχει αρκετό χώρο για την εγκατάσταση αντλιών ή άλλων εξαρτημάτων που επιτρέπει την ομαλή ροή του νερού , χωρίς στερεά να αιωρούνται , από το υπέδαφος στην επιφάνεια με την κατάλληλη παροχή και ποιότητα νερού και αποτρέπει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την καταστροφή των υλικών με το χρόνο.[9]

3.2.1 Στάδια κατασκευής υδρογεώτρησης [10]

1. Προσδιορισμό της θέσης γεώτρησης
2. Διάτρηση με το κατάλληλο γεωτρήσιμο και κοπτικό άκρο στο κατάλληλο βάθος
3. Τοποθέτηση επένδυσης, είτε από πλαστικό σωλήνα PVC (όχι στην Ελλάδα) είτε από χαλύβδινο σωλήνα με σχισμές (φιλτροσωλήνες) που μπορεί να περιβάλλεται με πλέγμα για την διατήρηση της γεώτρησης ανοιχτής και για να επιτραπεί η είσοδος νερού στην επένδυση .
4. Τοποθέτηση τεχνητού φίλτρου για φιλτράρισμα στερεών από την γεώτρηση , που είναι συνήθως χοντρόκοκη άμμος ή ψιλό χαλίκι (2-6 mm σε διάμετρο) που τοποθετείται ανάμεσα στα τοιχώματα της γεώτρησης και της επένδυσης-πλέγμα.
5. Τοποθέτηση τσιμέντου στο δακτύλιο για την κατακράτηση μολυσμένου νερού έξω από την γεώτρηση
6. Ανάπτυξη της γεώτρησης για την απομάκρυνση του υμενίου και της θολερότητας από το νερό
7. Κατασκευή τσιμεντένιας βάσης γύρω από την γεώτρηση για να διατηρείται καθαρή η περιοχή γύρω από την γεώτρηση
8. Τοποθέτηση αντλίας
9. Απολύμανση της γεώτρησης για την καταστροφή τυχόν βακτηρίων που πιθανόν να είχαν αναπτυχθεί κατά την γεώτρηση .

Οι υδρογεωτρήσεις έχουν συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και χρειάζονται κάποια προσαρμοσμένα στις ανάγκες τους μέτρα ,μηχανήματα και υλικά . Δεν θεωρούνται ιδιαίτερα δύσκολες γεωτρήσεις εξαιτίας του σχετικά περιορισμένου βάθους της συνήθους απουσίας πιέσεων των σχηματισμών της κανονικής θερμοκρασίας και την χημική σύσταση των ρευστών αφού σπάνια έχουν προσμίξεις ανεπιθύμητων στοιχείων , ενώσεων και αερίων.Οι υδρογεωτρήσεις γίνονται με μεγάλη σχετικά διάμετρο διάτρησης έστω και αν μπορεί αρχικά να ξεκινήσουν με μικρότερη ως ερευνητικές. Πρέπει η καθεμία από αυτές να επιλέγεται η τεχνική με τις λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητά τους.

Χρειάζεται να προταθεί η επιφανειακή υδρογεωλογική έρευνα που θα προσδιορίσει την θέση της γεώτρησης το πάχος το βάθος και το είδος των γεωλογικών σχηματισμών που θα συναντηθούν. Για την σωστή εκτέλεση και συμπλήρωση της κάθε υδρογεώτρησης χρειάζεται επίσης να εξασφαλιστεί το κατάλληλο γεωτρητικό συγκρότημα και όλα τα παρελκόμενα υλικά του , γιατί δεν είναι πάντα εύκολη και εφικτή η προσαρμογή κατά την πορεία. Η διάτρηση συνήθως ξεκινάει με μεγάλη διάμετρο και γίνεται οπωσδήποτε η περιφραγματική σωλήνωση και τσιμέντωση των ανωτέρων 10-30 m της γεώτρησης , για να αποφευχθούν μολύνσεις των παραγωγικών υδροφόρων με επικίνδυνους επιφανειακούς υδροφόρους απόβλητα κλπ. Αυτό είναι χρήσιμο και για την εξασφάλιση της κεφαλής της γεώτρησης στην περίπτωση που θα συναντηθούν παρακάτω υδροφόροι υπό πίεση. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται μικρότερη σχετικά διάμετρος με δυνατότητα διεύρυνσης αν χρειαστεί. Αυτό γίνεται όχι μόνο για οικονομικούς λόγους αλλά και για πρακτικούς . Με τη μικρότερη διάμετρο ερευνάται η πραγματική κατάσταση και στη συνέχεια η διεύρυνση εξασφαλίζει καλύτερα αποτελέσματα παραγωγής αφού αυξάνει την επιφάνεια του υδροφόρου στην οπή της γεώτρησης. Οι υδρογεωτρήσεις γίνονται με κρουστικά ή περιστροφικά γεωτρήματα , ανάλογα με το βάθος, τα πετρώματα κ.α. αρκεί να είναι κατάλληλα εξοπλισμένα, [10]

3.2.2 Ολοκλήρωση υδρογεωτρήσεων

Ως ολοκλήρωση υδρογεωτρήσεων αναφερόμαστε στο σύνολο των διεργασιών που πρέπει να λάβουν χώρα μετά το πέρας της διάτρησης έως την παραγωγή νερού και περιλαμβάνει την ανάπτυξη της υδρογεώτρησης είτε φυσικά είτε με την κατασκευή τεχνητού φίλτρου (χαλίκωση) την απολύμανση και την υγιεινή προστασία της γεώτρησης . Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ολοκλήρωσης γεωτρήσεων νερού. Η πιο απλή γεώτρηση είναι αυτή που έχει ολοκληρωθεί σε πετρώδεις σχηματισμούς όπου το νερό παράγεται από ρωγμές στα πετρώματα. Οι ολοκληρώσεις στα φρέατα αυτά ονομάζονται ολοκληρώσεις ανοικτού φρέατος για τις οποίες δεν απαιτείται επένδυση ή πλέγμα για να σταθεροποιήσει τα τοιχώματα και να φιλτράρει τα υλικά του υδροφόρου κοντά στα τοιχώματα του φρέατος . Η επένδυση συνήθως προστίθεται στο άνω μέρος του φρέατος κύρια για να παρέχει ένα είδος μόνωσης στα άνω τμήματα του εδάφους. Ο δεύτερος τύπος των φρεάτων που ολοκληρώνεται σε μη συνεκτικά πετρώματα όπως άμμος χαλίκι άργιλος ή και συνδυασμός αυτών είναι πιο σύνθετος. Υπάρχει επένδυση από την επιφάνεια έως τον πυθμένα του φρέατος που φέρει κατάλληλες σχισμές και με πλέγμα στο κάτω μέρος ενώ μερικές φορές προστίθεται και τεχνητό φίλτρο που βοηθά στην ρύθμιση και το φιλτράρισμα της ποσότητας της άμμου που πιθανόν εμπεριέχεται στο νερό που παράγεται.

Σε μερικές περιπτώσεις το πλέγμα που τοποθετείται στο κάτω άκρο της επένδυσης θα παράσχει το απαιτούμενο φιλτράρισμα ενώ σε άλλες περιπτώσεις πρέπει να συνυπάρχει και το τεχνητό φίλτρο που τοποθετείται ανάμεσα στο πλέγμα και στα τοιχώματα της γεώτρησης. Αρκετές φορές το χαλίκι αυτό χρησιμοποιείται μόνο για την σταθεροποίηση των τοιχωμάτων.[9]

Συνήθη προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την λειτουργία της γεώτρησης και την καθιστούν προβληματική ή μη λειτουργική . Η δυσκολία ή τελικά αδυναμία ανόδου και καθόδου του αντλητικού συγκροτήματος στην στήλη που τελικά οδηγεί σε φθορά της σωλήνωσης και του αντλητικού συστήματος. Ακόμα η υποβάθμιση του αντλούμενου ύδατος λόγω εισροής λεπτής άμμου ή αργίλου στην στήλη κατά την άντληση . Ένα άλλο πρόβλημα είναι η ποιοτική υποβάθμιση του νερού που εισέρχεται στην γεώτρηση και συνήθως αφορά θέματα υφαλμύρινσης στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές , καθώς και μόλυνση των υδροφόρων από ρύπανση εδαφών , όπως για παράδειγμα από αλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων .

Σε πολλές γεωτρήσεις είναι δυνατόν μετά από κάποια χρόνια χρήσης να παρουσιάζονται προβλήματα όπως η υφαλμύριση κάποιων υδροφόρων σχηματισμών που τροφοδοτούν την γεώτρηση και υποβαθμίζουν ποιοτικά το παραγόμενο νερό, η παραγωγή αερίου, η διάβρωση της σωλήνωσης η παραγωγή άμμου ή αργίλου (θολό μη πόσιμο νερό ,προβληματική λειτουργία γεώτρησης) η αδύνατη περαιτέρω κάθοδος του αντλητικού συγκροτήματος σε μεγαλύτερο βάθος (π.χ. μετά από μία αντικατάσταση) που καθιστά μη λειτουργική την γεώτρηση η απώλεια του αντλητικού εντός της γεώτρησης.[9]

3.3 Γεώτρηση Παναγιά

Η γεώτρηση αυτή ανήκει στην περιφερειακή ενότητα Ηρακλείου Δήμου Γόρτυνας τοπικής κοινωνίας Παναγιά. Η τοποθεσία υδροληψίας είναι 2 χιλιόμετρα έξω από το χωριό Παναγιά που ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα 13 (ΚΡΗΤΗ) και στη λεκάνη απορροής GR 40. Η άδεια της γεώτρησης ισχύει για αρδευτική χρήση νερού και συγκεκριμένα για την άρδευση 29,60 στρέμματα ελιών, 1,50 στρέμματα κηπευτικών και 3,30 στρέμματα αμπελιών. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί μέχρι 7.170 km³ νερού ανά έτος, για τη χρονική περίοδο από Απρίλιο έως Οκτώβριο. Η κύρια τροφοδότηση της επιτυγχάνεται από βρόχινο νερό τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων αλλά και χωρίς βροχοπτώσεις η γεώτρηση παράγει 35km³/ώρα.

3.3.1 Χαρακτηριστικά του υφιστάμενου έργου:

Βάθος σωλήνωσης	110 m
Διάμετρος σωλήνωσης	6''
Υδροστατική στάθμη	40,00 m
Κρίσιμη παροχή	15 km ³ /ώρα
Εκμεταλλεύσιμη Παροχή	10 km ³ /ώρα
Στάθμη άντλησης	75,00 m
Τρόπος άντλησης	Αντλία
Συντεταγμένες του έργου σε ΕΓΣΑ 89	X=597429,63 Ψ=3874202,29



Εικόνα 3.3 Σημειοδειγματοληψίας γεώτρησης Παναγιάς

3.4 Γεώτρηση Αποΐνι

Η γεώτρηση αυτή ανήκει στην Περιφερειακή ενότητα Ηρακλείου Δήμου Γόρτυνα και τοπικής κοινωνίας Αποΐνι. Η τοποθεσία υδροληψίας βρίσκεται μόλις κάποια μέτρα έξω από τον οικισμό Αποΐνι που ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα 13 (ΚΡΗΤΗ) και στην λεκάνη απορροής GR 40.

Η άδεια της γεώτρησης ισχύει για αρδευτική χρήση νερού και συγκεκριμένα για την άρδευση 29,84 στρέμματα ελιών και 12,55 στρέμματα αμπελιών. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί μέχρι 8.730 km³νερού ανά έτος, όχι περισσότερο από 45 km ανά ημέρα για τη χρονική περίοδο από Απρίλιο έως Οκτώβριο. Η κύρια τροφοδότηση της επιτυγχάνεται από βρόχινο νερό τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων αλλά και χωρίς βροχοπτώσεις η γεώτρηση παράγει 32 km³/ώρα.

3.4.1 Χαρακτηριστικά του υφιστάμενου έργου:

Βάθος και διάμετρος διάτρησης	70 m / 12''
Βάθος και διάμετρος σωλήνωσης	70 m / 8''
Υδροστατική στάθμη	15 m
Κρίσιμη παροχή γεώτρησης	18 km ³ / ώρα
Εκμεταλλεύσιμη παροχή γεώτρησης	15 km / ώρα
Στάθμη άντλησης	35m
Τρόπος άντλησης	Αντλία
Συντεταγμένες έργου σε ΕΓΣΑ 87	X=604001 Ψ=3879479

Αναποδάρης Ποταμός

Η τροφοδότηση της γεώτρησης έχει άμεση σχέση με τον ποταμό Αναποδάρη που είναι λίγα χιλιόμετρα μακριά.Ο ποταμός Αναποδάρης βρίσκεται στις νοτιοκεντρικές περιοχές του Νομού Ηρακλείου και εκβάλει κοντά στους οικισμούς του Τσούτσουρα και του Κερατόκαμπου. Πιο συγκεκριμένα συγκεντρώνει όλα τα νερά του κεντροανατολικού Νομού Ηρακλείου και μεγάλο μέρος των νερών της νότιας Δείκτης, ενώ τροφοδοτείται από διάφορους παραπόταμους, όπως ο Μπαρίτης ποταμός.Ο Αναποδάρης είναι το μεγαλύτερο σε μήκος ποτάμι της Κρήτης, ενώ κάθε χρόνο κατεβάζει περίπου 40 εκατομμύρια κυβικά νερού στην θάλασσα.Μετά από μια διαδρομή μέσα από το πανέμορφο φαράγγι του Αναποδάρη, ο ποταμός καταλήγει στην παραλία της Δέρματου. Μετά την έξοδο του από το φαράγγι καταλήγει στην περιοχή Δέρματος όπου και δημιουργεί το μεγαλύτερο και πιο σημαντικό δέλτα ποταμιού σε όλη την Κρήτη που καταλαμβάνει αρκετά στρέμματα με λιμνάζοντα νερά και διαφορετικά ρέματα τα οποία περιβάλλονται από υδροχαρή βλάστηση. Το δέλτα του Αναποδάρη επίσης είναι από τους πιο σημαντικούς υγροτόπους στην Κρήτη και φιλοξενεί παρά πολλά είδη πτηνών. Δυστυχώς,το μεγαλύτερο πρόβλημα του ποταμού είναι η ρύπανση από τα απόβλητα των ελαιουργείων, που πολλοί εξακολουθούν να ρίχνουν σε αυτόν.



Εικόνα 3.4 Σημείο δειγματοληψίας γεώτρησης Αποϊνι

Κεφάλαιο 4

Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού

4.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

4.1.1 pH

Ο όρος pH εκφράζει τη συγκέντρωση υδρογονιόντων, που περιέχει ένα δείγμα και ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονιόντων που περιέχει ένα διάλυμα. Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί στην τιμή 7. Τιμές μικρότερες δείχνουν όξινο περιβάλλον (υπεροχή υδρογονιόντων) ενώ τιμές μεγαλύτερες δείχνουν αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλίωντων), [13]

Οι υψηλές τιμές pH συντελούν στην αύξηση διάβρωσης και θρυμματισμό των μετάλλων με αποτέλεσμα την αύξηση συγκέντρωσης μετάλλων στο νερό. Οι τιμές μεγαλύτερες από 10 προκαλούν ερεθισμό ή βλάβη στο δέρμα – μάτια. Επίσης,, οι υψηλές τιμές μειώνουν την απολυμαντική ικανότητα της χλωρίωσης και αποτελεί ένδειξη ρύπανσης στο νερό.[12]

Ενδεικτικές τιμές pH [12]

απεσταγμένο νερό	5,6
καθαρής βροχής	5,6
φυσικό νερό	6,5 - 8,5
θαλασσινό νερό	7,5 - 8,4

4.1.2 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού, εξαρτάται κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ιοντιζόμενων ουσιών που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση. Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το $\mu\text{S}/\text{cm}$. [13].

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την επίδραση των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, τον ρυθμό διάβρωσης μετάλλων, την ανάπτυξη των φυτών ζώων, τον βαθμό ρύπανσης και υφαλμύρωσης, την επιβάρυνση του βρόχινου νερού με διάφορα ιόντα καθώς και την συγκέντρωση ιόντων σε βιομηχανικά απόβλητα [12]

Ενδεικτικές τιμές EC [12]

Πρόσφατο απεσταγμένο νερό	0,5-2 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$
Παλιό απεσταγμένο νερό	2-4 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$
Βροχή	20-50 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$
Λασποβροχή	500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$
Πόσιμο νερό	50-2.500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$
Βιομηχανικά απόβλητα	10.000 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$

4.1.3 Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (TDs) - Αλατότητα του υπόγειου νερού

Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ. Το T.D.S εκφράζει τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Δηλαδή το T.D.S αποτελεί ένα δείκτη μεταλλικότητας (αλατότητας) και συνδέεται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το T.D.S. μπορεί να επηρεασθεί από τη διείσδυση της θάλασσας, την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση ορυκτής ύλης. Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που διηθείται στον υδροφόρο αυξάνει το T.D.S. Μεγάλες τιμές αλατότητας απαντώνται σε υδροφόρους ξηρών περιοχών και σε λεκάνες με κακή στράγγιση. Στις παράκτιες περιοχές τα αερομεταφερόμενα άλατα αποτελούν μια σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών. Εγκλωβισμένα αλμυρά νερά εντοπίζονται σε περιοχές ιζηματογενών αποθέσεων. Τα υπόγεια νερά έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά, λόγω φόρτισης με άλατα από τη διάλυση των πετρωμάτων. [12]

Τιμές TDs	Χαρακτηρισμός ύδατος
0-1.000 mg/L	Γλυκό
1.000-10.000 mg/L	Υφάλμυρο
10.000-100.000 mg/L	Αλμυρό
>100.000 mg/L	Υπεραλμυρό

4.1.4 Θολερότητα

Οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια από οργανικές ή ανόργανες ενώσεις φυτικών ή ζωικών οργανισμούς (σωματίδια ιλύος, υδροξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, διοξείδιο του πυριτίου πλαγκτόν κ.α.) Ο προσδιορισμός βασίζεται στην σκέδαση φωτός από τα αιωρούμενα σωματίδια με την μέθοδο νεφελομετρίας, επιτυγχάνεται με όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα. Τα όργανα αυτά αποτελούνται από μία πηγή φωτός, ένα ή δύο φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές (φωτοκύτταρα) και διάταξη ανάγνωσης της έντασης του φωτός που διέρχεται από το δείγμα. Ο βαθμός σκέδασης του φωτός από το δείγμα, σε σχέση με ένα πρότυπο αιώρημα αναφοράς αντιστοιχεί σε θολερότητα, που εκφράζεται σε μονάδες N.T.U (Nephelometric Turbidity Units). Ως αιώρημα αναφοράς, για τη ρύθμιση του οργάνου, χρησιμοποιείται πρότυπο αιώρημα φορμαζίνης, που παρασκευάζεται από πολυμερές της φορμαζίνης που αναπαράγει αρκετά πιστά τη θολερότητα των φυσικών νερών. Η μέθοδος αυτή, βάσει του Σταυρουλάκη (2017), εφαρμόζεται στα πόσιμα, επιφανειακά και θαλασσινά νερά, στην περιοχή από 0 ως 40 νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας (N.T.U). Αυξημένες τιμές πάνω από το 10 καθιστούν το νερό ακατάλληλο για πόση. [12]

4.1.5 Σκληρότητα

Η σκληρότητα του νερού είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας τις ενώσεις $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 κλπ. Η σκληρότητα διακρίνεται σε ανθρακική και μη ανθρακική σκληρότητα. Η ανθρακική σκληρότητα λέγεται και μη παροδική σκληρότητα και η μη ανθρακική λέγεται και μόνιμη σκληρότητα. Η σκληρότητα των φυσικών νερών οφείλεται στην γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό. Στην χώρα μας, λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης πολλών περιοχών, πολλά νερά παρουσιάζουν υψηλή σκληρότητα. Η σκληρότητα εκφράζεται σε mg/lCaCO_3 . [13]

Ταξινόμηση των νερών με βάση τη σκληρότητα [11]

Ισοδύναμο CaCO_3 mg/L	Γαλλικοί βαθμοί	Χαρακτηρισμός
0-100	0-10	Μαλακό νερό
101-200	10-20	Μέτρια σκληρό
201-300	20-30	Σκληρό
>300	>30	Πολύ σκληρό

4.1.6 Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD_5)

Ως Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια, σε διάστημα πέντε ημερών, για την χημική και βιολογική οξείδωση των οργανικών ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος δείγματος ακαθάρτων νερών, που επάξεται σε σκοτεινό θάλαμο, σταθερής θερμοκρασίας 20°C . Το BOD , εκφράζεται σε mg/L και συμβολίζεται ως BOD_5 , όταν ο χρόνος επάσης του δείγματος είναι πέντε ημέρες. [13]

Οι τιμές του BOD δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ολική φόρτιση των νερών με οργανικές ενώσεις. Ο προσδιορισμός του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου είναι μία εμπειρική δοκιμασία, που εκτελείται στο εργαστήριο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και χρησιμοποιείται ως μέτρο εκτίμησης του ρυπαντικού φορτίου που διαθέτουν τα λύματα, τα απόβλητα και τα ρυπασμένα ύδατα. Κατά τη δοκιμασία αυτή μετριέται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνουν αερόβια μεσόφιλα βακτήρια για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχει το εξεταζόμενο δείγμα (ανθρακούχα απαίτηση) και η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση ανόργανων ουσιών όπως τα θειούχα, ο σίδηρος κλπ. Ο προσδιορισμός του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου, περισσότερο γνωστού και ως BOD είναι μία από τις παλαιότερες και συχνά εφαρμοζόμενη, ως σήμερα, μέθοδος για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα σε φυσικούς αποδέκτες λίμνες, ποτάμια κτλ. Σήμερα η μέτρηση του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου έχει καθιερωθεί να γίνεται σε πέντε ημέρες ενώ έχει αλλάξει η αρχική μέθοδος προσδιορισμού. [12]

4.1.7 Χλωριόντα (Cl⁻)

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανιόντα των υδάτων. Στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, η συγκέντρωση των χλωριόντων διαφέρει και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό όπως επίσης και από την πιθανή θαλάσσια διείσδυση. Τα χλωριόντα εκφράζονται σε mg/l.[13]

Υψηλές τιμές χλωριόντων παρατηρούνται σε όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά των παράκτιων περιοχών λόγω των υπεραντλήσεων και της προέλασης του θαλάσσιου μετώπου. Στα αστικά λύματα, η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι υψηλότερη από εκείνη των πόσιμων υδάτων, γιατί κατά τη χρήση του από τον άνθρωπο, το νερό επιβαρύνεται με άλατα και κυρίως με χλωριούχο νάτριο, το οποίο προστίθεται ως βελτιωτικό γεύσης σε όλες σχεδόν τις τροφές. Το μεγαλύτερο μέρος της προστιθέμενης ποσότητας αλατιού στις τροφές, καταλήγει, αναλλοίωτο, στα λύματα. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης τα ποτάμια που χρησιμοποιούν τόσο για ύδρευση όσο και για αποχέτευση των λυμάτων παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, παρόλο που τα λύματα υφίστανται προωθημένη επεξεργασία πριν την διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη. Αλλά και πολλές κατηγορίες βιομηχανιών επιβαρύνουν, με μεγάλες τιμές χλωριόντων, τα απόβλητά τους και στη συνέχεια τους φυσικούς αποδέκτες, στους οποίους καταλήγουν. Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων, αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, αυξάνουν το ρυθμό διάβρωσης μεταλλικών επιφανειών και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των περισσότερων φυτών[12]

4.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)

Τα νιτρικά ιόντα (NO₃⁻) αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων. Στα επιφανειακά και υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι συνήθως μικρές. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά είναι δείκτης ρύπανσης από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα.[13].

Μεγάλες συγκεντρώσεις από νιτρικά σε πόσιμο νερό, είναι αποτέλεσμα της ρύπανσης των υπόγειων αποθεμάτων νερού από πρόσθετα τροφών και κατά κύριο λόγο από αλόγιστη χρήση αζωτούχων γεωργικών λιπασμάτων. Όσα νιτρικά άλατα που δεν αφομοιώνονται από τα φυτά, ξεπλένονται με τα ποτίσματα ή τη βροχή με αποτέλεσμα να ρυπαίνουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και στη συνέχεια τα ποτάμια και τις λίμνες, όπου προκαλείται ευτροφισμός. Στην Ελλάδα συναντάμε υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών σε πηγάδια και γεωτρήσεις και γενικά σε περιοχές με εντατικές καλλιέργειες [14].

4.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)

Ένδειξη πρόσφατης ρύπανσης από οργανικές ενώσεις αποτελεί η παρουσία αμμωνίας NH₃ που είναι συνήθως προϊόν αποικοδομήσεως οργανικών αζωτούχων ενώσεων. Συνήθως αυξημένες συγκεντρώσεις αμμωνίας γίνονται αντιληπτές με την οσμή. Η παράμετρος αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για το πόσιμο νερό επειδή είναι δείκτης κοπρανωδούς μόλυνσης και αντιδρά με το χλώριο που τυχόν προστίθεται για απολύμανση και μειώνει την αποτελεσματικότητά του.

Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίου, ευνοεί την ανάπτυξη αυτόχθονων βακτηριδίων και φυκιών στο νερό επειδή αποτελεί βασικό θρεπτικό των οργανισμών αυτών. Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του αμμωνίου είναι χαμηλή συνήθως κάτω από τα 0,5 mg/l. Ωστόσο σε υπόγεια νερά όπου το υπέδαφος είναι πλούσιο σε χουμώδεις ουσίες περιέχει στρώματα πλούσια σε σίδηρο το αμμώνιο ανεβαίνει σε 1-3 mg/l ενώ σε νερό από βαθείς υδροφόρους μέχρι και 50 mg/l. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρίσκεται σε αστικά λύματα και απόβλητα βιομηχανικών κλάδων ως αποτέλεσμα της αποδόμησης αζωτούχων ενώσεων, βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΚ.[15]

4.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO_4^{-3})

Στα επιφανειακά νερά και απόβλητα απαντάται σε πολλές μορφές, πιο συχνά με τη μορφή ορθοφωσφορικών (H_2PO_4^- , HPO_4^{-2} , PO_4^{-3}) και πολυφωσφορικών ιόντων ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις. Η παρουσία του φωσφόρου στα επιφανειακά νερά, οφείλεται σε πολλές πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης. Λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, επιβαρυνόμενα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου . [13]

Ο φώσφορος είναι το βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών και η έλλειψη του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής, σε μια υδατική μάζα. Σε περιπτώσεις, όπου ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκιών ή μακρόφυτων που με τη σειρά του προκαλούν ευτροφισμό.[12]

4.1.11 Θεϊκά ιόντα (SO_4^{-2})

Η παρουσία των θεικών ιόντων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά μπορεί να προέρχεται από την γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό ή από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο. Η συγκέντρωση των θεικών ιόντων στα φυσικά νερά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Ο έλεγχος των θεικών ιόντων στο νερό έχει μεγάλη σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θειικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαρτική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, για αυτό και το ανώτερο επιτρεπτό όριο θεικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250mg/L. [13]

4.1.12 Κάλιο

Το Κ συνδέει την παρουσία του στα πετρώματα όπως αστρίοι, τα αργιλικά ορυκτά και μερικούς μαρμαρυγίες. Επίσης το Κ στο υπόγειο νερό μπορεί να σχετίζεται με καλιούχα λιπάσματα. Η ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση καλίου στο πόσιμο νερό είναι 12 mg/l. [13]

4.1.13 Νάτριο

Το **Na** είναι μέταλλο από την ομάδα των αλκαλίων, πολύ διαδεδομένο στην φύση με την μορφή χημικών ενώσεων, όπως το χλωριούχο νάτριο που βρίσκεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες στο θαλασσίνο νερό, το νιτρικό νάτριο που είναι κρυσταλλικό και βρίσκεται μέσα στο υπέδαφος. Είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στην φύση περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/L. Στα πόσιμα νερά, δεν υπερβαίνει τα 20 mg/L εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ανταλλαγής ιόντων σε νερά με μεγάλη σκληρότητα ή παρατηρείται διείσδυση θαλασσινού νερού. [13]

Το νάτριο και το κάλιο είναι δύο βασικοί ηλεκτρολύτες του σώματος. Ονομάζονται ηλεκτρολύτες διότι έχουν ένα μικρό ηλεκτρικό φορτίο όταν διαλύονται στα υγρά του σώματος βοηθώντας έτσι να μεταδίδονται τα νευρικά σήματα (ονομάζονται και ιόντα). Υπάρχουν και άλλοι ηλεκτρολύτες στο σώμα όπως π.χ. το ασβέστιο. Οι τιμές του νατρίου, του καλίου και των άλλων ηλεκτρολυτών πρέπει να βρίσκονται σε μια ισορροπία που είναι απαραίτητη για την καλή και σωστή λειτουργία των κυττάρων και των οργάνων του σώματος. Μεταξύ άλλων, το νάτριο και το κάλιο ρυθμίζουν την αρτηριακή πίεση του αίματος. Τα αλκάλια K, Na συνδέουν την παρουσία τους με τους αστρίους. Η παρουσία των αλκαλίων σχετίζεται με τη διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα. Το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης Na σε υπόγεια νερά είναι το 20 mg/l. Τιμές μεγαλύτερες του 50 mg/l K, Na προκαλούν σαπωνοποίηση που επιταχύνει τη διάβρωση στους λέβητες, δημιουργώντας κρούστα. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων Na στο πόσιμο νερό επιφέρουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν, αυξάνουν την αρτηριακή πίεση. [11]

4.1.14 Ασβέστιο

Η κύρια προέλευση του **Ca** είναι τα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα. Επίσης προέρχεται από ασβεστονατριούχους άστριους τη γύψο του πυρόξενους κ.α. Το ασβέστιο είναι διουρητικό, αντιπερτασικό και αντιαλλεργικό επίσης, βοηθά στην πήξη του αίματος. [13]

4.2 Μικροβιολογικές παράμετροι

Το φυσικό νερό περιέχει έναν μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών, που αποτελούν μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής του χλωρίδας, αλλά και μικροοργανισμούς που χαρακτηρίζονται ως αλλόχθονες και εισέρχονται σε αυτό μέσω των φυσικών φαινομένων (πχ βροχή) ή με την ανθρώπινη δραστηριότητα (πχ λύματα). Αν η μικροβιολογική επιβάρυνση με αυτούς τους μικροοργανισμούς απορρυθμίζει την ικανότητα αυτοκαθαρισμού του φυσικού νερού (αραίωση, κατακρήμνιση, διήθηση, βιοχημικοί κύκλοι κτλ), αυτό προοδευτικά καθίσταται μολυσμένο. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος μόλυνσης του ανθρώπου από το πόσιμο νερό προέρχεται από την άμεση ή έμμεση κοπρανώδη επιμόλυνση του. Η μικροβιολογική εξέταση του νερού, είναι πρωταρχικής σημασίας και για το λόγο αυτό επιβάλλεται συστηματικός έλεγχος των μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του. [17]

Η μικροβιολογική εξέταση νερού συνήθως περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο και τα ζώα. Υπάρχουν σημαντικά μεθοδολογικά προβλήματα για τον προσδιορισμό του συνόλου των μικροοργανισμών που μπορεί να περιέχει ένα δείγμα νερού που προέρχεται από το περιβάλλον. Σκοπός της μικροβιολογικής εξέτασης του νερού, είναι η εξέταση του βαθμού μόλυνσης των υδάτων από λύματα ή κτηνοτροφικά απόβλητα και ο έλεγχος της καταλληλότητας του νερού για διάφορες χρήσεις όπως πόση, κολύμβηση, κτλ. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία και τεχνικές που σκοπό έχουν τον εντοπισμό της παρουσίας και προσδιορισμό της πυκνότητας μικροοργανισμών που είναι δείκτες κοπρικής μόλυνσης ή έχουν παθογόνο δυναμικό^[12].

Από το πλήθος μικροοργανισμών που υπάρχουν στη φύση λίγοι είναι εκείνοι που είναι παθογόνοι και μπορούν να μεταδοθούν στον άνθρωπο από το νερό. Στους μικροοργανισμούς οφείλονται και ιώσεις όπως η ηπατίτιδα κτλ καθώς και μυκητιάσεις όπως οι κολπίτιδες, οι δερματίτιδες κτλ. Ο πλήρης μικροβιολογικός έλεγχος θα έπρεπε να είναι εκείνος που βασίζεται στον προσδιορισμό όλων των παθογόνων μικροοργανισμών που ενδέχεται να υπάρχουν στο νερό.

Πρακτικά όμως, επειδή σήμερα δεν υπάρχουν τυποποιημένες τεχνικές που να επιτρέπουν την γρήγορη ανίχνευση, όλων των παθογόνων μικροοργανισμών, ο μικροβιολογικός έλεγχος των υδάτων γίνεται με τη χρήση δεικτών κοπρικής ρύπανσης, δηλαδή ομάδων μικροοργανισμών που η ανίχνευσή τους στα νερά δείχνει την παρουσία στο νερό περιττωμάτων ή λυμάτων από ζώα ή τον άνθρωπο. Στην ομάδα των κοπρικών κολοβακτηρίων, περιλαμβάνονται είδη που ζουν αποκλειστικά στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Τα κοπρικά κολοβακτήρια περιέχονται σε μεγάλους αριθμούς, της τάξης των εκατομμυρίων, στα περιττώματα, λύματα και κτηνοτροφικά απόβλητα. Τα κοπρικά κολοβακτήρια, ταξονομικά, ανήκουν στην οικογένεια των *Epteroacteriaceae* που περιλαμβάνει και το είδος *Escherichia coli*. Η παρουσία κοπρικών κολοβακτηρίων στο νερό αποτελεί σαφή ένδειξη κοπρικής επιμόλυνσης, χωρίς όμως να καθιστά το νερό υγειονομικά επικίνδυνο εάν δεν έχει ανιχνευθεί και η παρουσία συγκεκριμένων παθογόνων παραγόντων. Ο έλεγχος των υδάτων ξεκινά συνήθως από τον προσδιορισμό του πιο πιθανού ή ολικού αριθμού κολοβακτηρίων, και συνεχίζεται με τους προσδιορισμούς των κοπρικών κολοβακτηρίων και κοπρικών στρεπτόκοκκων σε περίπτωση θετικού αποτελέσματος. Ο έλεγχος μπορεί να συνεχιστεί μέχρι ταυτοποίησης, σε επίπεδο είδους.

Η μικροβιολογική εξέταση για την εκτίμηση της καταλληλότητας του εξεταζόμενου πόσιμου νερού περιλαμβάνει τρία στάδια. Αρχικά σωστή δειγματοληψία, έπειτα σωστή και έγκαιρη μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο και τέλος ανίχνευση και ποσοτικοποίηση των μικροβιολογικών δεικτών. Ο ιδανικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις. Αρχικά να είναι συνεχώς παρόν στα κόπρανα. Ακόμα να μην πολλαπλασιάζεται εκτός του γαστρεντερικού σωλήνα, όταν δηλαδή διοχετευτεί στην υδάτινη συλλογή. Επιπρόσθετα, να είναι τόσο ανθεκτικός στις συνθήκες περιβάλλοντος όσο και τα εντεροπαθογόνα, να μην καταστρέφεται δηλαδή γρηγορότερα από αυτά. Τέλος να ελέγχεται με φθηνές και απλές τεχνικές.^[17]

4.2.1 Κοπρανώδη Κολοβακτηριοειδή (Fecal coliforms)

Αποτελούν υποομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών και ευρίσκονται κυρίως στον γαστρεντερικό σωλήνα των θερμόαιμων ζώων. Διαφέρουν από τα ολικά κολοβακτηριοειδή από την ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Το συχνότερο μέλος, βάσει του Δετοράκη (2015), αυτής της ομάδας είναι η E.coli αλλά δυνατόν να περιλαμβάνει και διάφορα είδη Klebsiella ή Enterobacter. [16]

4.2.2 Εντερόκοκκοι (Enterococcus)

Είναι στρεπτόκοκκοι της ομάδας D. Πρόκειται για τους S. faecalis, S. fallium, S. gallinarium, S. anium. Ανευρίσκονται στα κόπρανα των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων συνήθως σε ποσότητα μέχρι 10⁶ ανά γραμμάριο κοπράνων. Δεν πολλαπλασιάζονται στο νερό και, αν και ευαίσθητοι στη χλωρίωση, είναι περισσότερο ανθεκτικοί από ότι το κολοβακτηρίδιο. Παρουσιάζουν όμοια αντοχή στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες με μερικά υδατογενή παθογόνα. Η παρουσία τους στο νερό σε συνδυασμό με την απουσία E.coli αποκαλύπτει παλιά κοπρανώδη μόλυνση του ύδατος.[17]

4.2.3 Εσερίγιακόλι - Κολοβακτηρίδιο (Escherichiacoli)

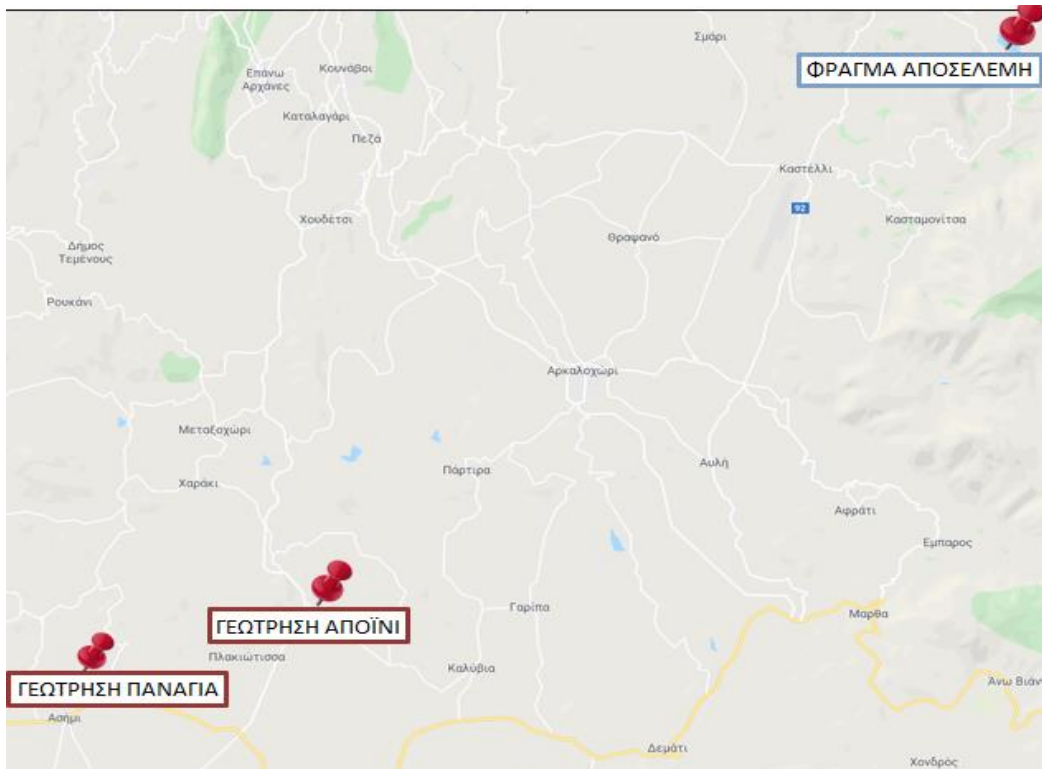
Είναι μέλος της οικογένειας των εντεροβακτηριακών, θεωρείται βασικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού. Συνήθως δεν είναι παθογόνο για τον άνθρωπο, αλλά αποτελεί μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας. Εντοπίζεται σε αφθονία στο γαστρεντερικό σύστημα των ανθρώπων και των θερμόαιμων ζώων και αποβάλλεται με τα κόπρανα. Μπορεί να αντιπροσωπεύει το 95% των εντεροβακτηριακών στα κόπρανα και να υπάρχει σε μεγάλους αριθμούς, μέχρι και 10⁹ ανά γραμμάριο κοπράνων. Βρίσκεται σε υψηλότερη πυκνότητα από τα παθογόνα και παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά επιβίωσης με εκείνα πολλών παθογόνων, όπως πχ της σαλμονέλλας. Λόγω των ιδιοτήτων αυτών, το κολοβακτηρίδιο είναι ο καλύτερος βιολογικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού. Η παρουσία του σε δείγματα νερού αποδεικνύει την επιμόλυνση του νερού με περιττώματα ζώων ή ανθρώπων, υποδηλώνοντας ότι οποιοσδήποτε άλλος παθογόνος μικροοργανισμός μπορεί να έχει περάσει με τα κόπρανα στο νερό και θα μπορούσε να προκαλέσει νόσο. Η απουσία του ωστόσο δεν σημαίνει ότι το νερό είναι απαλλαγμένο από άλλες κατηγορίες μικροοργανισμών, όπως τα παράσιτα και οι ιοί, που είναι πιο ανθεκτικοί στη χλωρίωση από ό,τι τα βακτήρια. Το κολοβακτηρίδιο είναι μία σημαντική παράμετρος που φανερώνει κοπρανώδη μόλυνση του νερού.[17]

Κεφάλαιο 5

Πολυπαραμετρική ανάλυση ποιότητας νερών Φράγματος Αποσελέμη και Γεωτρήσεων περιοχής Μεσσαράς

5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τρία δείγματα νερού του νομού Ηρακλείου, δύο από τα οποία αφορούν υπόγεια νερά και ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις Παναγιάς και Αποϊνίου που ανήκουν στο Δήμο Γόρτυνας και ένα επιφανειακό δείγμα από το Φράγμα Αποσελέμη που ανήκει στο δήμο Χερσονήσου. Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε φιάλες χωρητικότητας 1,5 L και οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν 30.7.2018, 18.1.2019, 21.3.2019, 9.5.2019, 23.7.2019. Την συχνότητα των δειγματοληψιών την καθόριζαν οι βροχοπτώσεις καθώς από τον Ιούλιο του 2018 έως και την δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2019 δεν υπήρχαν βροχοπτώσεις επομένως δεν θα είχαμε ορατές μεταβολές στις μετρήσεις των δειγμάτων μας. Επιβάλλεται να τονιστεί πως κατά τη διάρκεια της 1ης δειγματοληψίας το φράγμα Αποσελέμη ήταν σχεδόν άδειο. Η στάθμη του νερού ήταν πολύ χαμηλή. Επιπλέον, το διυλιστήριο νερού φράγματος υπολειπόμενος την περίοδο της δεύτερης δειγματοληψίας. Την περίοδο του Ιανουαρίου στις 20.1.2019 περίπου, υπήρξε εισροή μεγάλης ποσότητας νερού καθώς ξεκίνησαν οι έντονες βροχοπτώσεις, με αποτέλεσμα ο ταμιευτήρας να γεμίσει με την πολύτιμη και καθοριστική συμβολή της σήραγγας οροπεδίου Λασιθίου. Αυτή η πληροφορία θα βοηθήσει στην κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων των ποιοτικών παραμέτρων του Φράγματος Αποσελέμη.



Χάρτης 5.1 Περιοχή Μελέτης και σημεία δειγματοληψίας, Πηγή : google maps

5.2 pH

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Ο προσδιορισμός pH έγινε ηλεκτρομετρική μέθοδος με τη χρήση πεχαμέτρου. Το όργανο αυτό αποτελείται από ποτενσιόμετρο, με αισθητήριο από ηλεκτρόδιο υάλου συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο αναφοράς. [13]

Πειραματική διαδικασία: Σε ποτηράκια ζέσεως των 100 ml λαμβανόταν ικανοποιητική ποσότητα δείγματος ώστε να καλύπτει τον αισθητήρα του ηλεκτροδίου και σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου. [13]

5.3 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα EC- Διαλυμένα στερεά TDS

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Η μέτρηση της αγωγιμότητας έγινε με χρήση αγωγιμόμετρου.

Πειραματική Διαδικασία: Σε ποτηράκια ζέσεως των 100 ml λαμβανόταν ικανοποιητική ποσότητα δείγματος ώστε να καλύπτει τον αισθητήρα του ηλεκτροδίου και αναδεύονταν συνεχώς. Στην συνέχεια σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου. [13]

5.4 Θολερότητα

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Νεφελομετρική μέθοδος

Σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της θολερότητας είναι η νεφελομετρία που ενδείκνυται για χαμηλές τιμές θολερότητας. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτή την μέθοδο γίνεται με όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα. Τα όργανα αυτά αποτελούνται από μια πηγή φωτός, ένα ή δύο φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές (φωτοκύτταρα) και διάταξη ανάγνωσης της έντασης του φωτός που διέρχεται στο δείγμα. Ο βαθμός σκέδασης του φωτός από το δείγμα σε σχέση με ένα πρότυπο αιώρημα αναφοράς αντιστοιχεί σε θολερότητα, που εκφράζεται σε μονάδες N.T.U. Ως αιώρημα αναφοράς για την ρύθμιση του οργάνου χρησιμοποιείται πρότυπο αιώρημα φορμαζίνης. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην περιοχή από 0 έως 40 νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας [12]

Πειραματική Διαδικασία: Το θολερόμετρο ρυθμίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Μετρούνται στο θολερόμετρο πρότυπα αιωρήματα που να καλύπτουν την περιοχή, η οποία ενδιαφέρει και ελέγχεται η αντιστοιχία των ενδείξεων του οργάνου με σειρά πρότυπων διαλυμάτων. Το δείγμα αναδεύεται, ώστε να γίνει τέλεια διασπορά των αιωρούμενων στερεών και αφού εξαφανιστούν οι μικρές φυσαλίδες αέρα, μεταφέρεται ορισμένη ποσότητα δείγματος στον σωλήνα του θολερόμετρου. Διαβάζουμε κατευθείαν την ένδειξη που αντιστοιχεί στη κλίμακα του οργάνου ή με τη βοήθεια κατάλληλης καμπύλης αναφοράς. Το δείγμα θολερότητας μεγαλύτερης από 40 N.T.U, ανακινείται και αραιώνεται με νερό χωρίς θολερότητα δύο ή περισσότερες φορές ώστε η θολερότητα του διαλύματος να είναι μικρότερη από 30-40 N.T.U. [12]

5.5 Σκληρότητα

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Ο προσδιορισμός της σκληρότητας έγινε με την μέθοδο EDTA. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην από κοινού συμπλοκοποίηση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το EDTA σε αλκαλικό περιβάλλον. [13]

Πειραματική διαδικασία: Βάζουμε σε μια κωνική φιάλη των 250 ml , 25 ml από το δείγμα μας και προσθέτουμε μια ταμπλέτα δείκτη EBT(eriochrome black T) και 1 ml NH₃. Ογκομετρούμε με EDTAμέχρι την αλλαγή χρώματος. [13]

Η σκληρότητα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Σκληρότητα (mg/lCaCO}_3) = (V_1 \times A \times 1000)/V_2$$

V₁ τα ml του διαλύματος EDTA που χρησιμοποιήθηκαν

A τα mg CaCO₃ που περιέχονται σε 1 ml διαλύματος EDTA

V₂ τα ml του δείγματος

5.6 BOD₅

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Μανομετρικά με ειδική συσκευή

Η αρχή της μεθόδου ανάλυσης στηρίζεται στην δέσμευση του CO₂ από το NaOH με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια διαφορά πίεσης η οποία μετρείται από την μαγνητική κεφαλή. [13]

Πειραματική διαδικασία: Αρχικά το pH του δείγματος πρέπει να έχει τιμή από 6,5-7,5. Αν δεν είναι μέσα σε αυτήν την περιοχή τότε ρυθμίζω με οξύ ή βάση. Για να μειώσουμε την τιμή του pH χρησιμοποιώ HClO₄ 0,1 N και για να αυξήσω την τιμή του χρησιμοποιώ NaOH 0,1 N. Αφού ρυθμίσουμε τις τιμές, γεμίζουμε με χωνί την φιάλη των 428 ml με το δείγμα έως ότου να ξεχειλίσει και το περιεχόμενο του υπερχειλιστή αδειάζεται στην σκουρόχρωμη φιάλη του BOD₅. Συνίσταται να υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή των διαλυμένων στερεών στο δείγμα. Μετά πάνω στην φιάλη τοποθετούμε τη θήκη και βάζουμε δύο σταγόνες NaOH, τοποθετούμε μαγνητικές ράβδους ανάδευσης για συνεχή ανάδευση. Στην συνέχεια βάζω τα δείγματα χωρίς τις κεφαλές στον επωαστικό θάλαμο σε θερμοκρασία 20 °C για 30 λεπτά. Μετά τα 30 λεπτά μηδενίζουμε τις κεφαλές και τις βιδώνουμε στομπουκάλι. Οι τιμές του BOD₅ μετρήθηκαν μετά από πέντε ημέρες. [13]

5.7 Προσδιορισμός χλωριόντων (Cl⁻)

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Μέθοδος Mohr

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων έγινε με τη μέθοδο του νιτρικού αργύρου. Σε ουδέτερο ή ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον και παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου, γίνεται ποσοτική καταβύθιση των χλωριόντων, με σχηματισμό χλωριούχου αργύρου και χρωμικού αργύρου. Ο χλωριούχος άργυρος έχει καταβυθιστεί ποσοτικά όταν αρχίζει να εμφανίζεται το κόκκινο χρώμα του χρωμικού αργύρου. [13]

Πειραματική διαδικασία: Βάζουμε σε μια κωνική φιάλη των 250 ml, 25 ml από το δείγμα μας και προσθέτουμε 2 ml KCr₂. Μετά ξεπλένουμε την προχοίδα με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια γεμίζουμε με AgNO₃. Στην συνέχεια ογκομετρούμε έως ότου το κίτρινο χρώμα να πάρει μια ελαφριά απόχρωση προς το κεραμιδί. Η συγκέντρωση των χλωριόντων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{mg/l Cl}^- = \frac{(A - B) \cdot N \cdot 35,450}{C}$$

A= ml διαλύματος AgNO_3 που καταναλώθηκαν για το δείγμα

B= ml διαλύματος AgNO_3 που καταναλώθηκαν για το τυφλό

N= η κανονικότητα του διαλύματος AgNO_3

C= ml δείγματος

5.8 Προσδιορισμός νιτρικών ιόντων (NO_3^-)

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Σε ένα δείγμα οξιτισμένο με θειικό και φωσφορικό οξύ, τα νιτρικά ιόντα αντιδρούν με την 2,6-διμεθυλοφαινόλη και δημιουργούν την 4-νίτρο-2,6-διμεθυλοφαινόλη, η οποία έχει πορτοκαλί χρώμα και προσδιορίζεται φωτομετρικά. Μεγάλης έντασης χρώμα προσδιορίζει και μεγάλη συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα. Το εύρος μέτρησης εκτείνεται από 0,10 έως και 25,0 mg/l. [12]

Πειραματική διαδικασία: Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε νιτρικά ιόντα, χρησιμοποιήθηκε το spectroquant Nitrate test 9713 της Merck, με εύρος μέτρησης 0,10-25,0 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. Με την πλαστική σύριγγα, που περιέχεται μέσα στο test, μεταφέρονται 4 ml από το αντιδραστήριο NO_3^- μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα. Ακολούθως, προστίθενται στον δοκιμαστικό σωλήνα 0,5 ml δείγματος και 0,5 ml από το αντιδραστήριο NO_3^- με πιπέτα ακριβείας. Βιδώνεται ο δοκιμαστικός σωλήνας και ανακινείται με προσοχή γιατί το περιεχόμενο του ζεσταίνεται αρκετά. Αφήνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα για 10 λεπτά σε ηρεμία ώστε να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Μετά το πέρας των δέκα λεπτών, ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου, ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης συγκέντρωσης. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cellor start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά με κάποιο ύφασμα και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη μέτρησης και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η μέτρηση αυτή πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά την δειγματοληψία, επίσης δείγματα με μεγάλη θολότητα πρέπει απαραίτητα να διηθούνται γιατί δίνουν θετικό σφάλμα στην μέτρηση. Προσοχή τυχόν αιωρούμενα που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο δείγμα θα πρέπει να διαλύονται ή να απομακρύνονται με κατάλληλη μέθοδο.[12]

5.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+)

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Σε ισχυρά αλκαλικό διάλυμα το αμμωνιακό άζωτο $\text{NH}_4\text{-N}$ υπάρχει σχεδόν μόνο ως αμμωνία NH_4 η οποία αντιδρά με χλώριο και σχηματίζει μονοχλωραμίνη. Η μονοχλωραμίνη αντιδρά με την θυμόλη και σχηματίζεται παράγωγα ινδοφαινόλης με ιδιαίτερο μπλέ χρώμα το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά. [13]

Πειραματική διαδικασία: Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε $\text{NH}_4\text{-N}$ χρησιμοποιήθηκε το το Ammonium reagent test (MERCK) 14752 με εύρος μέτρησης 0,05-3,00 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$. Με χρήση σιφωνίου λαμβάνονται 5 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα.

Προστίθενται με τη βοήθεια ρυθμιζόμενου σιφωνίου ακριβείας 0,6 ml του αντιδραστηρίου NH₄-1B και ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε αναδευτήρα . Προστίθεται μία δόση του αντιδραστηρίου NH₄-2B και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ο σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για 5 min. Κατόπιν προστίθενται 4 σταγόνες του αντιδραστηρίου NH₄-3B ενώ αναδεύεται. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη 5 λεπτά. Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant NOVA 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο self-check όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης συγκέντρωσης (concentration). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cellor start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια πλαστική κυψελίδα χαλαζία πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη μέτρησης και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Επίσης πολύ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι διαφορετικά δίνουν θετικά σφάλματα. Για τις φωτομετρικές μετρήσεις οι κυψελίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι καθαρές. Ο χρωματισμός στο διάλυμα μετά το τέλος της αντίδρασης παραμένει σταθερός για εξήντα λεπτά αλλά η μέτρηση πρέπει να γίνεται αυστηρά στα δέκα πέντε λεπτά. [13]

5.10 Προσδιορισμός φωσφορικών ιόντων (PO₄³⁻)

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Σε όξινο διάλυμα τα ορθοφωσφορικά ιόντα αντιδρούν με ιόντα μολυβδαινίου και σχηματίζουν μολυβδοφωσφορικό οξύ το οποίο ανάγεται από το ασκορβικό οξύ σχηματίζοντας μπλέ του φωσφομολυβδαινίου το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ορθοφωσφορικών [12]

Πειραματική διαδικασία: Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε PO₄-P χρησιμοποιήθηκε spectroquant Phosphate test 14848 Merck με εύρος μέτρησης 0,01-5,00 mg/l PO₄-P. Κατά τη διαδικασία μέτρησης, προστίθενται 5,0 ml δείγμα, με την χρήση πιπέτας, σε κάθε φιαλίδιο και στην συνέχεια 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-1A σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα (Minishaker MS2, IKA WORKS). Κατόπιν προστίθεται 1 δόση του αντιδραστηρίου P-2A με μικροκουταλάκι. Ακολουθεί έντονη ανάδευση έως ότου διαλυθεί το ίζημα. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 5 λεπτά. Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου (MERCK Spectroquant NOVA 60), ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο κάνει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης συγκέντρωσης. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cellor start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια πλαστική κυψελίδα πάχους 10 mm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη μέτρησης και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται, διότι δίνουν θετικά σφάλματα. Δείγματα που περιέχουν Cl⁻ >1000 mg/L πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό. Το εύρος του test είναι 0.05 – 5.00 mg/L PO₄-P. Κατά την μέτρηση, τα φιαλίδια πρέπει να είναι καθαρά ή να καθαρίζονται με στεγνό, καθαρό πανί [12]

5.11 Θεϊικά ιόντα (SO_4^{-2})

Αρχή μεθόδου μέτρησης: Τα θειικά ιόντα αντιδρούν με το ιωδιούχο βάριο, απελευθερώνοντας ιόντα ιωδίου. Τα ιόντα ιωδίου οξειδώνουν την ταννίνη σχηματίζοντας μια καστανέρυθη ένωση η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.[12]

Πειραματική διαδικασία: Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε SO_4 χρησιμοποιήθηκε το spectroquant Sulfate test 14791 Merck με εύρος μέτρησης 25-300 mg/ SO_4 . Παίρνουμε από το δείγμα όγκο 2,5 ml με ένα σιφώνι και το αδειάζουμε σε ένα κενό φιαλίδιο. Στη συνέχεια προσθέτουμε 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO_4^{-1} και ανακινούμε το φιαλίδιο. Μετά βάζουμε 1 κουταλάκι από το αντιδραστήριο SO_4^{-2} και αφού το αναδεύσουμε, το αφήνουμε στο υδατόλουτρο για 5 λεπτά στους 40 °C. Μετά το τέλος των 5 λεπτών προσθέτουμε 2,5 ml από το αντιδραστήριο SO_4^{-3} και το αναδεύουμε. Στη συνέχεια φιλτράρουμε όλο το περιεχόμενο του φιαλιδίου με απλό ηθμό σε άλλο φιαλίδιο. Προσθέτουμε 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO_4^{-4} και το αναδεύουμε. Αφήνουμε το φιαλίδιο στο υδατόλουτρο για άλλα 7 λεπτά στους 40 °C. Μετά το πέρας του χρόνου επώασης μετράμε το δείγμα στο φωτόμετρο με τη βοήθεια κυψελίδας. Ανοίγεται το καπάκι του φωτόμετρου Merck spectroquant NOVA 60 ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Το φωτόμετρο κάνει έναν αυτοέλεγχο (self-check) όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης συγκέντρωσης. Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη “insert Cellor start measurement”. Η κυψελίδα αναγνώρισης (autoselector) τοποθετείται στον υποδοχέα των κυλινδρικών κυψελίδων. Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζεται από το όργανο το συγκεκριμένο test που χρησιμοποιείται. Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Το δείγμα μεταφέρεται σε μία ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία οπτικής διαδρομής 1 cm, η οποία τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη μέτρηση και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη. Η ανάλυση πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη δειγματοληψία. [12]

5.12 Προσδιορισμός συγκέντρωσης K, Na, Ca

Αρχή μεθόδου μέτρησης-: Φλογοφωτομετρία

Η εκπομπή και η απορρόφηση σε φλόγα είναι τεχνικές που αλληλοσυμπληρώνονται, καθώς ορισμένα από τα στοιχεία ανιχνεύονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις με μετρήσεις εκπομπής και ορισμένα μόνο με μετρήσεις απορρόφησης. Η παρουσία ενός άλατος του νατρίου στο χώρο μιας φλόγας χρωματίζει την φλόγα κίτρινη. Η παρουσία ενός άλατος του ασβεστίου χρωματίζει την φλόγα κόκκινη. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί την βάση για την ανίχνευση κυρίως νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Ο χρωματισμός της φλόγας οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η οποία μπαίνει στην φλόγα διασπώνται σε άτομα. Τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερση τους, παρατηρείται εκπομπή της ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται (δηλαδή το χρώμα της φλόγας) εξαρτάται από την φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με την χρήση καταλλήλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φωτοανιχνευτή. Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα. Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στα φλογοφωτόμετρα αποτελείται από φίλτρα απορρόφησης και ως φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοστοιχεία. [12]

Πειραματική διαδικασία: Αρχικά μετρούνται τα πρότυπα δείγματα καθώς και το τυφλό και οι ενδείξεις του οργάνου καταγράφονται για κάθε ένα από αυτά. Από τις παραπάνω μετρήσεις χαράσσεται καμπύλη αναφοράς. Στην συνέχεια, μετρούνται τα δείγματα και από τις ενδείξεις του οργάνου και την καμπύλη αναφοράς, υπολογίζεται η αντίστοιχη συγκέντρωση του κάθε δείγματος. [12]

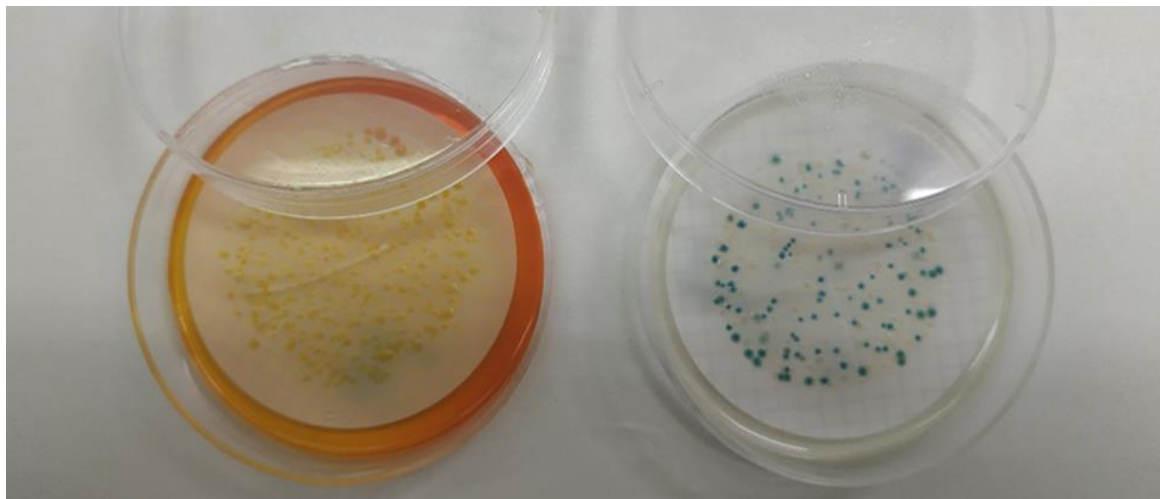
5.13 Μικροβιολογικός έλεγχος νερού

Αρχή μεθόδου ανάλυσης: Μέθοδος διήθησης με μεμβράνη

Η μέθοδος διήθησης από μεμβράνες δίνει τον ολικό αριθμό κολοβακτηρίων που περιέχονται σε δείγμα 100 ml. Η μέθοδος των μεμβρανών βασίζεται στην κατακράτηση με διήθηση ορισμένου όγκου δείγματος σε μεμβράνη, όλων των μικροοργανισμών, με μέγεθος μεγαλύτερο των 0,45 μ (διάμετρος πόρου της μεμβράνης), που περιέχονται στο διηθούμενο δείγμα και ανάπτυξη των κολοβακτηρίων σε αποικίες, με την χρησιμοποίηση εκλεκτικών υποστρωμάτων και την επώαση τους σε κατάλληλη θερμοκρασία. Ο προσδιορισμός του ολικού αριθμού κολοβακτηρίων γίνεται με απευθείας καταμέτρηση των αναπτυσσόμενων αποικιών στη μεμβράνη και αναγωγή του αριθμού τους στον όγκο που διηθήθηκε. Για την καταμέτρηση αποικιών ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά φίλτρο είναι μεταξύ 20 και 80. Αν ο αριθμός των αποικιών ανά τρυβλίο είναι υψηλότερος και οι αποικίες αλληλοκαλύπτονται, το πείραμα πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας υψηλότερες αραιώσεις. [12]

5.13.1 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal coliforms)

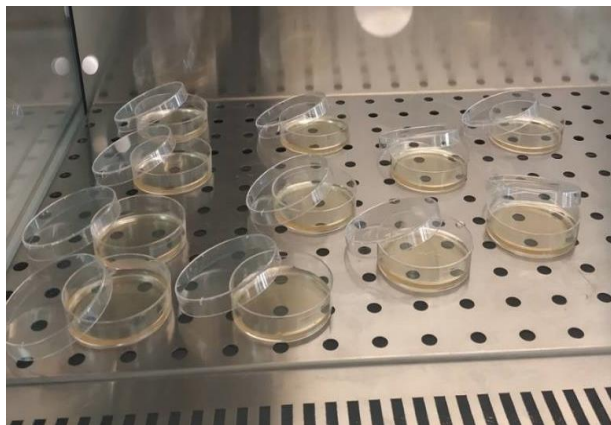
Πειραματική διαδικασία: Χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα Membrane Lauryl Sulfate Broth. Τοποθετούμε την αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στην συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στην συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με τον ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείγματος μας ξεπλύνουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στην συνέχεια παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα για να αποφύγουμε την επιμόλυνση και τοποθετούμε το φίλτρο μας στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. Στην συνέχεια, τοποθετούμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης στους 44 °C για 24 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρούνται οι αποικίες, χρώματος κίτρινου, που έχουν δημιουργηθεί. [12]



Εικόνα 5.2 Αποικίες κοπρανώδων κολοβακτηριοειδών και E.coli

5.13.2 Escherichiacoli

Πειραματική διαδικασία: Για την παρασκευή υποστρώματος ζυγίζονται 36,5 gr από και διαλύονται σε 1l ml απιονισμένου νερού. Στην συνέχεια, το μπουκάλι που περιέχεται το μείγμα αποστειρώνεται 121°C για 15 λεπτά. Μετά το μείγμα διαμοιράζεται σε τρυβλία διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα). Χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα Herlequin Typtone Bile Glucuronide Agar (TBX). Έπειτα τοποθετούμε την αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στην συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στην συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με τον ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείγματος μας ξεπλύνουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στην συνέχεια, παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα για να αποφύγουμε την επιμόλυνση και τοποθετούμε το φίλτρο μας στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. [12]. Στην συνέχεια τοποθετούμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης στους 47°C για 24 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρούνται οι αποικίες, χρώματος μπλε-πράσινο , που έχουν δημιουργηθεί.



Εικόνα 5.3
Παρασκευή
υποστρώματος για
E.coli

5.13.3 Εντερόκοκκος (Enterococcus)

Πειραματική διαδικασία: Για την παρασκευή υποστρώματος για 10 δείγματα, ζυγίζονται 1,74 gr από την σκόνη και διαλύονται σε 40 ml αποστειρωμένου απιονισμένου νερού, έως ότου το μείγμα να γίνει διαυγές ροζ ανοιχτού χρώματος. Στην συνέχεια, το μπουκάλι που περιέχεται το μείγμα θερμαίνεται μέχρι την έναρξη του βρασμού όπου και αποστειρώνεται. Μετά το μείγμα διαμοιράζεται σε τρυβλία διαμέτρου 50 mm .Χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα Slanetz Bartley Medium.Έπειτα τοποθετούμε την αποστειρωμένη λαβίδα (πρώτα εμβαπτίζεται στο οινόπνευμα και στην συνέχεια καίγεται) ένα αποστειρωμένο φίλτρο πάνω στην πορώδη επιφάνεια της συσκευής διήθησης. Στην συνέχεια προσαρμόζω πάνω από το φίλτρο το ποτήρι και βάζω με τον ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml από το δείγμα. Λίγο πριν τελειώσει η διήθηση του δείγματος μας ξεπλύνουμε τα τοιχώματα του ποτηριού με αποστειρωμένο νερό. Στην συνέχεια παίρνουμε το φίλτρο με αποστειρωμένη λαβίδα για να αποφύγουμε την επιμόλυνση και τοποθετούμε το φίλτρο μας στο τρυβλίο με το θρεπτικό υλικό. Στην συνέχεια τοποθετούμε τα τρυβλία στον θάλαμο επώασης στους 38 °C για 48 ώρες και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρούνται οι αποικίες, χρώματος μωβ-μπορντό, που έχουν δημιουργηθεί. [12], [13].

5. 14 Αποτελέσματα

Φράγμα Αποσελέμη

Οι τιμές του pH παρουσίασαν ελάχιστη διακύμανση μεταξύ των δειγματοληψιών και κυμάνθηκαν ανάμεσα 7,30 και 7,80, τιμές εντός ορίων Νομοθεσίας επιφανειακού νερού.[19].

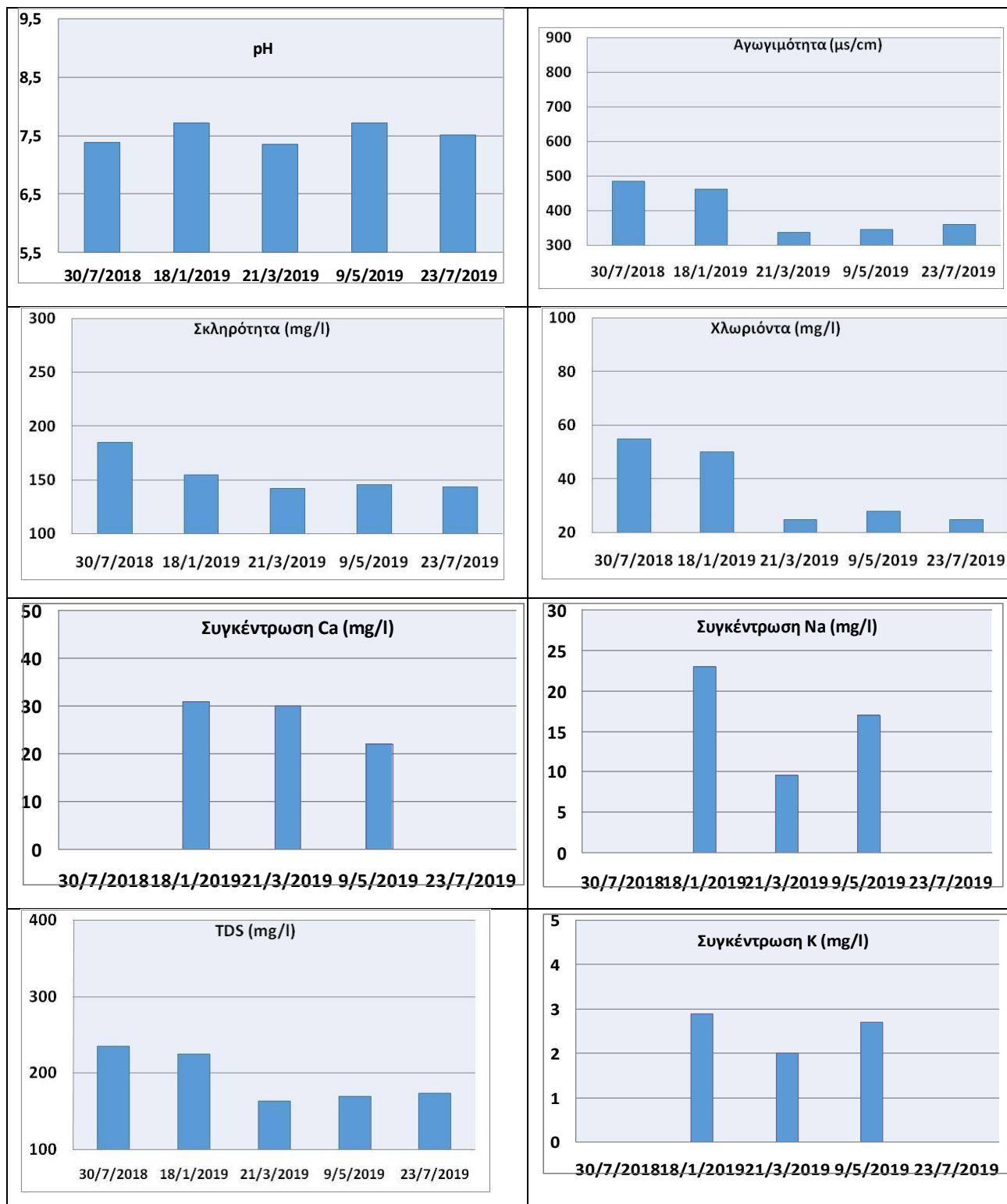
Η αγωγιμότητα και τα ολικά διαλυμένων στερεών (TDs) στα δείγματα νερού στον ταμιευτήρα του φράγματος παρουσίασε μεταβολές που συνδέονται είτε με την μεγάλη πτώση στάθμης την καλοκαιρινή περίοδο 2018 είτε λόγω της εισροής νερού από την σήραγγα οροπεδίου Λασιθίου. Η εισροή αυτή την χειμερινή περίοδο 2019 είχε αποτέλεσμα την απότομη μείωση στα 350μS/cm(Σχήμα 1).

Η συγκέντρωση χλωριόντων διατηρήθηκε σε χαμηλές συγκεντρώσεις 55-75mg/l κατά την αρχή της περιόδου των δειγματοληψιών και μειώθηκε στην συνέχεια στα 24 mg/l. Η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου στα δείγματα που μετρήθηκαν παρουσίασε σχεδόν σταθερή συγκέντρωση κατά την περίοδο μελέτης. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις K και Na παρουσίασαν σύγχρονες μεταβολές στην διάρκεια των δειγματοληψιών πιθανόν λόγω γεωλογικής σύστασης της λεκάνης απορροής ή και της παροχέτευσης στο φράγμα απορροών από γεωργικές εκτάσεις (Σχήμα 1).

Η σκληρότητα μειώθηκε σταδιακά μετά την εισροή νερών από το Οροπέδιο από τα 180 στα 140 mg/lCaCO₃. (Σχήμα 1)

Η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων παρουσίασε αξιόλογες μεταβολές και την περίοδο των δειγματοληψιών με την μέγιστη τιμή να ξεπερνά το όριο 0,5 mg/l. για το πόσιμο νερό και αποδεικνύουν την πιθανή εισροή γεωργικών και κτηνοτροφικών απορροών ή/και αστικών λυμμάτων στην λεκάνη φόρτισης του φράγματος (Σχήμα 2) [19].

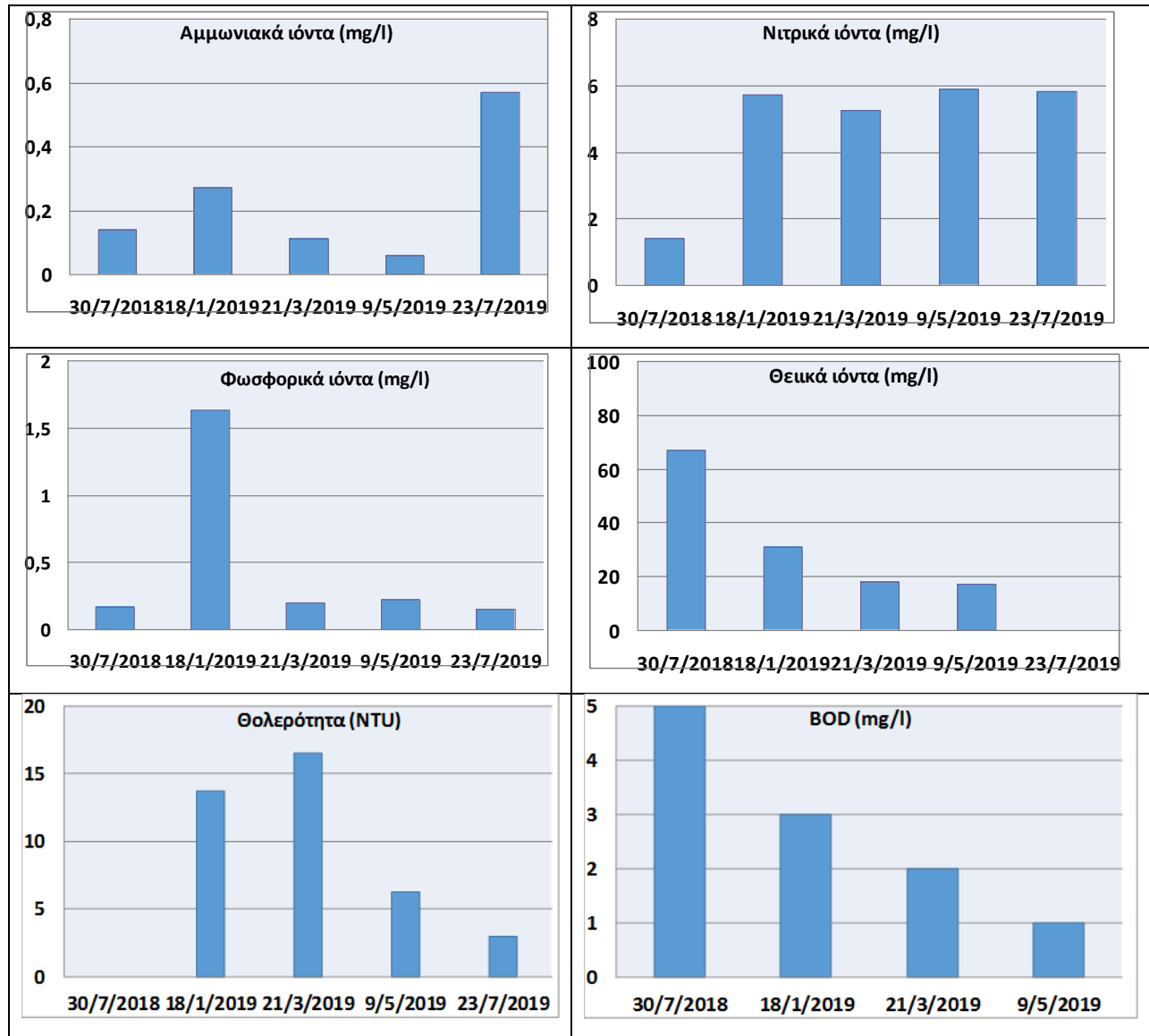
Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων διατηρήθηκε στα 6 mg/l σε όλη σχεδόν την περίοδο δειγματοληψιών 2019 που πιθανόν να οφείλεται σε συνεχή εισροή ή σε αποικοδόμηση οργανικής ουσίας η οποία καταγράφεται φθίνουσα από τις τιμές BOD (Σχήμα 2).



Σχήμα 1 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του Φράγματος Αποσελέμη

Η εισροή μεγάλων όγκων νερού από το οροπέδιο Λασιθίου φαίνεται να προκάλεσε την μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης σε φωσφορικά ιόντα στην δειγματοληψία της 18/01/2019, με τις υπόλοιπες μετρήσεις να εμφανίζουν σταθερά χαμηλές τιμές. Η θολερότητα την περίοδο των βροχοπτώσεων είχε αυξημένες τιμές λόγω ανάδευσης του νερού στον ταμιευτήρα με έντονη παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων (Σχήμα 2)

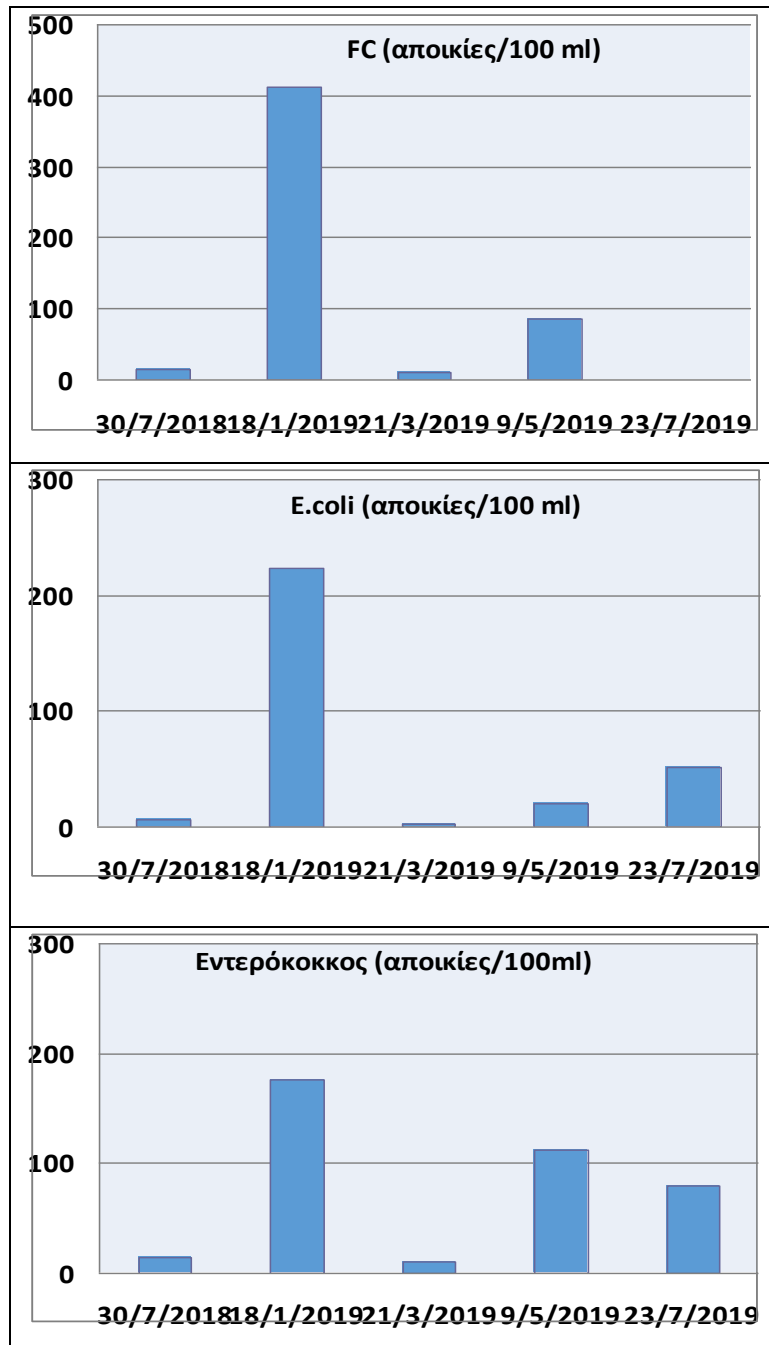
Η τιμή BOD₅mg/l, του λιμνάζοντος νερού στον ταμιευτήρα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, μειώθηκε σταδιακά με την αύξηση του όγκου νερού στο φράγμα κατά την χειμερινή περίοδο, κατά το χρονικό διάστημα στις 30/07/2018 παρατηρήθηκε λόγω ελάχιστης ποσότητας (Σχήμα 2)



Σχήμα 2 Γραφική απεικόνιση αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και θειικών ιόντων, θολερότητας και BOD₅ του Φράγματος Αποσελέμη.

Η εισροή του νερού από το οροπέδιο Λασιθίου φαίνεται ότι προκάλεσε και την απότομη αύξηση του μικροβιολογικού φορτίου καθώς μεταφέρθηκαν πιθανόν κτηνοτροφικά ή/και αστικά λύματα(Σχήμα 3).

Οι περισσότερες τιμές των παραμέτρων που αναλύσαμε είναι εντός των ορίων της σχετικής νομοθεσίας επιφανειακού νερού που προορίζεται για παραγωγή πόσιμου νερού και της νομοθεσίας για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σύμφωνα με την οδηγία 2015(2015/787/ΕΕ) και την Οδηγία 75 (75/440/ΕΟΚ). [18][19]

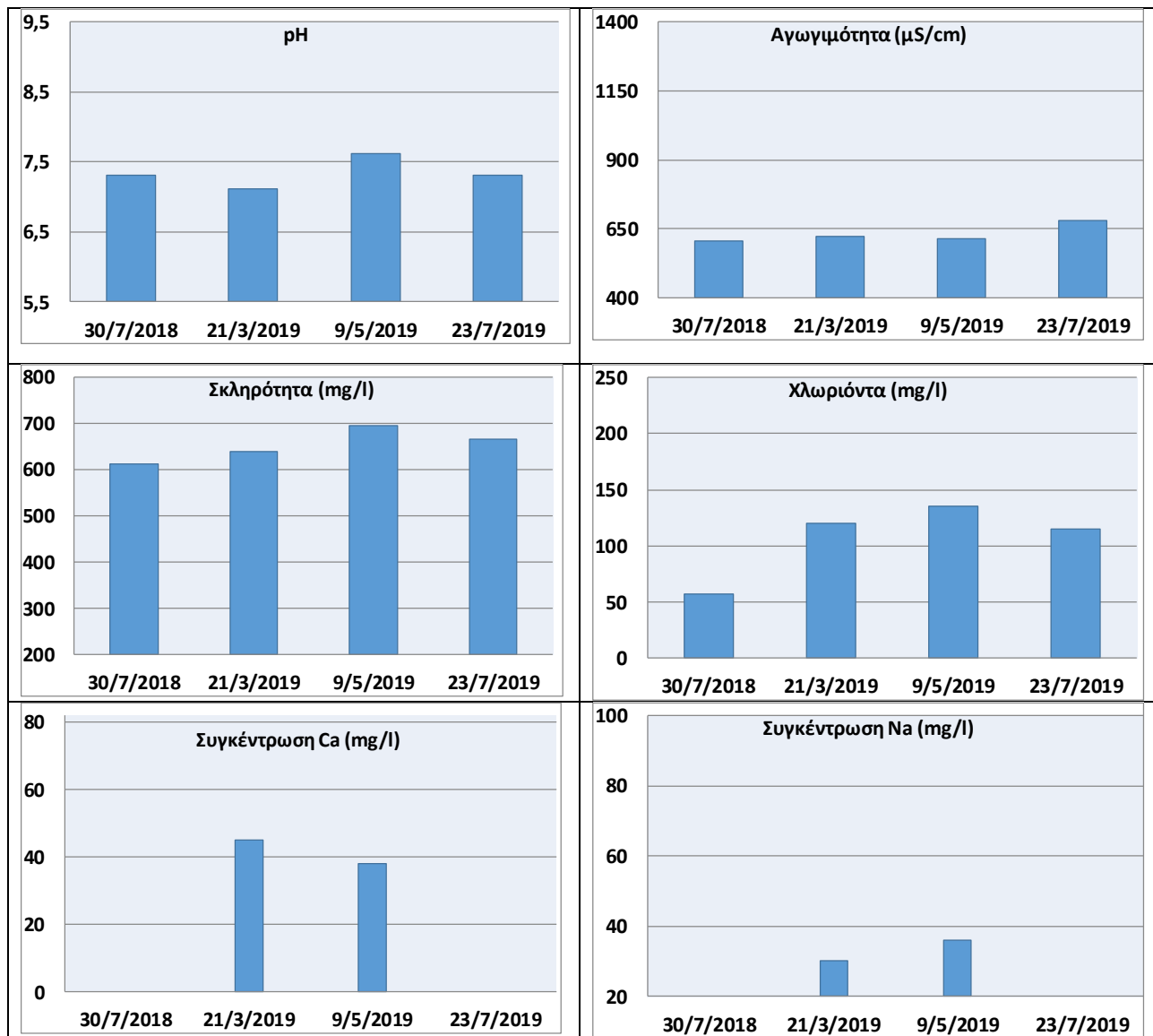


Σχήμα 3 Γραφική απεικόνιση των μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του Φράγματος Αποσελέμη.

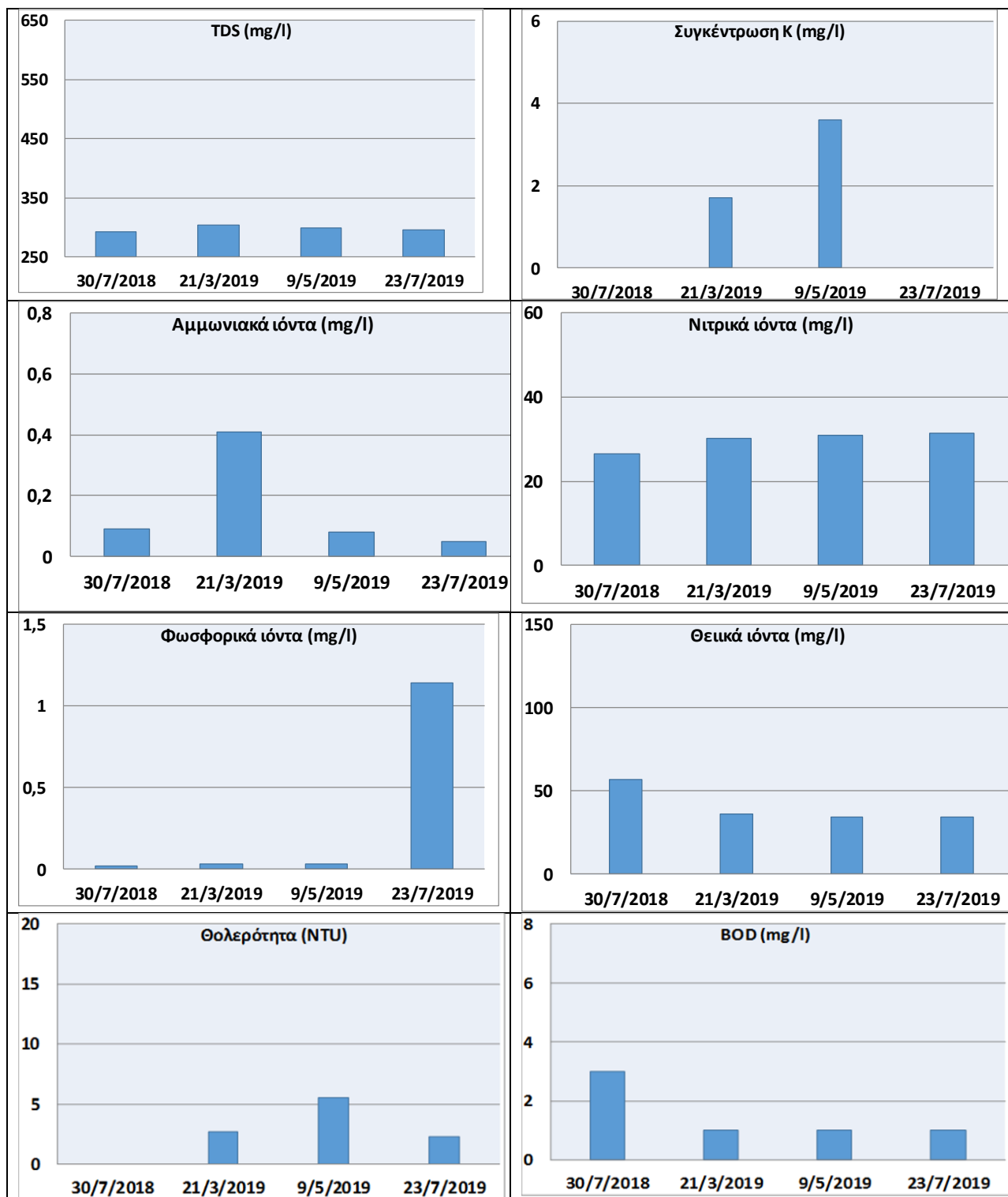
6.1 Γεώτρηση Παναγιά

Κατά την πειραματική περίοδο το pH και η αγωγιμότητα του νερού της γεώτρησης Παναγιά είχε τιμές περίπου σταθερές (Σχήμα 4) που δείχνει την απουσία επικοινωνίας του υπόγειου υδροφορέα με άλλες πηγές νερού. Παράλληλα οι τιμές της σκληρότητας κυμάνθηκαν μεταξύ 600 και 700 mg/l που σύμφωνα με τον πίνακα ταξινόμησης νερών κατατάσσεται στα πολύ σκληρά νερά.[20]

Η χαμηλή τιμή χλωριόντων 55mg/l το καλοκαίρι 2018 αυξήθηκε στα 100-120mg/l όλη την περίοδο 2019 που περιλάμβανε έντονες χειμερινές βροχοπτώσεις. Σταθερά χαμηλή ήταν και η συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου και νατρίου (Σχήμα 4).



Σχήμα 4 Γραφική απεικόνιση pH, αγωγιμότητας, σκληρότητας, χλωριόντων και συγκέντρωσης Ca,Na της Γεώτρησης Παναγιάς.

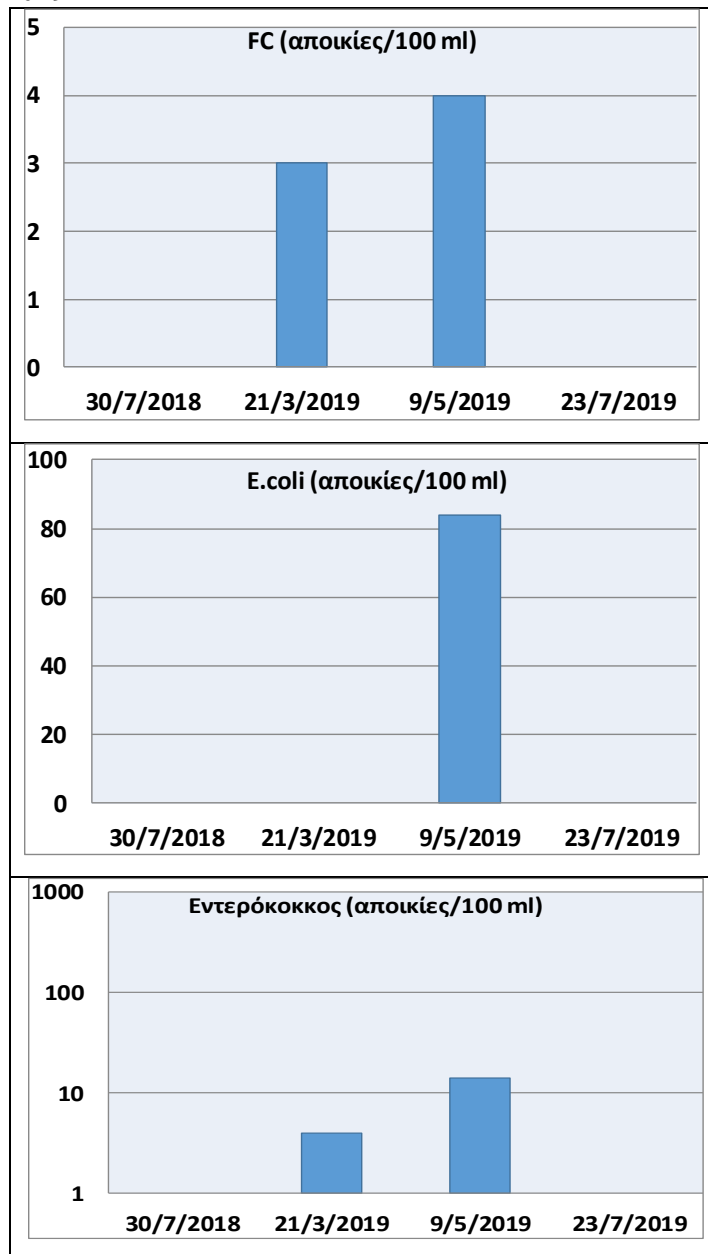


Σχήμα 5 Γραφική απεικόνιση TDS, συγκέντρωσης Κ, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και θεικών ιόντων, θολερότητας και BOD της γεώτρησης Παναγιάς.

Οι συγκεντρώσεις καλίου και θεικών ιόντων (Σχήμα 5) κατά την περίοδο δειγματοληψιών πιθανόν να συνδέονται άμεσα με τα λιπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στις ελαιοκαλλιέργειες την περίοδο της άνοιξης και ίσως με τα πετρώματα που υπάρχουν στο υπέδαφος.

Η παρουσία των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε συνδυασμό με το μικροβιολογικό φορτίο δεικνύουν την απορροή γεωργικών αλλά και αστικών λυμάτων στον υδροφόρο της γεώτρησης (Σχήματα 5,6) .[20]

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) εμφανίζει την υψηλότερη τιμή 3 mg/l μετά από περίοδο ξηρασίας και ανομβρίας του 2018 και διατηρείται σε επίπεδα καθαρού νερού την περίοδο του 2019.

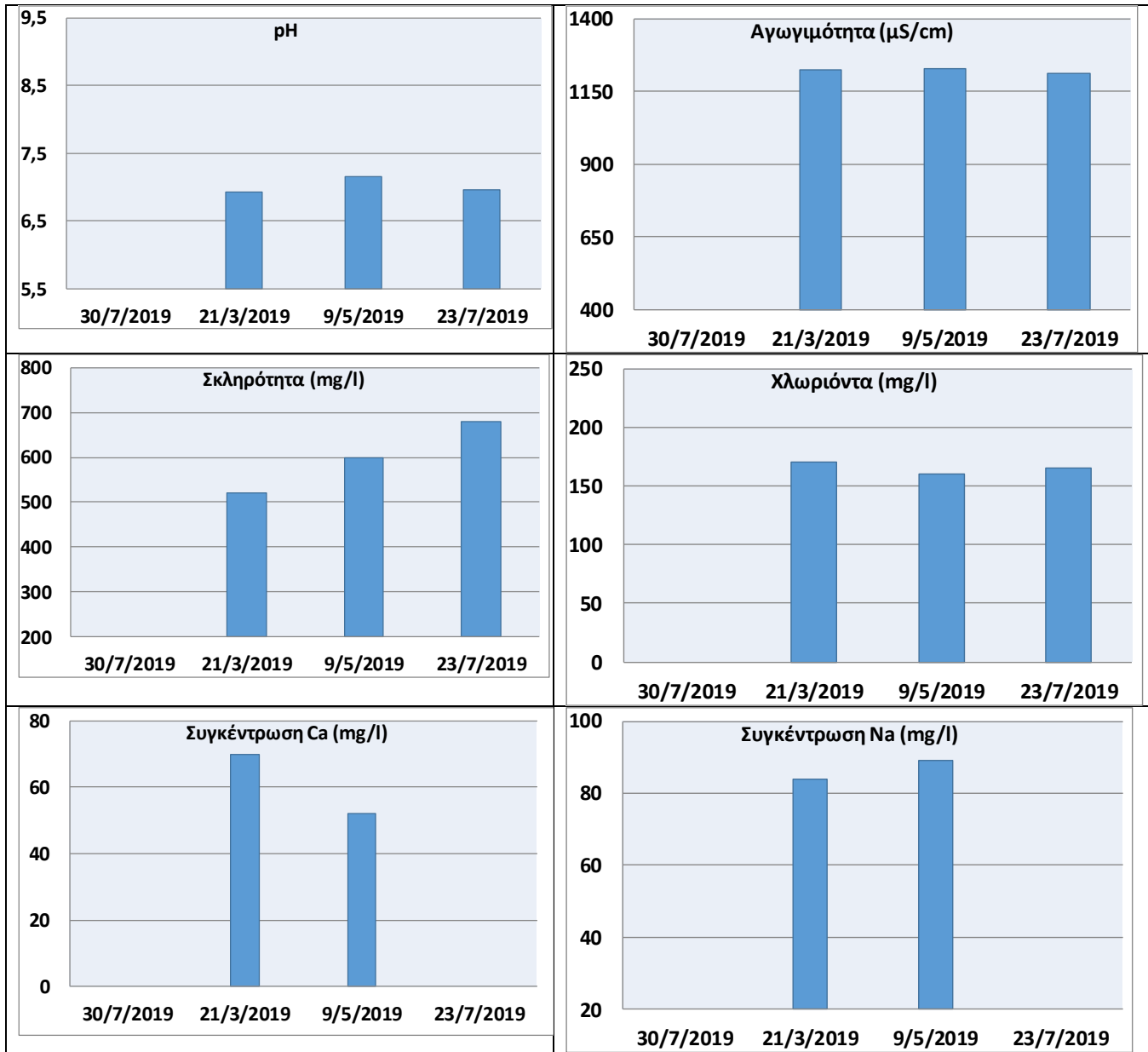


Σχήμα 6 Γραφική απεικόνιση των μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της γεώτρησης της Παναγιάς.

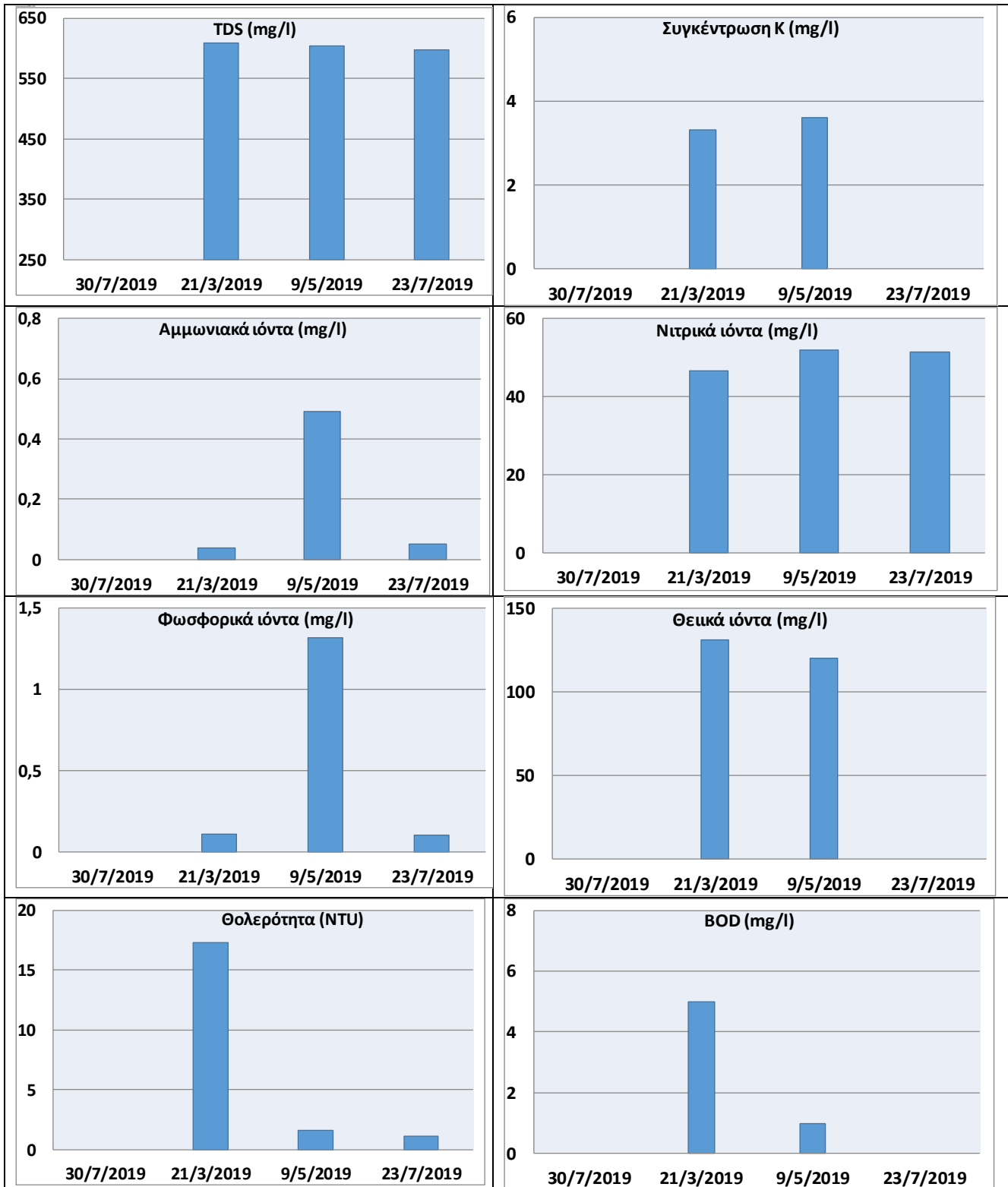
Η συγκέντρωση μικροβιολογικού φορτίου στην γεώτρηση θα πρέπει να διερευνηθεί ώστε να προσδιοριστεί η πηγή μόλυνσης η οποία καθιστά το νερό ακατάλληλο για επαφή με τον ανθρώπινο οργανισμό.

6.2 Γεώτρηση Αποϊνι

Κατά την πειραματική περίοδο το pH και η υψηλή αγωγιμότητα του νερού της γεώτρησης Αποϊνι είχε τιμές περίπου σταθερές, όπως και η συγκέντρωση νατρίου, καλίου και χλωριόντων, που δείχνουν την απουσία επικοινωνίας του υπόγειου υδροφορέα με άλλες πηγές νερού (Σχήματα 7,8).



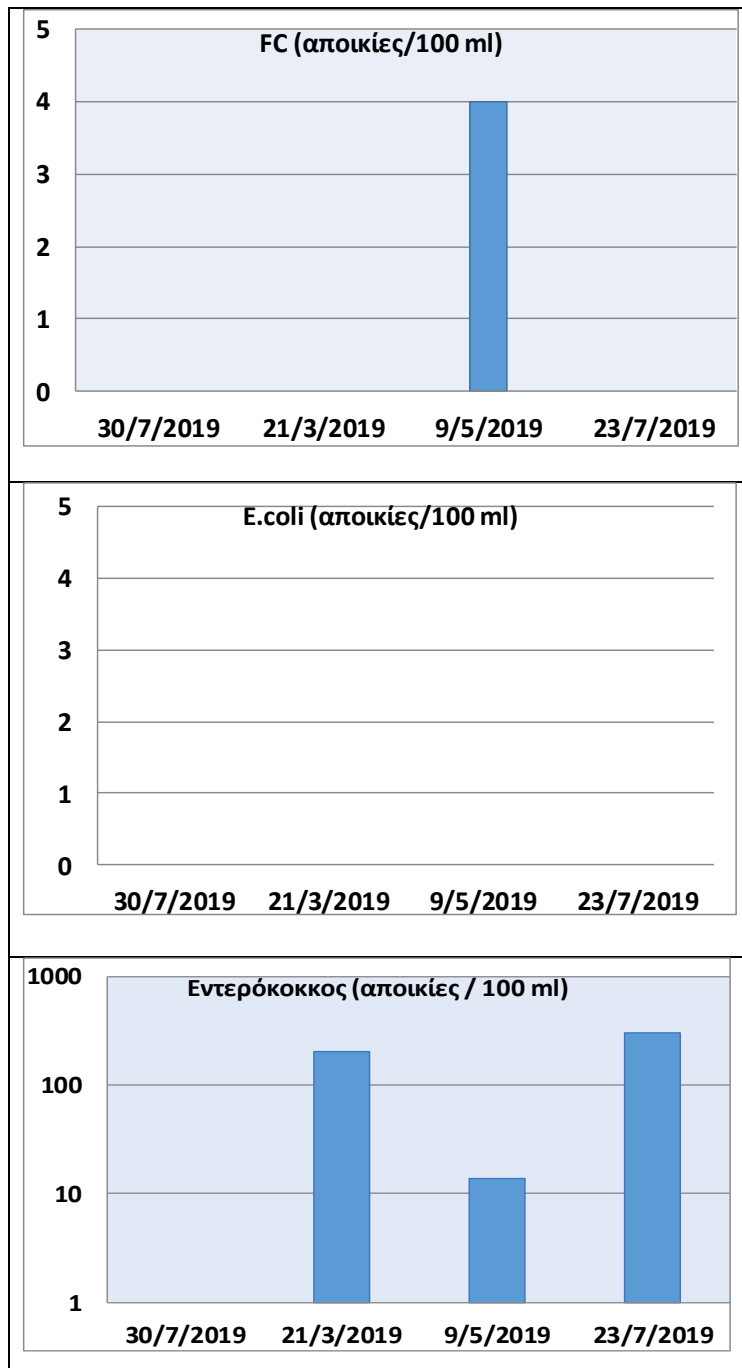
Σχήμα7 Γραφική απεικόνιση pH, αγωγιμότητας, σκληρότητας, χλωριόντων ,συγκέντρωσης ,CaκαιNa της Γεώτρησης Αποϊνιού.



Σχήμα 8 Γραφική απεικόνιση TDs, συγκέντρωσης K, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και θειικών ιόντων,θολερότητας και BODτης γεώτρησης Αποιίου.

Οι μετρήσεις της σκληρότητας, σύμφωνα με τον πίνακα ταξινόμησης, κατατάσσουν το νερό της γεώτρησης σε πολύ σκληρό νερό αφού ξεπερνάει τα 300 mg/l. [18,20]

Η παρουσία υψηλού μικροβιολογικού φορτίου και ιδιαίτερα εντεροκόκκων αποδεικνύει την μόλυνση από ζωικά κυρίως λύματα και καθιστά το νερό ακατάλληλο για επαφή με τον ανθρώπινο οργανισμό. (Σχήμα 9).



Σχήμα 9 Γραφική απεικόνιση των μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της Γεώτρησης Απονίου.

Οι μετρήσεις της συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων έδωσαν τις περισσότερες τιμές κάτω από 0,5 mg/l που είναι η συνηθέστερη τιμή για τα υπόγεια ύδατα σε αντίθεση, με την συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα που πλησίασε το ανώτατο όριο των 50 mg/l. Είναι πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη απορροής λυμάτων ή/και λιπασμάτων. Η θολερότητα παρουσιάζει μια υψηλή τιμή που πιθανόν να οφείλεται στις έντονες βροχοπτώσεις της περιόδου μελέτης και η οποία συνοδεύεται από την μόνη υψηλή τιμή BOD₅mg/l.

Συσχέτιση γεωτρήσεων

Υπάρχει άραγε συγγένεια των υδροφορέων στις γεωτρήσεις της Παναγιάς και του Αποινίου ? Η μεταξύ τους απόσταση είναι περίπου 10 χιλιόμετρα. Η γεωμορφολογία των περιοχών που βρίσκονται οι γεωτρήσεις είναι διαφορετική. Η γεώτρηση της Παναγιάς είναι σε πεδινή περιοχή ενώ η γεώτρηση του Αποινίου σε ημιορεινή πλησίον φράγματος Πλακιώτισσας. Επίσης διαφορές έχουν και οι καλλιέργειες των περιοχών που τις περιβάλλουν. Στην περιοχή Αποινίου καλλιεργούνται κυρίως ελιές, αμπέλια, πατάτες και διάφορα κηπευτικά ενώ στην περιοχή Παναγιάς κυρίως ελιές και σιτηρά. Οι καλλιέργειες αυτές έχουν διαφορετικές ανάγκες ανά εποχή, λίπανσης και άρδευσης. Τέλος η περιοχή της Παναγιάς έχει αυξημένη κτηνοτροφική δραστηριότητα.

Ξεκινώντας την σύγκριση των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων του νερού και στις δύο γεωτρήσεις οι παράμετροι του pH , της σκληρότητας (σκληρά νερά), και οι συγκεντρώσεις ασβεστίου, καλίου και χλωριούχων έχουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Αν εξετάσουμε την αγωγιμότητα, την συγκέντρωση νατρίου και τα συνολικά διαλυμένα στερεά οι τιμές στην γεώτρηση Αποινίου είναι σχεδόν διπλάσιες των τιμών στην γεώτρηση της Παναγιάς. Επίσης διπλάσιες τιμές στα δείγματα της γεώτρησης Αποίνι είναι τα νιτρικά και τα θειικά ιόντα.

Όσον αφορά τα αμμωνιακά και τα φωσφορικά ιόντα εμφανίζουν και στις δύο γεωτρήσεις παρόμοιες τιμές με τις υψηλότερες τους με διαφορά δύο μηνών. Αυτό ίσως οφείλεται στην αποστράγγιση του εδάφους της περιοχής και στο χρονικό διάστημα της απορρόφησης στους υδροφορείς.

Το μικροβιολογικό φορτίο των περιοχών είναι αρκετά χαμηλό στην γεώτρηση της Παναγιάς σε αντίθεση με την κατάσταση που καταγράφεται στην γεώτρηση Αποινίου πιθανόν λόγω της κτηνοτροφικής δραστηριότητας στην περιοχή και την γειτνίαση με τον οικισμό Πλακιώτισσας.

Συμπερασματικά και με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα των μετρήσεων για τις επιμέρους παραμέτρους των δύο γεωτρήσεων , δεν υπάρχει συγγένεια μεταξύ των δύο δειγμάτων. Σίγουρα μιλάμε για δύο δείγματα που αφορούν πολύ σκληρά νερά αφού ξεπερνούν τα 300 mg/l , χωρίς ενδείξεις υφαλμύρινσης. Όμως υπάρχουν και σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις, όπως στην αγωγιμότητα, στην συγκέντρωση Na, των ολικών διαλυμένων στερεών και της συγκέντρωσης νιτρικών και θεικών ιόντων οι οποίες είναι διπλάσιες στην Γεώτρηση Αποινίου από εκείνες στην γεώτρηση της Παναγιάς. Η επιμόλυνση του μικροβιολογικού φορτίου φαίνεται να είναι παροδική αφού δεν παρουσιάζονται οι ίδιες τιμές καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών.

Βιβλιογραφία

- [1] Στουρνάρας Γ, Κ (2018) .Νερό Περιβαλλοντική Διάσταση & Διαδρομή. Εκδόσεις Τζιόλα. Αθήνα
- [2] ΠαπαμιχαήλΔ. (2004) Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων, Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη
- [3]ΧΥΤΑ_1.doc , Κεφάλαιο 1^ο Βασικές έννοιες Υδρογεωλογίας
http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_1.pdf
- [4] Μαμάσης Ν, (2011)Τεχνική Υδρολογία Υπόγεια νερά
https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL120/ydr_ypgia_11.pdf
- [5] Κόκκινου Ε,(2016).Μάθημα Γενικής Υδρογεωλογίας ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά
- [6] Παπαφιλιππάκη Ν, (2017) Μάθημα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Χανιά
- [7] Καββαλάκης Α, (2017) Μελέτη βιωσιμότητας ενεργειακής αξιοποίησης Φράγματος Αποσελέμη.Διπλωματική εργασία ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΑΝΙΑ
- [8] Μαραγκάκης Σ, (2017). Πτυχιακή εργασία Μονάδα Επεξεργασίας Νερού στο Φράγμα του Αποσελέμη: Στάδια της επεξεργασίας & ποιότητα νερού στην εκροή της εγκατάστασης. ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.
- [9] ΚελεσιδηςΒ (2012).Αβαθείς και Ειδικές Γεωτρήσεις , Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Αθήνα
- [10] Σουπιός Π (2017) Μάθημα Γεωτρήσεων και αντλήσεων, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος , Χανιά
- [11] ΧΥΤΑ_3.docΚεφάλαιο 3^ο Ποιότητα των υπόγειων νερών
http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf
- [12] ΣταυρουλάκηςΓ, (2017) .Εργαστηριακός οδηγός μαθήματος Έλεγχος Ποιότητας Νερού, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Χανιά
- [13] Τρούσσα-Μάρτη Σ,(2009). Πτυχιακή εργασία Υφαλμύρωση υπόγειων υδροφορέων Νομού Χανίων, Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ Τμήμα φυσικών πόρων και περιβάλλοντος, Χανιά.
- [14] Τα νιτρικά ιόντα στο νερό Εργαστήριο χημικών και μικροβιολογικών αναλύσεων
Ημερομηνία 24/1/2019 <https://lab.dialynas.com/nitrates/>
- [15] Αμμωνιακά ιόντα <http://www.filtercosmos.gr/files/uploads/ammonia.pdf>

[16] Ιωάννης Δετοράκης Το νερό στην ζωή μας

<http://www.watermicro.gr/wp-content/uploads/to-nero-sti-zoi-mas.pdf>

[17] Indeeper analysis(2016, Ιούνιος, 29).Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μικροβιολογική ποιότητα του πόσιμου νερού, Μικροβιολογικοί δείκτες , Βασιλική Χ. Πιτυρίγκα

<http://www.indeepanalysis.gr/analyseis/arthra/mikroviologikh-poiiothta-tou-posimou-nerou-mikroviologikoi-deiktes>

[18] ΚΥΑ Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης 2017 Οδηγία 2015/1787/ΕΕ

<https://www.moh.gov.gr/articles/health/dieythynsh-dhmosias-ygieinhs/ygieinh-periballontos/prostasia-poiiothtas-ydatwn/prostasia-neroy-anthrwpinhs-katanalwshs/4966-ekdossh-k-y-a-gia-thn-poiiothta-toy-neroy-anthrwpinhs-katanalwshs-2017>

[19] ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα Κράτη μέλη (75/440/ΕΟΚ <http://www.q-lab.gr/uploads/8/3/4/5/8345585/5-75.440.ek.pdf>

[20] Αριθμ. 39626/2208/Ε130 Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/118/ΕΚ «σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση»

https://elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/2075b_09.1343380385484.pdf?fbclid=IwAR2eJwspXhKlhYdtUk_ZFoHpjbLfeFv4cuLmWI4Ad36mqR3dt_6Een3Kxo

Διαδικτυακά άρθρα:

- Βασιλάκη, Ε.(2018). Το σχεδόν άδειο φράγμα Αποσελέμη-Αποκαρδιωτικές φωτογραφίες και video.[Online]. Διαθέσιμο από: <https://www.e-storieskritis.gr/2018/03/video.html>
- ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ (2019).Φράγμα Αποσελέμη στην Κρήτη: Βυθίζεται ξανά το Σφενδύλι.[Online] Διαθέσιμο από: <https://www.aftodioikisi.gr/koinonia/fragma-aposelemi-stin-kriti-vythizetai-xana-to-sfendyli/>
- https://www.kritipoliskaihoria.gr/2014/06/blog-post_2150.html
- <https://www.parapolitikakritis.gr/i-poreia-toy-neroy-apo-to-oropedio-lasithioy-sto-fragma-aposelemi-video/>