



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗ ΜΕΛΠΟΜΕΝΗ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





Υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής Τυμπακίου Κρήτης

ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗ ΜΕΛΠΟΜΕΝΗ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5826

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

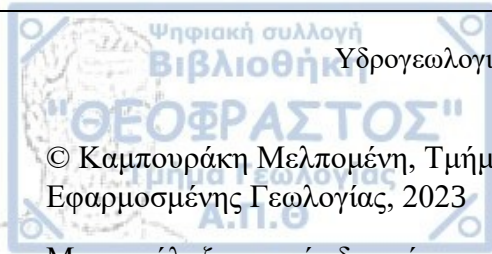
Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βουδούρης Κωνσταντίνος



© Καμπουράκη Μελπομένη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ – Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Kampouraki Melpomeni, School of Geology, Department of Structural, Historical & Applied Geology, 2023

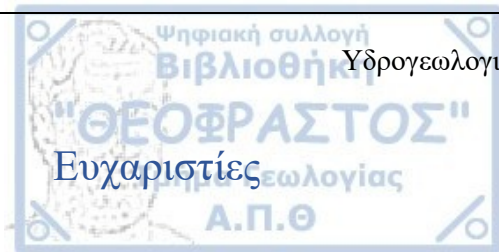
All rights reserved.

HYDROGEOLOGICAL STUDY OF THE TIMBAKI AREA OF CRETE – Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





Η παρούσα πτυχιακή εργασία μου ανατέθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος Διπλωματική Εργασία του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο για την καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη του, αλλά και για την υποστήριξή του τόσο κατά την συγγραφή της εργασίας, όσο και κατά την διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών. Είναι ο άνθρωπος ο οποίος με ενέπνευσε στο να ακολουθήσω αυτόν τον τομέα και να υλοποιήσω τους στόχους μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του ΤΟΕΒ Α' Ζώνης Μεσσαράς καθώς και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την παροχή δεδομένων. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Μπουλουκάκη Ηρακλή, ο οποίος με βοήθησε να κατανοήσω την γεωλογία της ευρύτερης περιοχής του Τυμπακίου, καθώς και στην αναζήτηση και συλλογή δεδομένων. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και το κοντινό μου περιβάλλον για όλη την υποστήριξή τους όλο αυτό το διάστημα.

Ευχαριστίες	6
1. Εισαγωγή – Σκοπός εργασίας	9
2. Χαρακτηριστικά της περιοχής	11
2.1 Ο Δήμος Φαιστού	11
2.2 Περιοχή Έρευνας	12
2.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη	12
2.4 Γεωμορφολογία.....	14
2.5 Κλιματικά Στοιχεία	15
3. Γεωλογία Περιοχής.....	19
3.1 Γεωτεκτονικές Ζώνες.....	19
3.2 Γεωλογική δομή λεκάνης Μεσσαράς.....	20
3.3 Λεκάνη Τυμπακίου	25
4. Υδατικές Ανάγκες.....	28
4.1 Ύδρευση με βάση τον πληθυσμό.....	28
4.1.1 Πρόβλεψη πληθυσμού	28
4.1.2 Υπολογισμός υδρευτικών αναγκών	30
4.2 Αρδευτικές ανάγκες	32
5. Υδρογεωλογία.....	35
5.1 Υδρογεωλογικές συνθήκες της νήσου Κρήτης.....	35
5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Μεσσαράς	41
5.2.1 Υποδιαίρεση λεκάνης Μεσσαράς	46
5.2.2 Λεκάνη Τυμπακίου	47
5.3 Γεωτρήσεις.....	48
5.4 Ποιότητα υπόγειων νερών	51
5.4.1 Φυσικές ιδιότητες νερού	51
5.4.2 Δειγματοληψία Υπόγειου Νερού – Χημικές Αναλύσεις.....	51
5.4.3 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης.....	52
5.4.4 Το φαινόμενο της νιτρορύπανσης.....	53
6. Συμπεράσματα – Προτάσεις	55
Βιβλιογραφία	57



1. Εισαγωγή – Σκοπός εργασίας

Η παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών της σπουδών στο Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η εργασία εποπτεύθηκε από τον καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο.

Η παρούσα εργασία διεξήχθη εντός των ορίων της Δημοτικής Κοινότητας Τυμπακίου του Δήμου Φαιστού του Νομού Ηρακλείου Κρήτης και έχει ως αντικείμενο την μελέτη της υδρογεωλογίας, επιφανειακής και υπόγειας, των συνθηκών ύδρευσης και άρδευσης, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων.

Αρχικά, κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθούν ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπως η ιστορία, ο πληθυσμός, τα κοινωνικοοικονομικά, οι εδαφικές μορφές και το κλίμα. Στη συνέχεια όλα τα γεω-υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής εντοπίστηκαν αναλυτικά μέσω βιβλιογραφικών πηγών και επεξεργασμένων στοιχείων από διάφορες υπηρεσίες.

Σχετικά με την Υδρογεωλογική Έρευνα, στο πλαίσιο της παρούσας προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Συλλογή δεδομένων από υφιστάμενες μελέτες/διατριβές της ευρύτερης περιοχής έρευνας.
- Έγινε αναζήτηση επιφανειακών υδατικών πόρων και εξερεύνηση των δυνατοτήτων τους.
- Προσδιορίστηκαν οι τύποι των υπόγειων υδροφορέων που εντοπίζονται και διερευνήθηκε το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής.
- Συλλέχθηκαν μετρήσεις για την στάθμη του υπόγειου νερού σε γεωτρήσεις, καθώς και χημικές αναλύσεις αυτών, οι οποίες αξιοποιήθηκαν για να εντοπισθεί πιθανή ρύπανση του υδροφορέα.
- Διερευνήθηκαν οι συνθήκες ύδρευσης και άρδευσης της περιοχής.

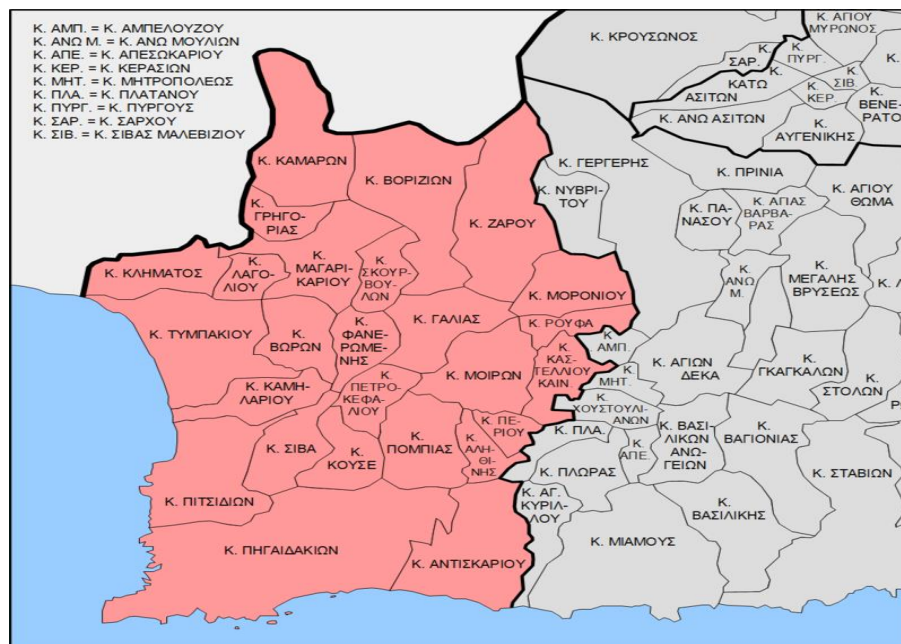


2. Χαρακτηριστικά της περιοχής

2.1 Ο Δήμος Φαιστού

Ο Δήμος Φαιστού, της Περιφερειακής Ενότητας Κρήτης, τοποθετείται στα νοτιοδυτικά του Νομού Ηρακλείου. Συγκεκριμένα, ο Δήμος αποτελείται από την συνένωση των τριών πρώην Καποδιστριακών Δήμων Ζαρού, Τυπακίου και Μοιρών με αποτέλεσμα να εκτείνεται από τις ανατολικές ακτές του όρμου Μεσσαράς μέχρι τα όρια του Δήμου Γόρτυνας και να έχει έκταση 412,74 Km². Ο Δήμος Φαιστού αποτελείται από τις Δημοτικές Ενότητες Ζαρού, Μοιρών και Τυμπακίου και συγκεκριμένα από τους οικισμούς (Δημοτικές Κοινότητες) Ζαρού, Βοριζίων, Μορονίου, Μοιρών, Αληθινής, Αντισκαρίου, Γαλίας, Καστελλίου Καινούργιου, Κουσέ, Περίου, Πετροκεφαλίου, Πηγαϊδακίων, Πόμπιας, Ρουφά, Σκουρβούλων, Τυμπακίου, Βώρων, Γρηγορίας, Καμάρων, Καμηλαρίου, Κλήματος, Λαγολιού, Μαγαρικού, Πιτσιδίων, Σίβα και Φανερωμένης.

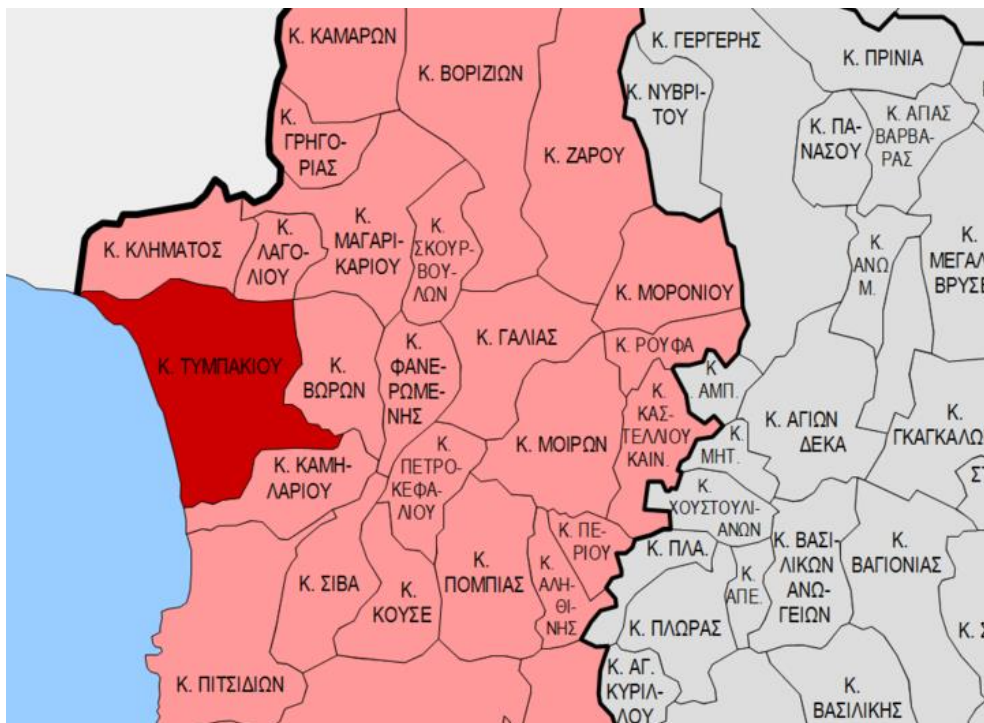
Η περιοχή του Δήμου χαρακτηρίζεται ως μία σύγχρονη περιοχή με έντονη ανάπτυξη σε όλους τους τομείς. Ειδικά ως προς τους τομείς της οικονομίας στον Δήμο Φαιστού αναπτύσσονται περισσότερο ο πρωτογενής και ο τριτογενής τομέας, ενώ ο δευτερογενής τομέας είναι αρκετά περιορισμένος, αλλά με σημαντικά στάδια εξέλιξης τα τελευταία χρόνια, κυρίως γύρω από την δημοτική ενότητα Μοιρών.



Σχήμα 2.1: Η θέση των κοινοτήτων του Δήμου Φαιστού καθώς και τις ευρύτερης περιοχής.

2.2 Περιοχή Έρευνας

Η περιοχή στην οποία εκπονήθηκε η παρούσα εργασία είναι η Κοινότητα Τυμπακίου, που ανήκει στην Δημοτική ενότητα Τυμπακίου. Η κοινότητα Τυμπακίου αποτελείται από τρεις οικισμούς, τον Αφραθία, τον Κόκκινο Πύργο και το Τυμπάκι. Το εμβαδόν της περιοχής μελέτης υπολογίζεται σε 40 Km². Στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 2.2) παρουσιάζονται τα όρια της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.2: Με έντονο κόκκινο χρώμα αποτυπώνεται η περιοχή του Τυμπακίου.

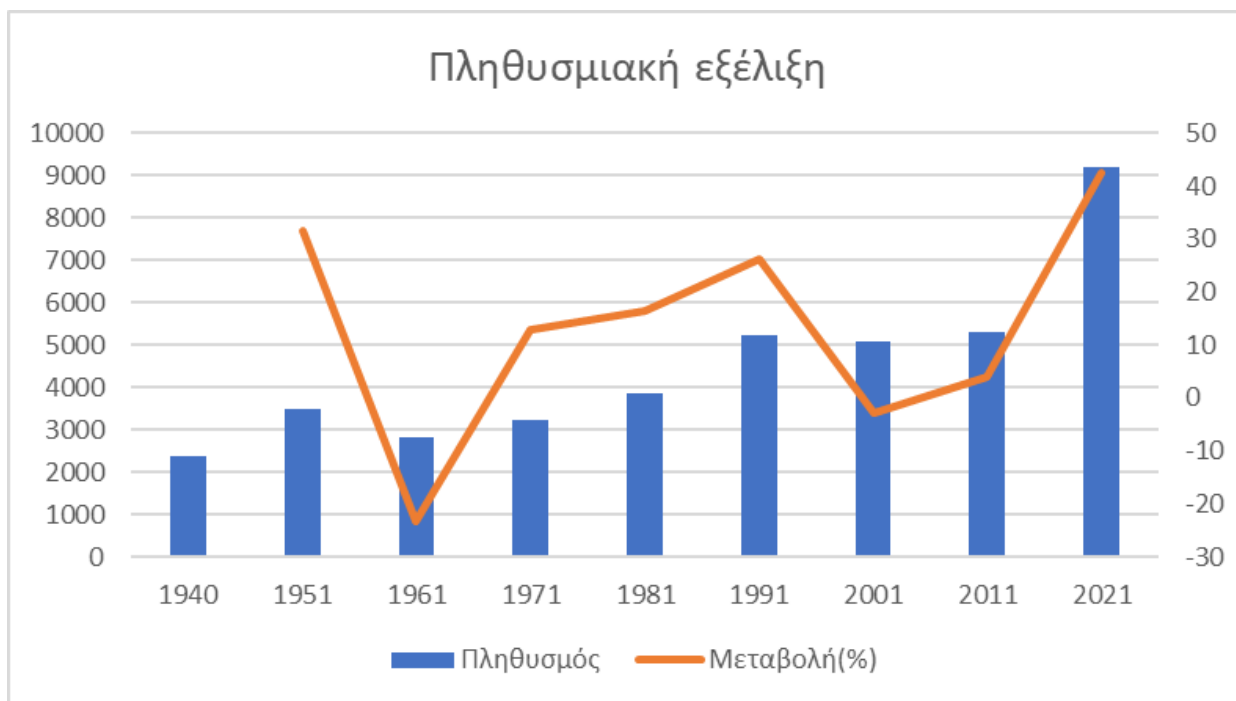
2.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη

Ο οικισμός του Τυμπακίου κατά την περίοδο της κατοχής από τους Γερμανούς, είχε εκκενωθεί και έπειτα είχε σχεδόν ισοπεδωθεί από τους βομβαρδισμούς. Μόνο λίγα κτήρια είχαν κρατήσει οι Γερμανοί για να μπορέσουν να μένουν οι ίδιοι. Έτσι, με την πάροδο του χρόνου οι κάτοικοι κατασκεύασαν το πολεμικό αεροδρόμιο με τα υλικά από τα κατεστραμμένα σπίτια, ώστε να ελέγχουν την νοτιοανατολική Μεσόγειο.

Μετά από την κατοχή από τους Γερμανούς (1941-1944), ο πληθυσμός του Τυμπακίου ξεκίνησε να παρουσιάζει συνεχώς αυξητικές τάσεις. Ο πληθυσμός καταγράφεται παρακάτω τόσο σε πίνακα (Πίνακας 2.1), όσο και σε γράφημα (Σχήμα 2.3).

Πίνακας 2.1 Πληθυσμός και μεταβολή ανά δεκαετία (Πηγή ΕΛΣΤΑΤ, τροποποιημένος)

Έτος	Πληθυσμός	Μεταβολή(%)
1940	2377	
1951	3477	31.64
1961	2816	-23.47
1971	3229	12.79
1981	3864	16.43
1991	5230	26.12
2001	5077	-3.01
2011	5285	3.94
2021	9202	42.57



Σχήμα 2.3: Ο πληθυσμός του Τυμπακίου και η μεταβολή του ανά δεκαετία.

2.4 Γεωμορφολογία

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά την περιοχή του Τυμπακίου, η οποία ανήκει στην λεκάνη της Μεσσαράς. Συνολικά η λεκάνη της Μεσσαράς βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ 34°55' και 35°15' Βόρεια του Ισημερινού (γεωγραφικό πλάτος) και 24°45' και 25°25' Ανατολικά του Γκρήνουιτς (γεωγραφικό μήκος) και έχει έκταση περίπου 1010 Km². Θεωρείται σχετικά αραιοκατοικημένη, αφού αποτελεί μια επαρχιακή περιοχή, κυρίως θεωρείται αγροτική, με πληθυσμιακή πυκνότητα περίπου 55 κατοίκους / Km² (Χρονοπούλου, 2019).

Η λεκάνη της Μεσσαράς είναι η πιο μεγάλη και η πιο εύφορη αγροτική περιοχή σε ολόκληρο το νησί της Κρήτης. Οι καλλιέργειες καλύπτουν το 65% της λεκάνης, ενώ αστική περιοχή της λεκάνης αποτελεί μόνο το 1,1%. Σύμφωνα με τον Corine Land Cover Map του 2000, κατά κύριο λόγο στην περιοχή αναπτύσσεται η καλλιέργεια της ελιάς και των αμπελώνων σε ποσοστά 65% και 10%, αντίστοιχα. Το υπόλοιπο τμήμα της εύφορης αυτής πεδιάδας χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια οπωροκηπευτικών, εσπεριδοειδών και λαχανικών.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της βλάστησης αποτελείται από θαμνώδη και ποώδη φυτά και έπειτα από βοσκοτόπους και λιβάδια. Το 4,5% της πεδιάδας της Μεσσαράς είναι περίπου βραχώδης, ενώ μόνο το 1% αποτελεί δασική έκταση. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης συνολικά είναι τα 445 m και η μέση κλίση είναι περίπου 23,7%. Το ανάγλυφο έχει αρκετές διακυμάνσεις με πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα (Όρος Δίκητη), έντονες κλίσεις στα ορεινά τμήματα της λεκάνης, δηλαδή στο βορειοδυτικό και στο νότιο τμήμα (όρος Ίδη και Αστερούσια όρη, αντίστοιχα), και ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στις πεδιάδες της λεκάνης (κεντρικό, νοτιοανατολικό και δυτικό τμήμα) (Χρονοπούλου, 2019).

Σχετικά με το υδρογραφικό δίκτυο της πεδιάδας της Μεσσαράς, από το πεδινό τμήμα της διέρχονται οι δυο μεγάλοι ποταμοί της περιοχής, ο Γεροπόταμος (38,4 Km) που αποστραγγίζει στην δυτική πλευρά της λεκάνης και ο Αναποδιάρης (46 Km) που αποστραγγίζει στην ανατολική πλευρά της λεκάνης. Συν τοις άλλοις, υπάρχουν και άλλοι αξιοσημείωτοι ποταμοί που διέρχονται και αποστραγγίζουν στην λεκάνη, όπως είναι ο Κουτσουλίδης (22,8 Km), ο Ληθαίος (17,1 Km), ο Βαρύτης (22,6 Km) και ο Κολοκυθάς (26,8 Km) (Κρίνης, 2009).

Η περιοχή του Τυμπακίου βρίσκεται στο υψόμετρο των 200 m πάνω από την στάθμη της θάλασσας και σε απόσταση μόλις περίπου 2,5 Km από την ακτογραμμή. Είναι ένα σημαντικό τμήμα της πεδιάδας της Μεσσαράς, καθώς σε αυτήν αναπτύσσεται σημαντικά η καλλιέργεια σε θερμοκήπια, δηλαδή οπωροκηπευτικών προϊόντων καθώς υπάρχει και αυξημένη η καλλιέργεια της ελιάς.

2.5 Κλιματικά Στοιχεία

Όπως είναι γνωστό υπάρχουν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι για να γίνει μια ταξινόμηση, πόσο μάλλον μια κλιματική ταξινόμηση. Για την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση κατά Köppen, καθώς είναι μια μέθοδος αρκετά απλή, εύχρηστη, ικανοποιητική και αποδεκτή από την πλειοψηφία των κλιματολόγων.

Η ταξινόμηση κατά Köppen ορίζει πέντε κατηγορίες γενικών κλιματικών τύπων. Οι κλιματικοί αυτοί τύποι βασίζονται στις παρακάτω φυτικές διαπλάσεις της γης:

- Τον ισημερινό – τροπικό δάσος
- Την σαβάνα και την στέπα
- Την έρημο
- Τα δάση των κωνοφόρων και των φυλλοβόλων
- Την τούντρα

Επιπλέον, ο Köppen χρησιμοποιεί τρεις ομάδες συμβόλων – γραμμάτων για να περιγράψει την ταξινόμηση των κλιμάτων (Μπαλαφούτης, 2003).

Για την συγγραφή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία συλλέχτηκαν από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς. Ο πρώτος σταθμός που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτός του Στρατιωτικού Αεροδρομίου Τυμπακίου που λειτουργεί υπό την εποπτεία της ΕΜΥ. Ο σταθμός αυτός έχει υψόμετρο +2 m και οι συντεταγμένες που μας δίνουν την ακριβή τοποθεσία του είναι οι εξής: 35° 03' 48,74'' N και 24° 45' 57,23'' E. Από τον σταθμό αυτόν συλλέχτηκαν τα δεδομένα για την βροχόπτωση και για την θερμοκρασία από το 1991 έως το 2011. Ο δεύτερος σταθμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο μετεωρολογικός σταθμός της Πόμπιας, βρίσκεται σε απόσταση περίπου 15 Km μακριά από τον σταθμό του Τυμπακίου, από τον οποίο συλλέχτηκαν 10 μηνιαίες μετρήσεις που έλειπαν από τα στοιχεία του προηγούμενου σταθμού. Από αυτές τις μετρήσεις οι 6 αφορούν την θερμοκρασία για

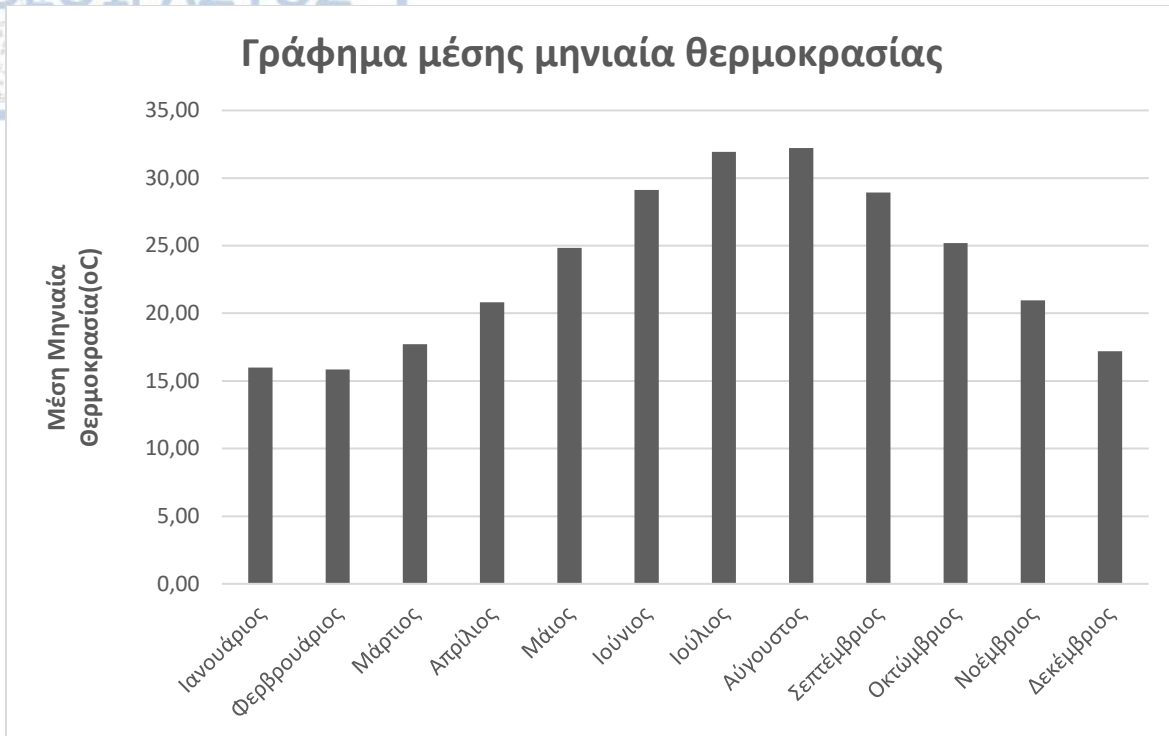
τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο του 1991, Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 1993 και Ιούλιο, Αύγουστο του 1995. Οι άλλες 4 μετρήσεις αφορούν τα βροχομετρικά στοιχεία του Οκτωβρίου, Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου του 1993, καθώς και τον Μάρτιο του 2001.

Όπως φαίνεται από τα δεδομένα μας ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με θερμοκρασία 32.22 °C και ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Φεβρουάριος με θερμοκρασία 15.84 °C. Αφού η θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι πάνω από 18 °C και η θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα είναι μεταξύ 0 °C και 18 °C, το πρώτο πράγμα που χαρακτηρίζει το κλίμα είναι το C. Επιπλέον, ο ξηρότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με μέσο όρο κατακρημνισμάτων 0.07 mm, ενώ ο πιο υγρός μήνας είναι ο Δεκέμβριος με μέσο όρο κατακρημνισμάτων 102.14mm. Το δεύτερο γράμμα που χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής είναι το s αφού τα κατακρημνίσματα του ξηρότερου μήνα είναι λιγότερα από 30 mm. Τέλος, επειδή ο θερμότερος μήνας έχει μέση θερμοκρασία πάνω από 22 °C, το τρίτο και τελευταίο γράμμα που χαρακτηρίζει το κλίμα είναι το a. Επομένως, το κλίμα κατά Köppen χαρακτηρίζεται ως Csa, δηλαδή ως Μεσογειακό κλίμα ενδοχώρας με ήπιους χειμώνες και ξηρά και πολύ ζεστά καλοκαίρια.

Παρακάτω, στα Σχήματα 2.4 έως 2.7 παρουσιάζονται όλα τα βροχομετρικά και τα θερμοκρασιακά δεδομένα.



Σχήμα 2.4: Ετήσια διακύμανση θερμοκρασίας (σταθμός Τυμπακίου).



Σχήμα 2.5: Μηνιαία διακύμανση θερμοκρασίας(σταθμός Τυμπακίου).



Σχήμα 2.6:Ετήσια διακύμανση βροχόπτωσης (σταθμός Τυμπακίου).



Σχήμα 2.7: Μηνιαία διακύμανση βροχόπτωσης (σταθμός Τυμπακίου).

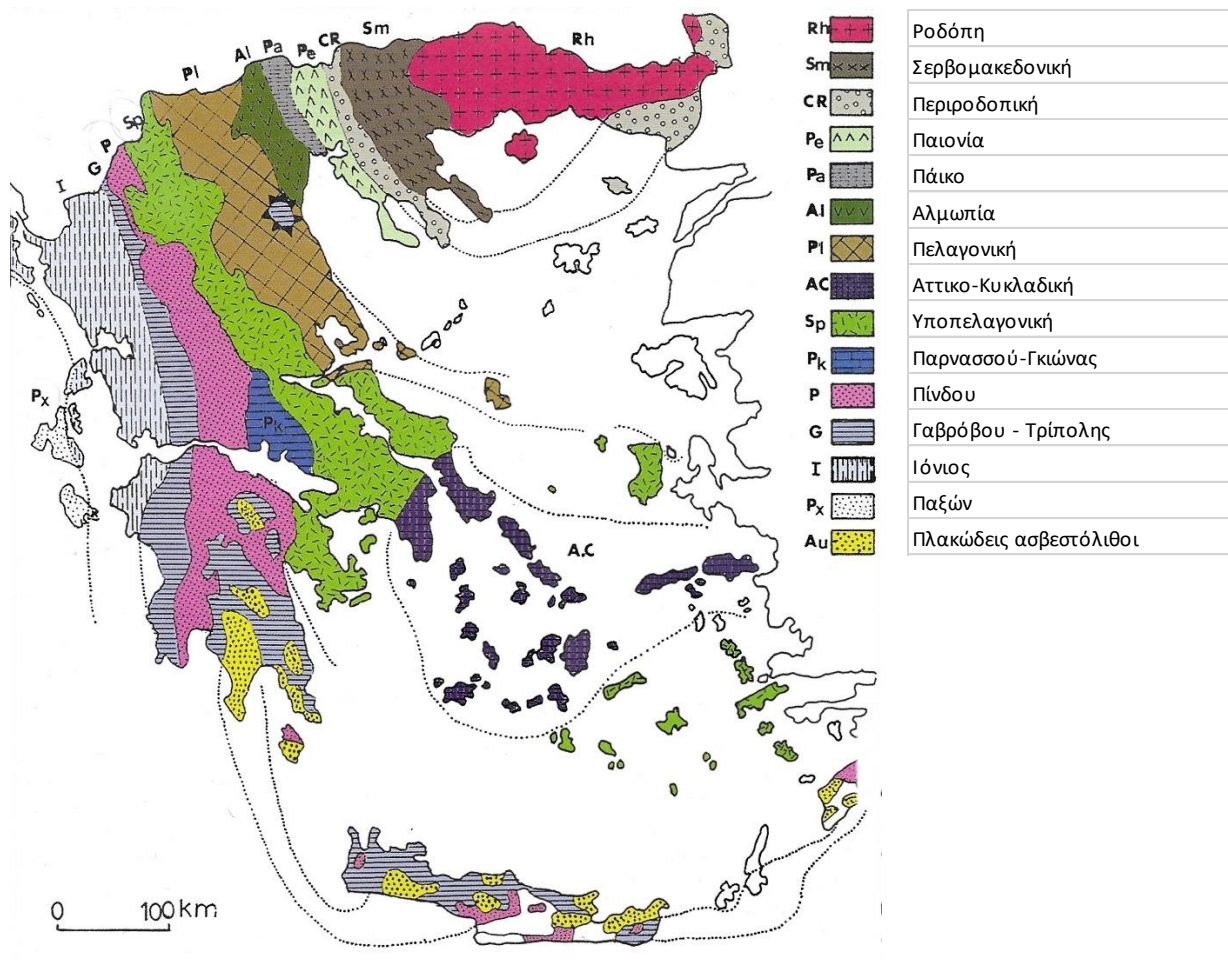
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

3. Γεωλογία Περιοχής

Α.Π.Θ.

3.1 Γεωτεκτονικές Ζώνες

Η λιθολογία της Γης αποτελείται από ορισμένες μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες και μερικές μικρότερες, οι οποίες κινούνται, αποκλίνουν, συγκλίνουν, υποβυθίζονται, συγκρούονται και δημιουργούν τις μεγάλες και τις μικρές οροσειρές στην επιφάνεια της Γης. Για να μπορέσουμε να συνδυάσουμε όλες αυτές τις αλλαγές καθώς και τα διαφορετικά πετρώματα χωρίσαμε τις λιθοσφαιρικές πλάκες σε μικρότερες γεωτεκτονικές ζώνες ανάλογα με την ηλικία τους, την λιθολογία τους καθώς και τις επιδράσεις που έχει δεχθεί η κάθε μια. Έτσι, η κάθε ζώνη είναι συνέχεια κάποιας άλλης εφόσον έχει δεχθεί κάποια διαφορετική επίδραση κάποια άλλη χρονική στιγμή. Η Ελλάδα, με βάση τα πιο πρόσφατα στοιχεία, χωρίζεται σε δώδεκα γεωτεκτονικές ζώνες (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Οι Γεωτεκτονικές Ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 2010) (τροποποιημένος).

3.2 Γεωλογική δομή λεκάνης Μεσσαράς

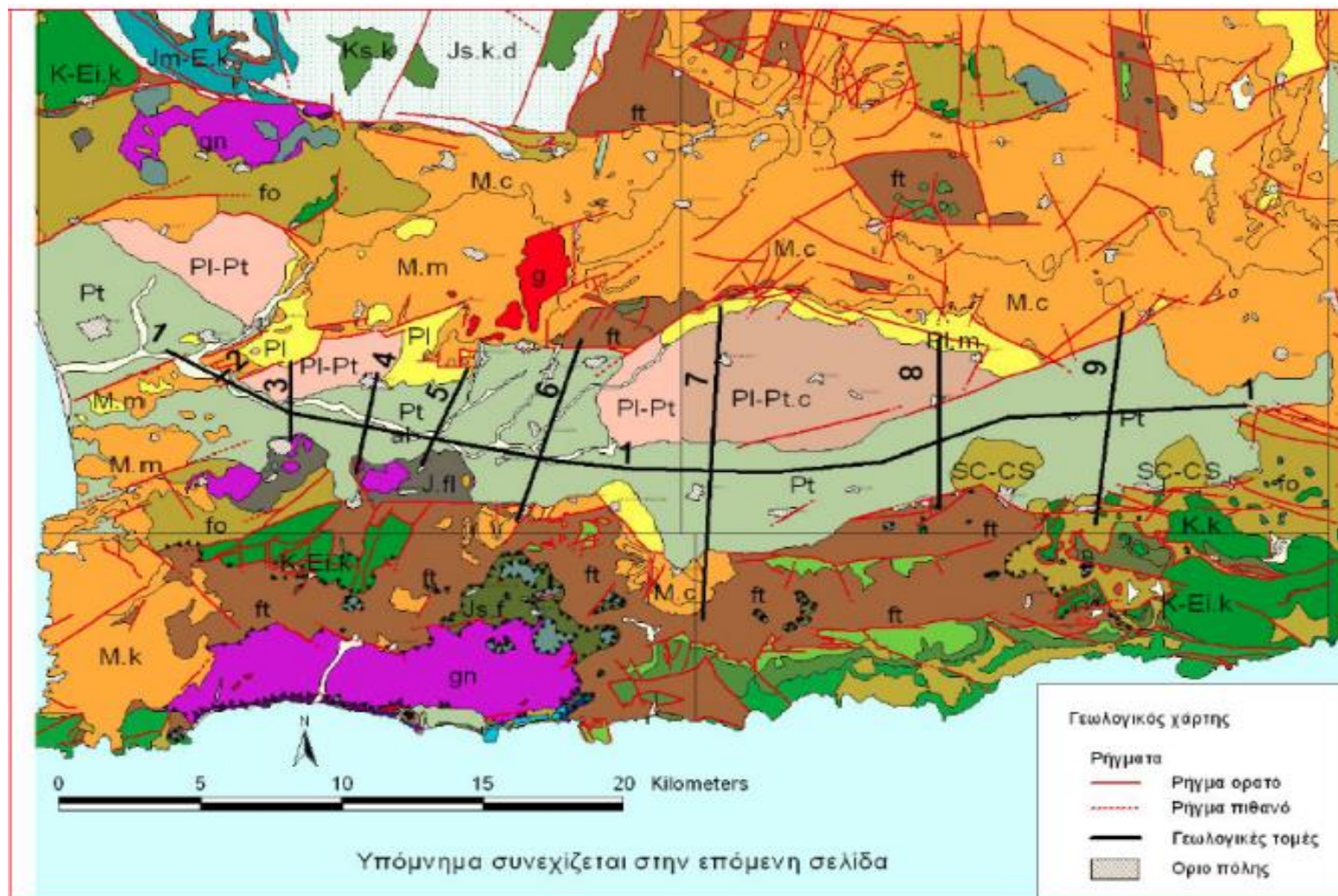
Όπως είναι γνωστό, η Κρήτη αποτελείται από μια πολύ περίπλοκη γεωλογική δομή καθώς αποτελείται από αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα και αρκετές λεπιώσεις, τα οποία αλλάζουν ανά τακτά διαστήματα ανάλογα με την περιοχή.

Συγκεκριμένα, η λεκάνη της Μεσσαράς εκτείνεται κατά διεύθυνση Α – Δ και αποτελεί το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου. Η λεκάνη αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια τεκτονική τάφρο, η οποία ορίζεται στα ανατολικά από τα ρήγματα Καστελίου, Χερσονήσου και Ξενιακού και στα νότια από το ρήγμα των Αστερουσίων ορέων καθώς και στα δυτικά από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου, Καμαρών, Γέργερης. Σε δυο επιμέρους τεκτονικές ενότητες μπορεί να χωριστεί η διαιρεθεί η λεκάνη αυτή, μία που περιλαμβάνει τους τεταρτογενείς και τους νεογενείς σχηματισμούς και άλλη μια που περιλαμβάνει τους προνεογενείς σχηματισμούς των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι οποίες μάλιστα καταλαμβάνουν και τα όρια της λεκάνης της Μεσσαράς. Σύμφωνα με τη γεωλογική δομή η λεκάνη της Μεσσαράς αποτελείται από τις ακόλουθες στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες, από τη νεότερη έως την παλαιότερη (Κριτσωτάκης, 2009):

- Ολόκαινο: αλλουβιακές αποθέσεις, δηλαδή προϊόντα αποσάθρωσης (αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή με κροκαλοατύπες), που καλύπτουν το εσωτερικό μικρών λεκανών αλλά και τις κοίτες των υδρορεμάτων. Επιπλέον, οι κώνοι κορημάτων και τα πλευρικά κορήματα αναπτύσσονται κυρίως στις παρυφές των Αστερουσίων.
- Πλειστόκαινο – Ολόκαινο: αποτελούνται κυρίως από υλικά τα οποία έχουν μεταφερθεί όπως είναι τα κροκαλοπαγή, οι υλιόλιθοι, τα αργιλικά στρώματα και τα ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, καλύπτοντας έτσι το κεντρικό, κυρίως, πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς.
- Ανώτερο Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο: σε αυτή την χρονολογία, χρονολογείται ο σχηματισμός Αγίας Γαλήνης ο οποίος αποτελείται από ερυθρές και κίτρινες άμμους, αργίλους καθώς και από ερυθρά κροκαλοπαγή με παρεμβολές λιμναίων μαργαϊκών ασβεστολίθων.

- Νεογενές:

- Κατώτερο Πλειόκαινο: σχηματισμός Φοινικιάς που αποτελείται από λευκές μάργες με παρεμβολές αργίλων και άμμων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγή.
- Ανώτερο Τορτόνιο – Μεσσήνιο: ο σχηματισμός της Αγίας Βαρβάρας αποτελείται από ασβεστόλιθους βιοκλαστικούς, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς και εναλλαγές ασβεστιτικών μαργών ή μαργαϊκών ασβεστολίθων. Επιπλέον, στο πάνω μέρος του σχηματισμού αυτού βρέθηκαν κροκαλοπαγή και ψαμμίτες.
- Τορτόνιο: σχηματισμός Αμπελούζου, ο οποίος αποτελείται από ακανόνιστες εναλλαγές θαλάσσιων, ποτάμιων και υφάλμυρων κροκαλοπαγών, ιλυολίθων, ψαμμιτών, λιγνιτών και μαργών.
- Ανώτερο Σερβάλιο: σχηματισμός Σκινιά, αποτελούμενος από στρωμένους αργίλους, οι οποίες παρεμβάλλονται από ψαμμίτες.
- Μέσο Μειόκαινο: Ο σχηματισμός Βιάννου αποτελείται από σκούρες στρωματώδεις αργίλους με ενδιάμεσες παρεμβολές ψαμμιτών και ασβεστολίθων. Επιπλέον, παρατηρούνται παρεμβολές κροκαλοπαγών στα ανώτερα στρώματα του σχηματισμού αυτού.
- Προνεογενείς σχηματισμοί:
 - Βορειοδυτικό τμήμα: Ο Ψηλορείτης αποτελείται από μεσοζωικά πετρώματα της ενότητας Τρίπολης, δηλαδή ασβεστόλιθο και φλύσχη, πετρώματα από την ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών αλλά και πετρώματα του αυτόχθονου συστήματος με πλακώδεις ασβεστόλιθους και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους της Ιόνιας Ζώνης. Επιπλέον, διακρίνονται και λατύπες, πλευρικά κορήματα στα χαμηλότερα υψόμετρα.
 - Νότιο τμήμα: Αστερούσια όρη, αποτελούμενα από Μεσοζωικά πετρώματα με βασικούς σχηματισμούς τα ανθρακικά πετρώματα καθώς και τον φλύσχη από την ζώνη Τρίπολης. Επίσης, παρατηρούνται και κάποιες επιφανειακές εμφανίσεις από ελαφρά καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους της ζώνης Πίνδου.



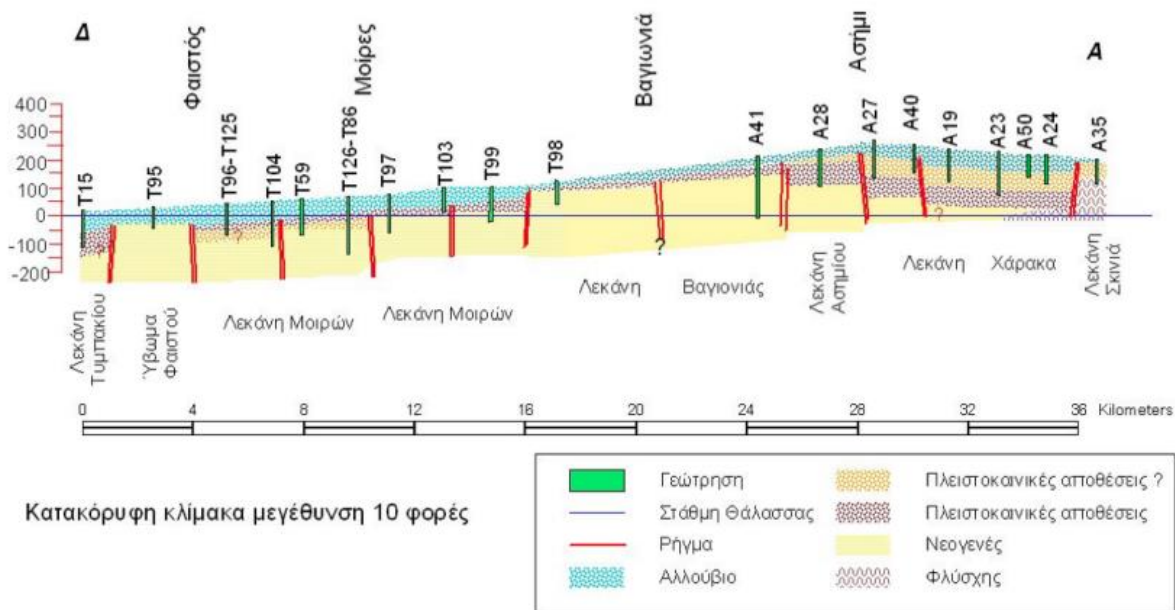
Σχήμα 3.2: Γεωλογικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς (Κριτσωτάκης, 2009).

Πίνακας 3.1: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη λεκάνης Μεσσαράς. (Κριτσωτάκης, 2009).

Απόσπασμα υπομνήματος γεωλογικού χάρτη	
	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ
cd	Παράκτιες αποθέσεις.
al	Αλλουβιακές αποθέσεις.
SC-CS	Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων.
Pt	Πλειστόκαινο αδιαίρετο (κροκαλοατυποπαγή, άμμοι, μάργες, ψαμμίτες, άργιλοι, βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι)
	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ - ΝΕΟΓΕΝΕΣ
PI-Pt	Κυρίως μάργες, αλλά και άμμοι, κροκαλοπαγή κλπ.
PI-Pl.c	Σχηματισμός Αγ. Γαλήνης. Κροκαλοπαγή, άμμοι, ιλυόλιθοι, άργιλοι.
	ΝΕΟΓΕΝΕΣ
PI	Πλειοκαινικές αποθέσεις. Κατά θέσεις επικράτηση των μαργών (m), των μαργαϊκών ασβεστολίθων (k) και των κροκαλοπαγών (c).
M	Μειοκαινικές αποθέσεις. Κατά θέσεις επικράτηση των μαργών (m), των μαργαϊκών ασβεστολίθων (k) και των κροκαλοπαγών (c).
M.br	Λατυποκροκαλοπαγή Τοπολίων (Μειόκαινο)
	ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
o	Οφιόλιθοι. Σερπεντινίτες, περιδοίτες, διαβάσες, διορίτες και αμφιβολίτες.
	ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ
gn	Γνεύσοι αμφιβολίτες και χαλαζίτες με ενδιστρώσεις μαρμάρων.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ
fo	Φλύσχος.
K-Ei.k	Ασβεστόλιθοι πλακώδεις, με κονδύλους και ενστρώσεις πυριτολίθων και λεπτές ενστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΖΩΝΗΣ ΤΡΙΠΟΛΗΣ
ft	Φλύσχος.
E.k, P-E.k, Ks-E.k, Ks.k, Js-K.k,d, Js.k, T-E.k,d, T-Js.k, T.d	Ασβεστόλιθοι (k) και δολομίτες (d).
T.sch	Ασβεστικοί μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι σε εναλλαγές με λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΥΛΛΙΤΩΝ - ΧΑΛΑΖΙΤΩΝ
Ph	Φυλλίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι.
	ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΟΜΑΛΟΥ - ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ
Ts-Ji.mr,d	Ανθρακικά Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, δολομίτες.
	ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ - ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ
E.fi	Ασβεστικοί σχιστόλιθοι με λεπτές ενδιστρώσεις ψαμμιτών και κρυσταλλικών ασβεστολίθων.
Jm-E.k	Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk), ανακρυσταλλωμένοι, κατά θέσεις μάρμαρα.
J.sch	Σχιστόλιθοι, ανθρακικοί, χαλαζικοί, αργιικοί.
Ts-Ji.k,d	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες με λεπτές φυλλικές διαστρώσεις και οριζόντες συνεκτικών λατυποπαγών.
g	Γύψος.

Παρακάτω ακολουθεί μία απεικόνιση μίας νοητής επιμήκης οριζόντιας γεωλογικής τομής της πεδιάδας της λεκάνης της Μεσσαράς. Η τομή αυτή έχει διεύθυνση Α – Δ ώστε να αποσαφηνιστεί η τοποθεσία της λεκάνης του Τυμπακίου, δηλαδή της περιοχής μελέτης.

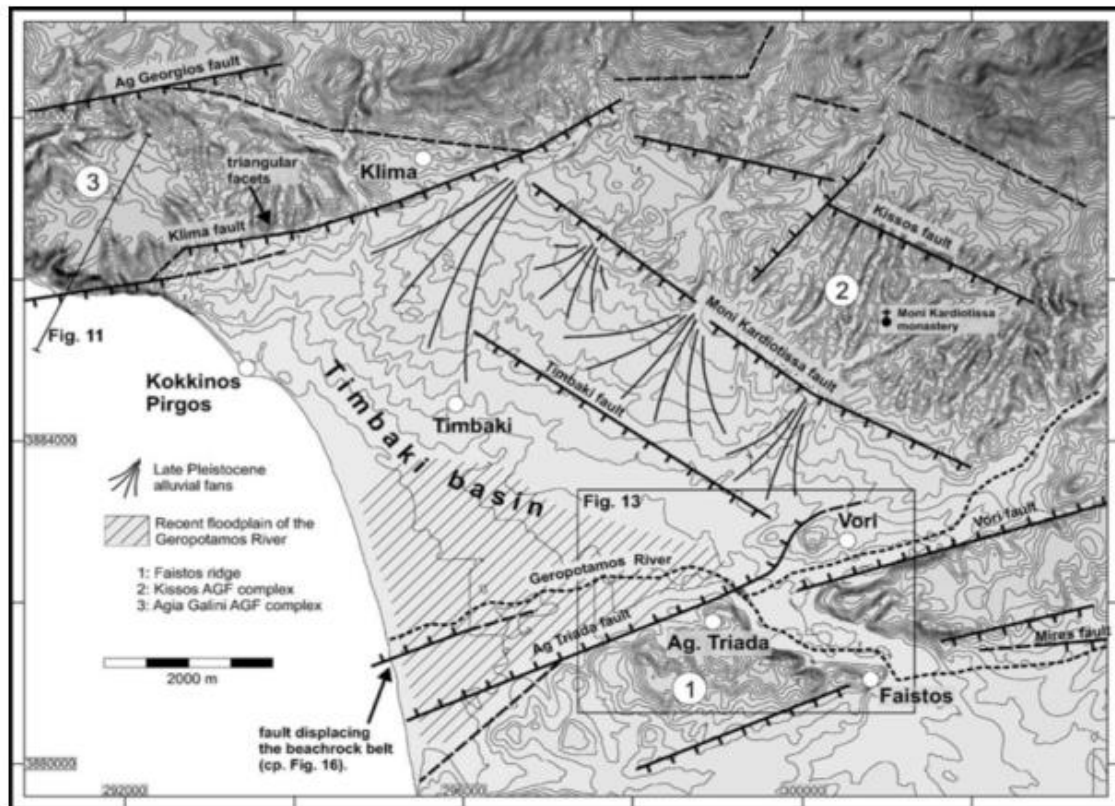
Με βάση την τομή που παρατηρούμε στο σχήμα 3.4, βλέπουμε ότι η λεκάνη είναι μια σύνθετη αλληλουχία από τεμάχια ρηγμάτων Νεογενούς / Μεσοζωϊκού υποβάθρου. Τα ρηξιτεμάχια ονομάζονται ως εξής (από τα ανατολικά προς τα δυτικά): λεκάνη Τυμπακίου, λεκάνη Μοιρών, λεκάνη Βαγιονίας, λεκάνη Ασημίου, λεκάνη Χάρακα και λεκάνη Σκινιά. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε, υπάρχει μια καθίζηση του ρήγματος της λεκάνης της Βαγιονίας, το οποίο όσο πάει αυξάνεται στα δυτικά και στα ανατολικά στις λεκάνες των Μοιρών και του Ασημίου – Χάρακα, αντίστοιχα. Στα δυτικά, η ανύψωση του υβώματος της Φαιστού απομονώνει την αλλουβιακή / πλειο – πλειστοκαινική λεκάνη του πεδινού τμήματος της Μεσσαράς από την παράκτια λεκάνη του Τυμπακίου. Οι δύο λεκάνες συνδέονται υδραυλικά μέσω αλλουβιακών και πλειστοκαινικών στρωμάτων εκεί που στενεύει η Φαιστός. Με τον ίδιο τρόπο σχηματίστηκε και η αλλουβιακή / πλειστοκαινική λεκάνη του Ασημίου – Χάρακα, καθώς στα δυτικά παρατηρείται ανύψωση του νεογενούς υποβάθρου της λεκάνης του Σκινιά και του προνεογενούς (φλύσχη) του. (Γιαννακάκος, 2013).



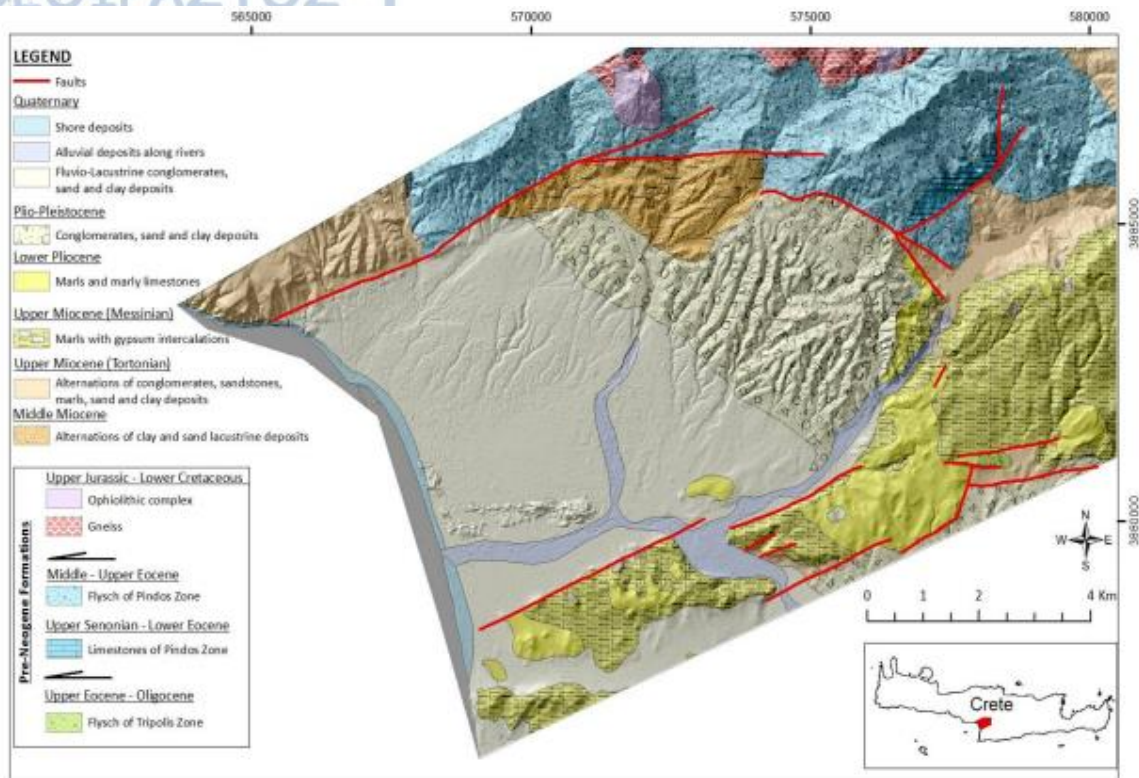
Σχήμα 3.4: Γεωλογική τομή Α-Δ (Κριτσωτάκης, 2009)

3.3 Λεκάνη Τυμπακίου

Η λεκάνη του Τυμπακίου οριοθετείται από τέσσερα διαφορετικά ρήγματα, ένα στα ΝΔ το ρήγμα της Αγ. Τριάδας, ένα στα ΝΑ το ρήγμα Βόρης, ένα στον Βορρά με τα ρήγμα του Κλίματος, καθώς και ένα στα Α/κά, το οποίο ονομάζεται ρήγμα Κισσού. Επιπλέον, οριοθετείται και από την ακτογραμμή που βρίσκεται στα Δυτικά. Στην συνέχεια, στα διαγράμματα 3.5, 3.6 και 3.7 παρουσιάζονται η τοπογραφία της περιοχής μελέτης, οι γεωλογικές συνθήκες και η τεκτονική εξέλιξη αντίστοιχα.



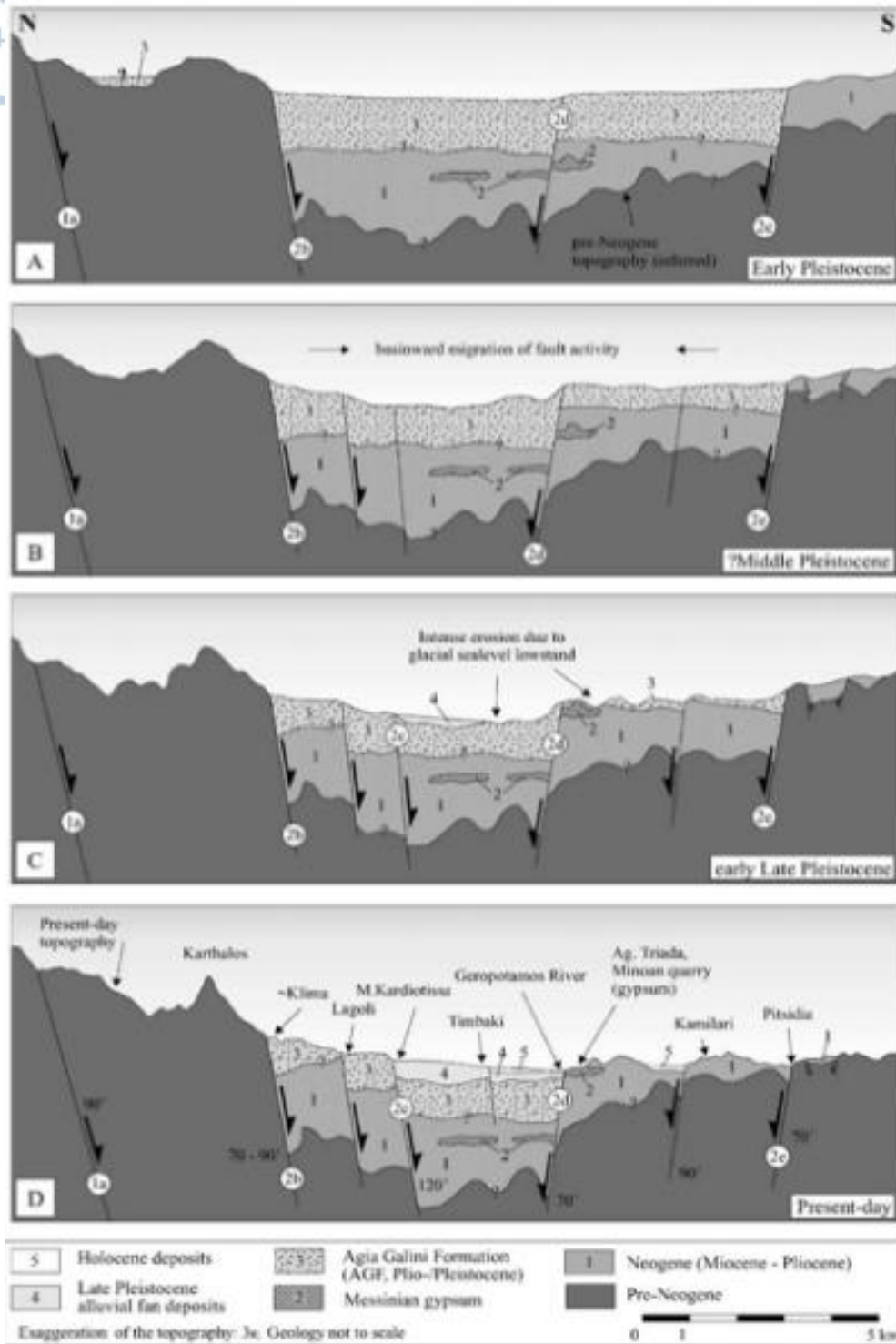
Σχήμα 3.5: Τοπογραφικός χάρτης λεκάνης Τυμπακίου, με ισοϋψείς των 10m (Peterek, A. & Schwarze, J., 2004).



Σχήμα 3.6: Γεωλογικός Χάρτης του Τυμπακίου, κλίμακας 1:50000 (Γιαννακάκος, 2013).

Όπως παρατηρείται και στον παραπάνω γεωλογικό χάρτη, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται είναι οι εξής (από τα ανώτερα προς τα κατώτερα βάθη):

- Παράκτια ιζήματα – αποθέσεις του Ολόκαινου (Τεταρτογενές) που αποτελούνται από άμμους η οποία έχει συγκολληθεί με κροκάλες και ψαμμίτες.
- Πλειοκαινικοί – Πλειστοκαινικοί άμμοι, άργιλοι και κροκαλοπαγή.
- Θαλάσσια ιζήματα, ηλικίας Κάτω Πλειόκαινου, που αποτελούνται από λευκές μάργες και λευκούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, άμμους, κροκαλοπαγή, καστανωπές φυλλώδεις και στα ανώτερα μέρη κλαστικούς ασβεστόλιθους.
- Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο, ο σχηματισμός Αποστόλων του Μεσσηνίου, ο οποίος περιλαμβάνει κυανές, τεφρές και θαλάσσιες μάργες, με κροκαλοπαγή βάσης, ψαμμίτες και άμμους, πλούσιος σε ασβεστόλιθους.
- Κατά το Τορτόνιο (Ανώτερο Μειόκαινο) παρατηρήθηκε ακανόνιστη εναλλαγή υφάλμυρων και γλυκών υδάτων, καθώς και ενστρώσεις από υφαλογενή ασβεστόλιθο. Επιπλέον, υπάρχει εμφάνιση κροκαλοπαγούς, άμμους, λιγνίτης, ψαμμίτης, αργίλου και ασβεστόλιθους με μαλάκια γλυκού νερού και υπολείμματα φυτών.
- Λατυποπαγή, θαλάσσιες και λιμναίες αποθέσεις του Μέσο – Άνω Μειόκαινου.



Σχήμα 3.7: Τεκτονική εξέλιξη της λεκάνης του Τυμπακίου από το Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα.

4. Υδατικές Ανάγκες

4.1 Υδρευση με βάση τον πληθυσμό

Στις μέρες μας, το υπόγειο νερό αποτελεί την κύρια πηγή για πόση και οικιακή χρήση σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, λόγω των πλεονεκτημάτων. Γενικά, στην Ελλάδα περίπου το 63% του πληθυσμού της καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες του με υπόγειο νερό, ενώ το μέσο ποσοστό στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι 70%. Για να υπολογιστούν οι υδρευτικές ανάγκες μίας περιοχής πολλαπλασιάζεται ο πληθυσμός με την ημερήσια κατανάλωση κατά άτομο. Για την ορθολογική χρήση του νερού στην ύδρευση έχει καθοριστεί μία Κοινή Υπουργική Απόφαση Δ11/Φ16/8600/1991 (ΦΕΚ Β'174) κατά την οποία τα όρια για ύδρευση με συλλογικά δίκτυα είναι 100-250 Lt/ άτομο/ ημέρα. Τέλος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι απώλειες των δικτύων κάθε περιοχής, ο τουρισμός και άλλα (Βουδούρης Κ. , 2015).

4.1.1 Πρόβλεψη πληθυσμού

Η εκτίμηση των υδρευτικών αναγκών γίνεται με βάση τον πληθυσμό μιας περιοχής και την ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο (Βουδούρης Κ. , 2015). Για την καλύτερη προσέγγιση των αναγκών αυτών πρέπει πρώτα να γίνει σωστή πρόβλεψη πληθυσμού για τα επόμενα 10-20 χρόνια από τώρα. Για την πρόβλεψη του πληθυσμού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την αριθμητική αύξηση, την γεωμετρική αύξηση, την μέθοδο του ανατοκισμού καθώς και τον νόμο του Malthus με βάση τα στοιχεία που έχουμε ήδη για τα έτη 2011 και 2021.

- Για το 2031

➤ Με αριθμητική μέθοδο

$$\begin{aligned} \Pi_m &= \frac{tm - t_2}{t_2 - t_1} \times (\Pi_2 - \Pi_1) + \Pi_2 \\ \Pi_{2031} &= \frac{2031 - 2021}{2021 - 2011} \times (9202 - 5285) + 9202 \\ \Pi_{2031} &= \frac{10}{10} \times 3917 + 9202 \\ \Pi_{2031} &= 13119 \end{aligned}$$

➤ Με γεωμετρική αύξηση

$$\log(\Pi_m) = \frac{tm - t_2}{t_2 - t_1} \times \log\left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1}\right) + \log \Pi_2$$

$$\log(2031) = \frac{2031 - 2021}{2021 - 2011} \times \log\left(\frac{9202}{5285}\right) + \log 9202$$

$$\log(\Pi 2031) = \frac{10}{10} \times \log(1,7411) + \log 9202$$

$$\log(\Pi 2031) = 1 \times \log(1,7411 \times 9202)$$

$$\log(\Pi 2031) = \log(16022)$$

$$\Pi 2031 = 16022$$

➤ **Με ανατοκισμό**

$$\Pi t = \Pi 2 \times (1 + \alpha)^t$$

$$\text{όπου } \alpha = \left(\frac{\Pi 2}{\Pi 1}\right)^{\frac{1}{\Delta t}} - 1 = \left(\frac{9202}{5285}\right)^{\frac{1}{10}} - 1 = 0,057021263$$

$$\text{Άρα } \Pi 2031 = 9202 \times (1 + 0,057021263)^{10} = 16022$$

➤ **Με νόμο Malthus**

$$\Pi t = \Pi 2 \times e^{kt}$$

$$\text{όπου } k = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{\Pi 2}{\Pi 1} = \frac{1}{2021 - 2011} \times \ln \frac{9202}{5285} = 0,055454823$$

$$\text{Άρα } \Pi 2031 = 9202 \times e^{0,055454823 \times 10} = 9202 \times e^{0,055454823} = 16022$$

Όπως παρατηρείται, και με τις τέσσερις μεθόδους, ο πληθυσμός για το 2031 θα είναι περίπου 15296.

- Για το 2041

➤ **Με αριθμητική μέθοδο**

$$\Pi m = \frac{tm - t_2}{t_2 - t_1} \times (\Pi 2 - \Pi 1) + \Pi 2$$

$$\Pi 2041 = \frac{2041 - 2021}{2021 - 2011} \times (9202 - 5285) + 9202$$

$$\Pi 2041 = \frac{20}{10} \times 3917 + 9202$$

$$\Pi 2041 = 17036$$

➤ **Με γεωμετρική αύξηση**

$$\log(\Pi m) = \frac{tm - t_2}{t_2 - t_1} \times \log\left(\frac{\Pi 2}{\Pi 1}\right) + \log \Pi 2$$

$$\log(2041) = \frac{2041 - 2021}{2021 - 2011} \times \log\left(\frac{9202}{5285}\right) + \log 9202$$

$$\log(\Pi 2041) = \frac{20}{10} \times \log(1,74115421) + \log 9202$$

$$\log(\Pi 2041) = \log 3,031617983 + \log 9202$$

$$\log(\Pi 2041) = \log 27897$$

$$\Pi 2041 = 27897$$

➤ **Με ανατοκισμό**

$$\Pi t = \Pi 2 \times (1 + \alpha)^t$$

$$\text{όπου } \alpha = \left(\frac{\Pi 2}{\Pi 1}\right)^{\frac{1}{\Delta t}} - 1 = \left(\frac{9202}{5285}\right)^{\frac{1}{10}} - 1 = 0,057021263$$

$$\text{Άρα } \Pi 2041 = 5285 \times (1 + 0,057021263)^{20} = 27897$$

➤ **Με νόμο Malthus**

$$\Pi t = \Pi 2 \times e^{kt}$$

$$\text{όπου } k = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \frac{\Pi 2}{\Pi 1} = \frac{1}{2021 - 2011} \times \ln \frac{9202}{5285} = 0,055454823$$

$$\text{Άρα } \Pi 2041 = 9202 \times e^{0,055454823 \times 20} = 9202 \times e^{1,10909646} = 27897$$

Όπως παρατηρείται, και με τις τέσσερις μεθόδους, ο πληθυσμός για το 2041 θα είναι περίπου 25.182 κάτοικοι.

4.1.2 Υπολογισμός υδρευτικών αναγκών

Η περιοχή του Τυμπακίου, είναι μια περιοχή η οποία καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες της αποκλειστικά από υπόγεια νερά. Για τον λόγο αυτό πρέπει, οι πολίτες που ζουν εκεί να είναι πολύ προσεκτικοί με τις ποσότητες νερού που χρησιμοποιούν, καθώς και οι τοπικές αρχές να κάνουν συνεχείς ελέγχους. Ένας έλεγχος που πρέπει να γίνεται είναι ο υπολογισμός των αναγκών νερού σε ύδρευση, καθώς θα πρέπει να γνωρίζουν αν οι ποσότητες νερού που αντλούνται από τις γεωτρήσεις αρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Τέλος, πρέπει να γίνεται και υπολογισμός των αρδευτικών αναγκών (Κεφάλαιο 4.2).

Για τον υπολογισμό των αναγκών ύδρευσης με βάση τον πληθυσμό πρέπει να λάβουμε υπόψιν την ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο, τις απώλειες του δικτύου καθώς και την αύξηση της ζήτησης του νερού κατά τους τουριστικούς μήνες, όπως είχαν ήδη προαναφερθεί. Για την παρούσα εργασία η ημερήσια κατανάλωση ανέρχεται στα 200 Lt/ημέρα/κάτοικο, η απώλεια δικτύου θα επιφέρει μία αύξηση των 20% και η τουριστική περίοδος θα είναι από τον Μάιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο με την ζήτηση σε νερό να

διπλασιάζεται. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4.1 & 4.2) παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για τις υδρευτικές ανάγκες για το 2031 και το 2041 με βάση τα στοιχεία από την πρόβλεψη του πληθυσμού.

Πίνακας 4.1: Πρόβλεψη υδρευτικών αναγκών για το 2031.

Έτος	2031
Πληθυσμός	15296
Ημερήσιες υδρευτικές ανάγκες (200L/ημέρα)	$15296 \cdot 200(\text{L}/\text{ημέρα}) = 3059200\text{L}/\text{ημέρα} = 3059,2\text{m}^3$
Υδρευτικές ανάγκες κατά την τουριστική περίοδο (153 ημέρες, συντ. αιχμής 2)	$3059,2\text{m}^3 \cdot 153 \text{ ημέρες} \cdot 2 = 936115,2 \text{ m}^3/153\text{ημέρες}$
Υδρευτικές ανάγκες τους υπόλοιπους μήνες (212 ημέρες)	$3059,2 \text{ m}^3 \cdot 212 \text{ ημέρες} = 648550,4 \text{ m}^3/212 \text{ ημέρες}$
Απώλειες δικτύου (20%)	$(936115,2 + 648550,4) \cdot 0,2 = 316933,12 \text{ m}^3/\text{έτος}$
Συνολικές υδρευτικές ανάγκες	$936115,2 + 648550,4 + 316933,12 = 1901598,72\text{m}^3/\text{έτος}$ $= 1,90159872 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Άρα, για το 2031 οι συνολικές υδρευτικές ανάγκες αγγίζουν περίπου τα $1,90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερό ανά έτος.

Πίνακας 4.2: Πρόβλεψη υδρευτικών αναγκών για το 2041.

Έτος	2041
Πληθυσμός	25182
Ημερήσιες υδρευτικές ανάγκες (200Lt/ημέρα)	$25182 \cdot 200(\text{Lt}/\text{ημέρα}) = 5036400\text{Lt}/\text{ημέρα} = 5036,4\text{m}^3$
Υδρευτικές ανάγκες κατά την τουριστική περίοδο (153 ημέρες, συντ. αιχμής 2)	$5036,4 \text{ m}^3 \cdot 153 \text{ ημέρες} \cdot 2 = 1541138,4 \text{ m}^3/153\text{ημέρες}$
Υδρευτικές ανάγκες τους υπόλοιπους μήνες (212 ημέρες)	$5036,4 \text{ m}^3 \cdot 212 \text{ ημέρες} = 1067716,8 \text{ m}^3/212 \text{ ημέρες}$
Απώλειες δικτύου (20%)	$(1541138,4 + 1067716,8) \cdot 0,2 = 521771,04\text{m}^3/\text{έτος}$
Συνολικές υδρευτικές ανάγκες	$1541138,4 + 1067716,8 + 521771,04 = 3130626,24 \text{ m}^3/\text{έτος}$ $= 3,13062624 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Άρα, οι υδρευτικές ανάγκες κατά το 2041 υπολογίστηκαν περίπου στα $3,13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερό ανά έτος.

4.2 Αρδευτικές ανάγκες

Ο τομέας της άρδευσης καταναλώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού, το οποίο στην Ελλάδα ανέρχεται σε 86% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Σε παγκόσμιο επίπεδο το υπόγειο νερό καλύπτει το 20% των αρδευτικών αναγκών. Στην Ελλάδα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 26%, το οποίο όμως ποσοστό μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τις αρδευτικές ανάγκες. Το ποσοστό δε των αρδευτικών εκτάσεων ανέρχεται σε 32% του συνόλου αυτού και είναι κυρίως πεδινές.

Οι αρδευτικές ανάγκες υπολογίζονται με τη μέθοδο Blaney – Griddle, σύμφωνα με την οποία εκτιμάται η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (ΕΔ) σε mm με βάση τη σχέση:

$$ED = K \times (8,13 + 0,46 \times T) \times P$$

Όπου K είναι ο συντελεστής εξαρτώμενος από το είδος καλλιέργειας, T είναι η μηνιαία θερμοκρασία σε °C και P είναι το ποσοστό διάρκειας ημέρας του μήνα σε ετήσια βάση (εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος), (Βουδούρης Κ. , 2015).

Οι τιμές που λαμβάνουμε από τον παραπάνω τύπο είναι πρακτικά οι αρδευτικές ανάγκες του συγκεκριμένου είδους καλλιέργειας, το δοσμένο μήνα για μια περιοχή ορισμένου γεωγραφικού πλάτους. Για τον υπολογισμό του όγκου του αρδευτικού νερού που χρειάζεται μια περιοχή, πρέπει να γίνει αφαίρεση από την ΕΔ το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης του μήνα και η διαφορά να πολλαπλασιαστεί με την επιφάνεια που θα αρδεύσει (στρέμματα), (Βουδούρης Κ. , 2015).

Η περιοχή του Τυμπακίου, είναι μια περιοχή η οποία στηρίζεται στον πρωτογενή τομέα, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές εκτάσεις αρδευτικών περιοχών. Επιπλέον, το γεγονός ότι το κλίμα μας είναι Μεσογειακό με πολύ ξηρά καλοκαίρια, δημιουργεί επιπλέον ανάγκες για την συγκεκριμένη περιοχή. Με βάση τα στοιχεία που παραχώρησε το ΤΟΕΒ Α΄ Ζώνης Μεσσαράς σχετικά με τις καλλιέργειες και τα στρέμματα που αυτές καταλαμβάνουν μπορούμε να βρούμε εύκολα τις αρδευτικές ανάγκες του Τυμπακίου. Οι καλλιέργειες που υπάρχουν, σύμφωνα με την απογραφή του 2000, είναι κυρίως ελιές, κηπευτικά προϊόντα, ξινόδεντρα, αμπέλια, θερμοκήπια καθώς και χερσαίες καλλιέργειες.

Με βάση την Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) Φ16/6631/1989 οι καλλιέργειες των ελιών, εσπεριδοειδών καθώς και των αμπελώνων ανήκουν στην κατηγορία I με $K = 0.55$, και οι

καλλιέργειες των θερμοκηπίων και των κήπων ανήκουν στην κατηγορία VI με $K=0.70$. Επιπλέον, για την περιοχή του Τυμπακίου λαμβάνουμε ότι $\lambda=36^\circ$. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα καθώς και τα αποτελέσματα των υπολογιστών για τις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.

Πίνακας 4.3: Τιμές του συντελεστή λ για 36° γεωγραφικό πλάτος (Μπαλτάς, 2004).

Μήνες	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
λ	6,99	6,86	8,35	8,85	9,81	9,83	9,98	9,40	8,36	7,85	6,92	6,79

Πίνακας 4.4: Τιμές της μέσης βροχόπτωσης (P) και της μέσης θερμοκρασίας (T) ανά μήνα για την περιοχή του Τυμπακίου (Σταθμός Αεροδρομίου Τυμπακίου).

Μήνες	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
T	15,98	15,84	17,72	20,81	24,83	29,11	31,93	32,22	28,92	25,19	20,96	17,19
P	86,14	63,98	36,73	17,64	9,17	0,31	0,21	0,07	10,86	40,01	71,74	102,14

Πίνακας 4.4: Οι καλλιέργειες του Τυμπακίου και τα στρέμματα που καταλαμβάνουν (απογραφή 2000, ΤΟΕΒ Α' Ζώνης Μεσσαράς).

Καλλιέργειες	Στρέμματα
Ελιές	571,20
Ξινόδεντρα	160
Αμπέλι	17,80
Κήπος (λαχανικά ή φρούτα)	224,20
Θερμοκήπιο (λαχανικά ή φρούτα)	11,30

- Για την **κατηγορία I**, με συντελεστή $K=0,55$.

Μήνες	ΕΛ(mm)	Αρδευτικές Ανάγκες
Απρίλιος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 20,81) \cdot 8,85 = 86,17$	$86,17 - 17,64 = 68,53$
Μάιος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 24,83) \cdot 9,81 = 105,49$	$105,49 - 9,17 = 96,32$
Ιούνιος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 29,11) \cdot 9,83 = 116,35$	$116,35 - 0,31 = 116,04$
Ιούλιος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 31,93) \cdot 9,98 = 125,25$	$125,25 - 0,21 = 125,04$
Αύγουστος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 32,22) \cdot 9,40 = 118,66$	$118,66 - 0,07 = 118,59$
Σεπτέμβριος	$0,55 \cdot (8,13 + 0,46 \cdot 28,92) \cdot 8,36 = 98,55$	$98,55 - 10,86 = 87,69$

Άρα, οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες είναι 611.21 mm, τα οποία ισοδυναμούν με 0,61121 m. Οι συνολικές ανάγκες σε όγκο νερού για την συνολική έκταση της κατηγορίας I (749 στρέμματα) είναι : $0,61121 \text{ (m)} * 749.000 \text{ (m}^2\text{)} = 457.796,29 \text{ m}^3$. Τέλος, οι συνολικές ανάγκες σε όγκο νερού ανά στρέμμα είναι: $457796,29 \text{ m}^3 / 749 \text{ στρέμματα} = 611,21 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$.

- Για την **κατηγορία VI**, με συντελεστή $K=0,70$.

Μήνες	ΕΛ(mm)	Αρδευτικές Ανάγκες
Απρίλιος	$0,70*(8,13+0,46*20,81)*8,85=109,67$	$109,67-17,64= 92,03$
Μάιος	$0,70*(8,13+0,46*24,83)*9,81=134,26$	$134,26-9,17= 125,09$
Ιούνιος	$0,70*(8,13+0,46*29,11)*9,83=148,08$	$148,08-0,31= 147,77$
Ιούλιος	$0,70*(8,13+0,46*31,93)*9,98=159,41$	$159,41-0,21= 159,20$
Αύγουστος	$0,70*(8,13+0,46*32,22)*9,40=151,02$	$151,02-0,07= 150,95$
Σεπτέμβριος	$0,70*(8,13+0,46*28,92)*8,36=125,43$	$125,43-10,86= 114,57$

Άρα, οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες είναι 789,61 mm, τα οποία ισοδυναμούν με 0,78961 m. Οι συνολικές ανάγκες σε όγκο νερού για την συνολική έκταση της κατηγορίας VI (235,5 στρέμματα) είναι : $0,78961 \text{ (m)} * 235.500 \text{ (m}^2\text{)} = 185.953,155 \text{ m}^3$. Τέλος, οι συνολικές ανάγκες σε όγκο νερού ανά στρέμμα είναι: $185.953,155 \text{ m}^3 / 235,5 \text{ στρέμματα} = 789,61 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$.

Με βάση όλους τους παραπάνω υπολογισμούς, ο μέσος όρος αρδευτικών αναγκών για την περιοχή του Τυμπακίου υπολογίζεται ως εξής:

$$(457.796,29 \text{ m}^3 + 185.953,155 \text{ m}^3) \div (749 + 235,5 \text{ στρέμματα}) = 653,88 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}.$$

5. Υδρογεωλογία

5.1 Υδρογεωλογικές συνθήκες της νήσου Κρήτης

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις γεωλογικές, μορφολογικές και τεκτονικές συνθήκες της περιοχής. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση αλλά και στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρογεωλογικών λεκανών έχει η στρωματογραφία και η τεκτονική δομή, κυρίως δηλαδή οι εναλλαγές διαπερατών και αδιαπέραστων σχηματισμών.

Σε συνδυασμό με τους παραπάνω παράγοντες καθώς και με την υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών, η Κρήτη χωρίζεται σε τρεις κύριες υδρολογικές ενότητες:

- Των καρστικών συστημάτων
- Των πορωδών σχηματισμών στα κοκκώδη πετρώματα
- Των αδιαπέρατων πετρωμάτων

Περισσότερο ενδιαφέρουσες από υδρογεωλογικής άποψης είναι οι τρεις μεγάλες εκτάσεις ανθρακικών ενοτήτων που αναπτύχθηκαν στον Ψηλορείτη, στα Λευκά Όρη και στα όρη Δίκτη – Σελένα καθώς και στις καρστικές ενότητες της Σητείας. Αυτές οι μεγάλες εκτάσεις ανθρακικών ενοτήτων παρέχουν μεγάλο αριθμό σημαντικών πηγών στην περίμετρό τους.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που παρουσιάζει η υδρογεωλογία της Κρήτης είναι η παρουσία μεγάλων παράκτιων και υποθαλάσσιων υφάλμυρων καρστικών πηγών αλλά και μεγάλων καρστικών πηγών με υπόγειο νερό καλής ποιότητας. Τα παλαιογεωγραφικά αίτια σε συνδυασμό με την απουσία γεωλογικών φραγμών σε μεγάλες περιοχές ανθρακικών εμφανίσεων προς τη θάλασσα έχουν συντελέσει στην υφαλμύριση σημαντικών καρστικών και μη υδροφορέων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ύπαρξη φυσικών πηγών τόσο σε καρστικά συστήματα όσο και των προσχωματικών υδροφορέων σημαντικό ρόλο έχουν η ύπαρξη των ρηξιγενών ζωνών καθώς το νερό κινείται πάνω σε ρήγματα.

Διάφοροι σχηματισμοί μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη γεωλογία (τον τύπο πετρώματος) και την υδροπερατότητά τους (K-τιμές). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι K – τιμές κυμαίνονται ευρέως ακόμη και σε μια «ομοιόμορφη» περιοχή.

Τα πετρώματα μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με την υδροπερατότητα τους (Κ-τιμές):

- ο όταν $K > 1 \cdot 10^{-2}$ m/s έχουμε υψηλή υδροπερατότητα
- ο όταν $1 \cdot 10^{-2} > K > 1 \cdot 10^{-6}$ m/s έχουμε μέτρια υδροπερατότητα
- ο όταν $1 \cdot 10^{-6} > K > 1 \cdot 10^{-9}$ m/s έχουμε μικρή υδροπερατότητα και
- ο όταν $K < 1 \cdot 10^{-9}$ θεωρούνται πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί.

Παρακάτω στον Πίνακα 5.1 δίνονται οι πιο συχνές μέσες τιμές καθώς και το εύρος διακύμανσης των τιμών Κ, όπως έχει χρησιμοποιηθεί στις διάφορες υδρογεωλογικές μελέτες. Επίσης στον Πίνακα 5.2 φαίνεται η κατάταξη των διαφόρων σχηματισμών και το εύρος των συντελεστών κατείσδυσης.

Πίνακας 5.1: Εύρος τιμών υδροπερατότητας διαφόρων πετρωμάτων (Κριτωτάκης, 2009).

Hydraulic conductivity [m · s ⁻¹]	Rocktype ΠΕΤΡΩΜΑ		
	unconsolidated rocks	hard sedimentary rocks	igneous and metamorphic rocks
1		<i>karstified</i> ΚΑΡΣΤΙΣΤΟΡΧΗΜΕΝΟΙ	
10 ⁻¹	gravel ΚΑΛΑΜΕΣ		lava ΛΑΒΑ
10 ⁻²	coarse ΧΟΝΤΡΟΚΟΚΚΟ		
10 ⁻³	sand ΑΜΜΟΣ	limestone ΑΙΣΘΕΤΩΜΑΤΑ	
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	fine ΠΕΤΤΟΚΟΚΚΟ loess		fissured ΡΟΓΜΩΔΗ
10 ⁻⁶		fissured ΡΟΓΜΩΔΗ	
10 ⁻⁷			sandstone ΨΑΜΜΙΤΗΣ
10 ⁻⁸	moraine,	compact ΣΥΜΠΛΗ	
10 ⁻⁹	clayey drift deposits		basalt ΒΑΣΑΛΤΗΣ
10 ⁻¹⁰			granite, gneiss, metamorphic rocks
10 ⁻¹¹		slate	ΓΡΑΝΙΤΗΣ, ΓΝΕΙΣΣΕΣ, ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ
10 ⁻¹²	clay ΑΡΤΥΩΣ	shale ΣΚΙΣΤΩΜΑΤΑ	
10 ⁻¹³			compact

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ
ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Καρστικοί σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1)	50% – 55%
Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (Κ3)	55%
Καρστικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Κ2)	40% – 45%
ΠΟΡΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (Π1)	20%
Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (Π2).	25%
Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Π3)	10%
ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (Α1)	5%
Πρακτικά αδιαπέρατοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (Α2)	5%-8%

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην Κρήτη μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την υδρολιθολογική τους συμπεριφορά ως εξής:

Α) Καρστικοί σχηματισμοί

Η κυκλοφορία του νερού σε αυτούς τους σχηματισμούς γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους, δηλαδή μέσω ρωγμών και από καρστικών κενών.

Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας (Κ1): μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας, δολομίτες, ασβεστόλιθοι και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι. Επιπλέον, μπορούν να συμπεριληφθούν οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης, τα ανθρακικά Τρυπαλίου, οι Τριαδικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου Ζώνης. Τέλος, στο σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω, αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφορείς υψηλού δυναμικού που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.

Μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (K2): ασβεστόλιθοι μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Σε αυτή την υποκατηγορία κατατάσσονται οι κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι Ιουρασικής – Ηωκαινικής ηλικίας της Ιονίου ζώνης, οι ασβεστόλιθοι της ζώνης Πίνδου καθώς οι πιο ασθενείς εμφανίσεις ανθρακικών των εσωτερικών καλυμμάτων. Το νερό στους παραπάνω σχηματισμούς κυκλοφορεί μέσω των παρεμβολών κερατολίθων, αργιλικών σχιστολίθων και πυριτολίθων. Συμμετέχουν στην τροφοδοσία σημαντικών καρστικών πηγών εξαιτίας του έντονου τεκτονισμού. Επιπλέον, οι σχηματισμοί αυτοί, κατά θέσεις, αποτελούν το υδρογεωλογικό υπόβαθρο των υψηλής υδροπερατότητας ανθρακικών σχηματισμών.

Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας (K3): σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα πρωτογενής και τα δευτερογενή πορώδεις, δηλαδή Μειοκαινικά ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Τέλος, αναπτύσσονται σημαντικές υδροφορίες που εκφορτίζουν το νερό τους μέσω αξιόλογων πηγών (Κριτσωτάκης, 2009).

B) Πορώδεις σχηματισμοί

Σε αυτούς τους σχηματισμούς η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω του πορώδους των κόκκων, δηλαδή του πρωτογενούς πορώδους.

Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας (P1) : Σε αυτή την υποκατηγορία κατατάσσονται σχηματισμοί του Τεταρτογενούς, δηλαδή ποτάμιας και θαλάσσιας αναβαθμίδας, αλλουβιακές αποθέσεις, κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων. Σε αυτούς τους σχηματισμούς αναπτύσσονται φρεάτιες υδροφορίες, ιδίως στις σύγχρονες αποθέσεις των χειμάρρων και των ποταμών. Τέλος, οι υδροφορίες αυτής της υποκατηγορίας μπορεί να έχουν υποστεί κατά θέσεις υποβάθμιση, λόγω υφαλμύρισης.

Μειοκαινικές και Πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (P2): Εντάσσονται οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι νεογενών σχηματισμών και τα κροκαλοπαγή, που φιλοξενούν ήδη επιμέρους υπόγειους υδροφορείς μέσου έως μικρού δυναμικού. Βρίσκονται στις παρυφές των ορεινών ασβεστολιθικών όγκων και κάποιες φορές μπορεί να τροφοδοτηθούν πλευρικά από τους ασβεστόλιθους.

Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (P3): Εντάσσονται οι Μειοκαινικές και οι Πλειοκαινικές μάργες καθώς και ο αδιαίρετος

σχηματισμός του Νεογενούς. Η ανάπτυξη των υδροφοριών αναμένεται τοπικά μέσα σε παρεμβολές μαργαϊκών ή κροκαλοπαγών ασβεστολίθων. Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν στρώματα γύψου κατά θέσεις των νεογενών αποθέσεων, τα οποία παρουσιάζουν μια αξιόλογη υδροφορία έντονα όμως υποβαθμισμένη λόγω των θειικών ιόντων (Κριτσωτάκης, 2009).

Γ) Αδιαπέρατοι σχηματισμοί

Σε αυτούς τους σχηματισμούς, η υδροπερατότητα είναι ελάχιστη.

Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (A1):

Κατατάσσονται οι σχηματισμοί με τα ελαφρώς μεταμορφωμένα αργιλικά ιζήματα των διαφόρων ζωνών και του φλύσχη. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.

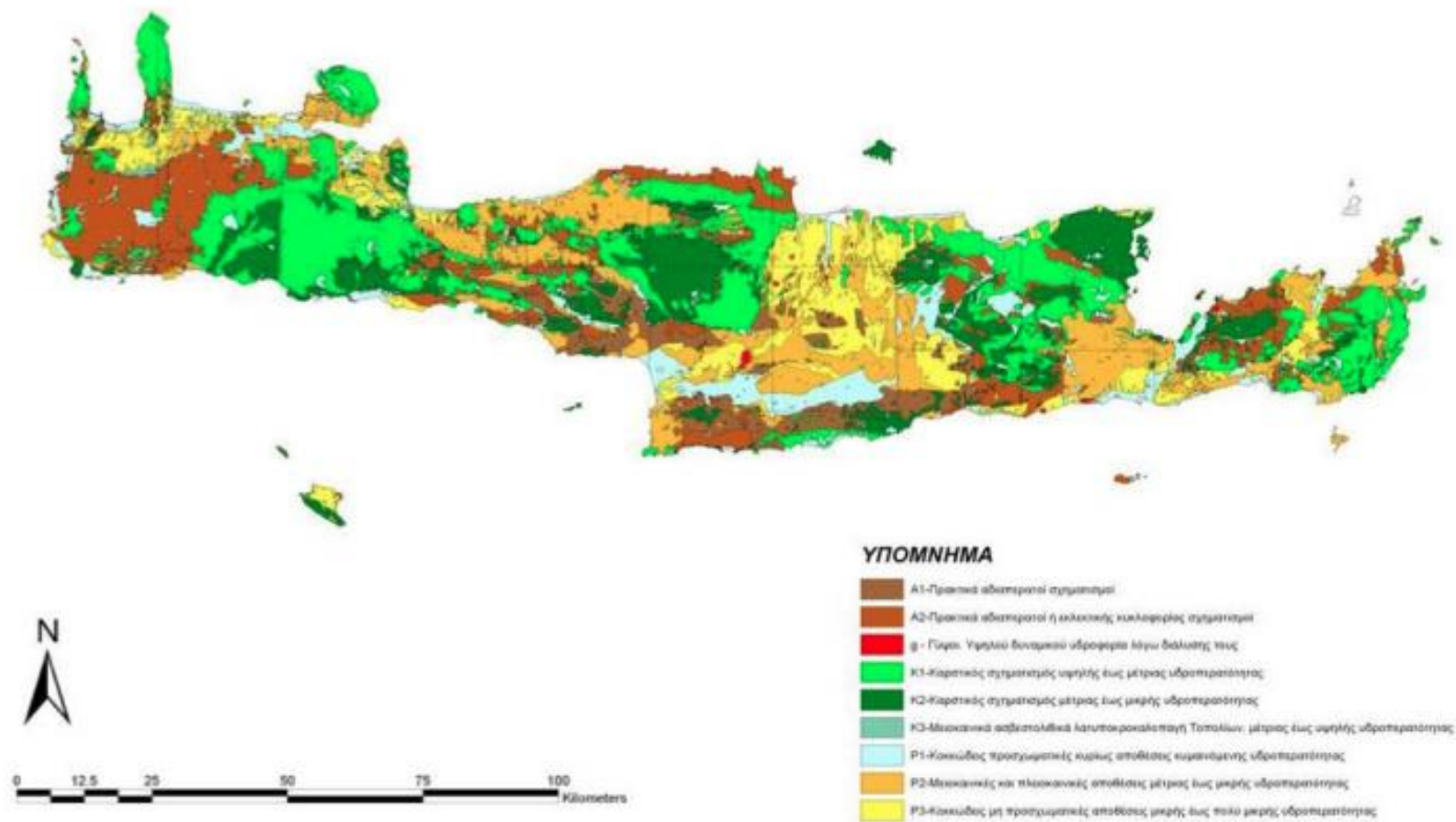
Πρακτικά αδιαπέρατοι ή εκτελεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας (A2):

Βρίσκονται τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα των διαφόρων ζωνών και των καλυμμάτων (φυλλίτες – χαλαζίτες, σχιστόλιθοι Ιονίου ζώνης και γρανιτικές διεισδύσεις). Κατά θέσεις αναπτύσσονται επιμέρους τοπικές υδροφορίες λόγω του έντονου κερματισμού και της πετρολογικής σύνθεσης των σχηματισμών.

Δ) Γύψοι (g)

Οι γύψοι αποτελούν μια διαφορετική κατηγορία καθώς αναπτύσσουν υπόγεια υδροφορία υψηλού δυναμικού λόγω της διάλυσης τους με υψηλή περιεκτικότητα σε θειικά ιόντα (ψευδοκάρστ).

Στην Κρήτη, το μεγαλύτερο ποσοστό των σχηματισμών είναι κοκκώδεις υδροπερατοί σχηματισμοί με ποσοστό 39.6%, έπειτα το 37.6% της συνολικής έκτασης καταλαμβάνουν οι καρστικοί σχηματισμοί, οι αδιαπέρατοι το 22.58% και μόνο το 0.21% καταλαμβάνουν οι γύψοι (Κριτσωτάκης, 2009).



Σχήμα 5.1: Υδρολιθολογικός χάρτης της Κρήτης (Περιφέρεια Κρήτης, 2009).

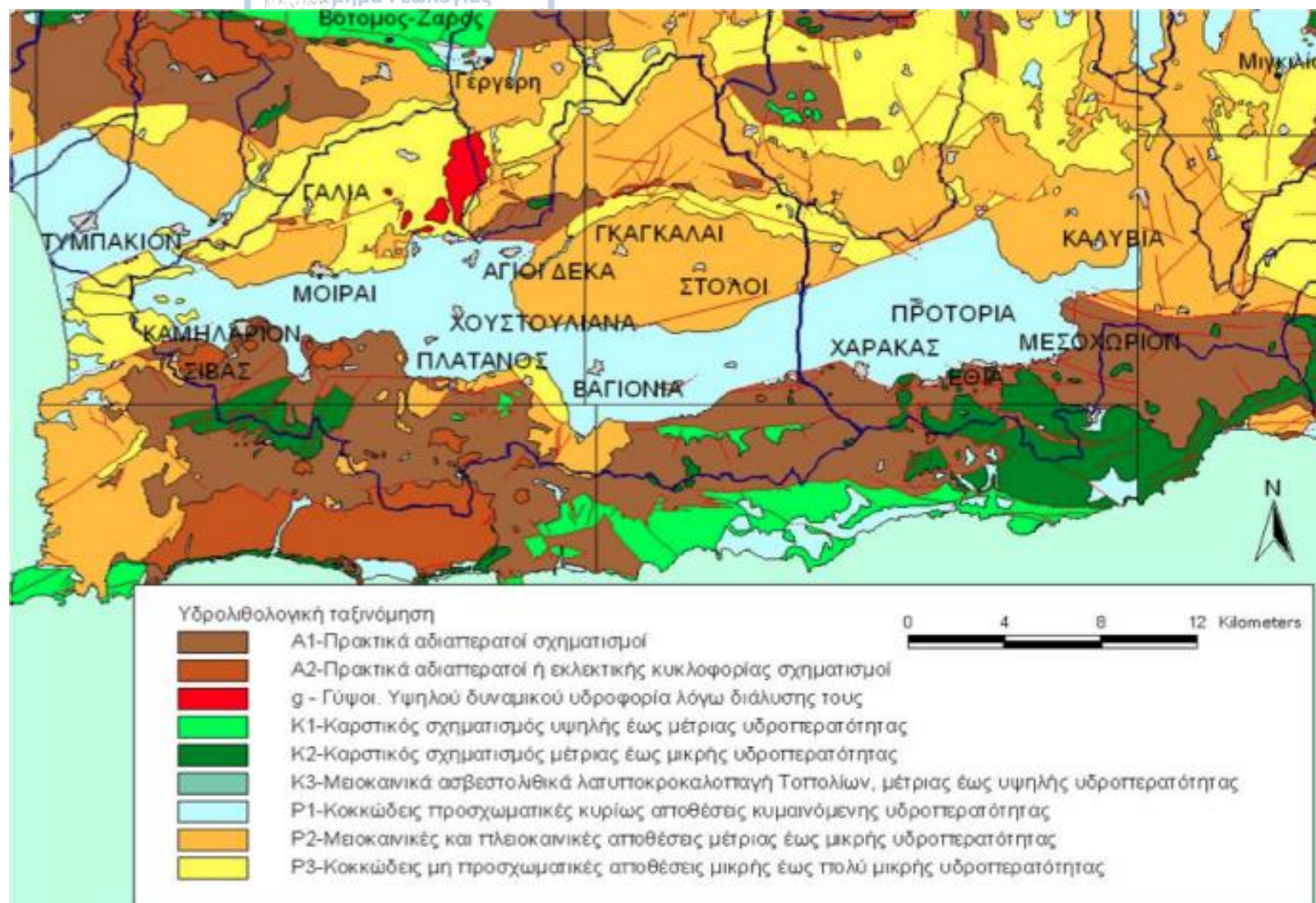
5.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης Μεσσαράς

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης μας, στη λεκάνη της Μεσσαράς δηλαδή, διακρίνονται οι παρακάτω υδρολιθολογικές ενότητες, οι οποίες παρουσιάζονται και στο σχήμα 5.2:

- ο Καρστικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται από ανθρακικά πετρώματα των ενοτήτων της Πίνδου, της Τρίπολης και της Αυτόχθονης σειράς. Τα όρια της λεκάνης της Μεσσαράς αντιπροσωπεύονται από τους σχηματισμούς αυτούς. Νότια, όπου έχουμε και μικρότερες εμφανίσεις, δομούν την οροσειρά των Αστερουσίων και βόρεια την οροσειρά της Ίδης. Οι καρστικές εμφανίσεις των Αστερουσίων φιλοξενούν περιορισμένους υδροφόρους ορίζοντες με πολύ μικρό δυναμικό και το νερό χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την άρδευση των οικισμών. Από την άλλη, μικρό ποσοστό του υπόγειου δυναμικού του καρστικού υδροφορέα της Ίδης απορρέει από τις πηγές της Γέργερης με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Ληθαίου ποταμού και από τις πηγές Ζαρού με αποδέκτη την υδρολογική λεκάνη του Τυμπακίου. Βέβαια, το μεγαλύτερο ποσοστό του υπόγειου δυναμικού της Ίδης απορρέει βόρεια στην υφάλμυρη πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου.
- ο Προσχωματικές αποθέσεις αποτελούν τα κεντρικό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς καθώς και τον πιο σημαντικό υδροφορέα της περιοχής. Συναντώνται με μικρό πάχος και έκταση αποθέσεις κατά μήκος των υδρορευμάτων. Τέλος, συνίσταται από ποταμολιμναίες αλλουβιακές αποθέσεις.
- ο Πλειστοκαινικές αποθέσεις που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της πεδινής περιοχής και καταλαμβάνουν σημαντική έκταση.
- ο Νεογενείς σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούν ένα αρκετά μεγάλο τμήμα της Μεσσαράς βόρεια των προσχωματικών – Πλειστοκαινικών αποθέσεων. Επιπλέον, το λοφώδες ανάγλυφο σχηματίζεται από αυτούς τους σχηματισμούς (Κριτσωτάκης, 2009).

Κατά σειρά δυναμικότητας, οι σημαντικότεροι υδροφορείς της λεκάνης της Μεσσαράς είναι: ο αλλουβιακός, ο πλειστοκαινικός και ο νεογενής. Παρόλα αυτά, στα περιθώρια της λεκάνης υπάρχουν ανθρακικοί σχηματισμοί που περιέχουν καρστικές υδροφορίες. Παρακάτω θα αναλύσουμε τους σημαντικότερους υδροφορείς με την σειρά που αναφέρθηκαν.





Σχήμα 5.2: Υδρολιθολογικός χάρτης Μεσσαράς (Περιφέρεια Κρήτης, 2009).

Αλλουβιακός υδροφορέας

Ο αλλουβιακός υδροφορέας έχει επίμηκες σχήμα και συναντάται κυρίως από σύγχρονες ποταμολιμναίες αποθέσεις άμμων, κροκαλοπαγών, αργίλων και ιλυολίθων. Από την στιγμή που οι αποθέσεις έχουν διαφορετική στρωματογραφική ηλικία και σύσταση, θα έχουν και διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Έτσι λοιπόν, διακρίνονται οι εξής τρεις κατηγορίες:

1. Αποθέσεις στις τάφρους διάβρωσης, οι οποίες καταλαμβάνουν μια ζώνη γύρω από τα κύρια υδρορέματα. Αποτελούνται από εναλλαγές αργίλου, χαλίκων και ιλύος. Τέλος, σπάνια συναντάμε στρώσεις άμμων και αν συναντήσουμε της περισσότερες φορές θα είναι αναμεμιγμένη με τα άλλα υλικά.
2. Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα, τα οποία βρίσκονται κυρίως τις νότιες περιοχές της λεκάνης της Μεσσαράς. Τα κορήματα ποικίλουν ανάλογα με την θέση τους και την προέλευση τους και για αυτό τον λόγο τα υλικά είναι περισσότερο λατυποπαγή και χονδρόκοκκα κοντά στις νότιες περιοχές. Πολύ συχνά, οι ιδιότητες του υδροφορέα (αποθηκευτικότητα, υδροπερατότητα) μπορεί να ελαττωθούν καθώς κατά θέσεις τα χονδρόκοκκα υλικά δημιουργούν κενά τα οποία πληρώνονται από λεπτόκοκκα υλικά. Εάν τα κορήματα έχουν κοκκινωπό χρώμα, σημαίνει ότι προέρχονται από παλαιότερα πετρώματα των ορεινών όγκων και γενικά χαρακτηρίζονται με μεγάλο πορώδες. Από την άλλη, εάν είναι λεπτόκοκκα τα υλικά πάει να πει ότι τα πλευρικά κορήματα προέρχονται από νεογενή πετρώματα που γενικά περικλείουν ασθενείς υδροφορίες.
3. Αποθέσεις που καλύπτουν την υπόλοιπη λεκάνη. Δεν έχουν συγκεκριμένη σύσταση και τα χαρακτηριστικά τους κυμαίνονται ανάλογα με τον τύπο πετρωμάτων που επικρατεί στα περιθώρια της. Για παράδειγμα, στις περιοχές που κυριαρχούν οι νεογενείς σχηματισμοί, το αλλουβιακό κάλυμμα συνιστάται από μάργες, άργιλο και ιλύ, κάτι το οποίο αρκετά δύσκολο να διακριθεί από το διαβρωμένο Νεογενές, ενώ στις περιοχές που κυριαρχούν οι αποθέσεις του Πλειστοκαίνου υπάρχει ένα λεπτό κάλυμμα από αποσαθρωμένα Πλειστόκαινα υλικά.

Πλειστοκαινικός υδροφορέας (σχηματισμός Αγίας Γαλήνης)

Τα ιζήματα του Πλειστόκαινου αποτέθηκαν στα ρηξιτεμάχη των νεογενών σχηματισμών κάτω από ηπειρωτικές συνθήκες. Τα ιζήματα αυτά στα ρηξιτεμάχη χαμηλού υψομέτρου

(λεκάνη Μοιρών και Χάρακα) διατηρούνται σε σχετικά καλή κατάσταση, ενώ στα ρηξιτεμάχη που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο έχουν σχεδόν διαβρωθεί και διατηρούνται μόνο σαν μια στρώση πολύ μικρή σε πάχος (λεκάνη Βαγιονιάς). Επιφανειακά, τα εντοπίζουμε στην περιοχή της Καλυβιανής και των Γκαγκάλων. Η στάθμη της θάλασσας ήταν χαμηλότερη σε σύγκριση με σήμερα με αποτέλεσμα μετά την εναπόθεση των σχηματισμών αυτών, να δημιουργηθούν νέοι τάφροι από τη διάβρωση των κύριων υδρορευμάτων του Λιθαίου, του Αναποδάρη και του Γεροπόταμου. Το μέγιστο βάθος των τάφρων αυτών καταγράφηκε στα 75 m κάτω από την στάθμη της θάλασσας στην περιοχή των Μοιρών, ενώ το μέγιστο βάθος που έχει καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή είναι στην περιοχή του Πλατύ (δυτικά του Τυμπακίου) με βάθος τα 80 m. Στις εκβολές του Γεροποτάμου στην περιοχή του Τυμπακίου, το βάθος της τάφρου είναι της τάξης των 100 m από την επιφάνεια του εδάφους που ελαττώνεται προς τα ανάντη και στο ύψωμα της Φαιστού είναι 60 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στις τάφρους αυτές έχουν αποθεθεί οι τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις (Κριτσωτάκης, 2009).

Νεογενής υδροφορέας

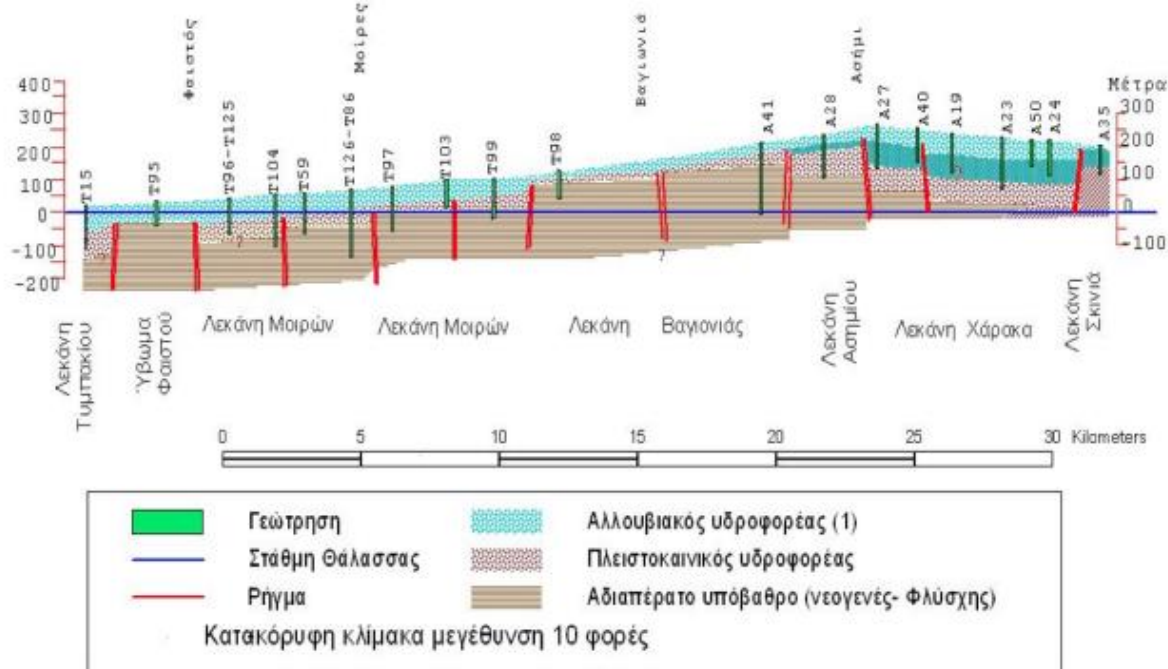
Οι νεογενείς σχηματισμοί της λεκάνης της Μεσσαράς αποτελούν το υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων και χαρακτηρίζονται από πετρώματα διαφορετικής στρωματογραφίας και σύστασης. Οι ρηξιγενείς ζώνες είναι το χαρακτηριστικό του Νεογενούς, οι οποίες μάλιστα μετακίνησαν κατακόρυφα τα ρηξιτεμάχη και σχημάτισαν διάφορες λεκάνες μέσα στις οποίες εναποτέθηκαν οι σύγχρονες αποθέσεις. Το μεγαλύτερο μέρος των νεογενών σχηματισμών συνιστάται από εναλλαγές στρώσεων μεγάλου πάχους αργίλων, ιλυολίθων και μαργών. Επιπλέον, υπάρχουν και ενστρώσεις μικρότερου πάχους, οι οποίες αποτελούνται από άμμο, κροκαλοπαγή, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και ψαμμίτες, και εμφανίζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον καθώς φιλοξενούν ασθενείς υδροφορίες υπό πίεση. Στην περιοχή των Μοιρών, κατά θέσεις απαντούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, δηλαδή πετρώματα που χαρακτηρίζονται από την εμφάνιση μικρής υδροφορίας. Κατά το τέλος του Τριτογενούς, έλαβαν χώρα κατακόρυφες κινήσεις ανυψώνοντας τα ρηξιτεμάχη, τα οποία στη συνέχεια υπέστησαν

έντονη διάβρωση σχηματίζοντας τάφρους. Μέσα σε αυτούς τους τάφρους εναποτέθηκαν τα ποταμολιμναία στρώματα του Πλειστοκαίνου (Κριτσωτάκης, 2009).

5.2.1 Υποδιαίρεση λεκάνης Μεσσαράς

Όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, η Κρήτη αποτελείται από μια περίπλοκη γεωλογική και τεκτονική δομή, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα από περιοχή σε περιοχή να μπορούμε να παρατηρήσουμε κάτι διαφορετικό. Με βάση αυτό, είναι απολύτως λογικό το γεγονός ότι η λεκάνη της Μεσσαράς δεν αποτελεί μια ομοιόμορφη υδρογεωλογική ενότητα αλλά έχει ρηξιτεμάχη με διαφορετικές υδρογεωλογικές ιδιότητες. Η λεκάνη υποδιαιρείται σε επιμέρους υπολεκάνες κατά την επιμήκη διάστασή της, οι οποίες όμως επικοινωνούν υδραυλικά μεταξύ τους. Οι ρηξιγενείς ζώνες διαμόρφωσαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τη στρωματογραφία και τη σύσταση του προσχωματικού – τεταρτογενή υδροφορέα. Σε διεύθυνση Α – Δ διακρίνονται οι υπολεκάνες του Χάρακα, του Ασημίου, της Βαγιονιάς, των Μοιρών και της περιοχής που μελετάμε, του Τυμπακίου. Στο σύνολο της λεκάνης, οι υδροφορείς, όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.3, αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις οι οποίες έχουν πολύ καλές υδρογεωλογικές ιδιότητες καθώς και από πλειστοκαινικούς σχηματισμούς με σχετικά μέτριες ιδιότητες. Ο πρακτικά αδιαπέρατος ορίζοντας, ο κατώτερος, του νεογενούς έχει μικρή υδρογεωλογική σημαντικότητα ως υδροφορέας και κατά θέσεις εμφανίζει μέτριες υδρογεωλογικές ιδιότητες (Κριτσωτάκης, 2009).

Διαφυγή του νερού μπορεί να συμβεί μόνο υπόγεια από τα δυτικά από την στενή και μικρή σε πάχος ζώνη της Φαιστού προς τη λεκάνη του Τυμπακίου όπου και τελικά εκβάλει στον κόλπο του Τυμπακίου. Νεογενή πετρώματα, μάργες, ιλυόλιθους και μικρού πάχους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους που απαντούν στις κορυφές των λόφων, αποτελούν το ρηξιτέμαχος της Φαιστού. Οι όμορες λεκάνες των Μοιρών και του Τυμπακίου διαχωρίζονται μεταξύ τους λόγω της σχετικής ανύψωσής του, ενώ το στένεμα της Φαιστού, που μοιάζει πολύ και με φαράγγι, είναι η μόνη διασύνδεση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών μεταξύ των δυο αυτών υπολεκανών.



Σχήμα 5.3: Υδρογεωλογική τομή λεκάνης Μεσσαράς, διεύθυνσης Α – Δ (Κριτσωτάκης, 2009).

5.2.2 Λεκάνη Τυμπακίου

Η λεκάνη του Τυμπακίου αποτελεί μία πολύ σημαντική αγροτική περιοχή της Κρήτης με την καλλιέργεια κηπευτικών και διάφορων άλλων πρώτων υλών. Η αρδευόμενη έκταση είναι περίπου 40.000 στρέμματα και το σύνολο του αρδευτικού νερού που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα προέρχεται κατά κύριο λόγο από το υπόγειο δυναμικό. Επομένως, η ποιότητα των υπόγειων υδατικών πόρων θα έπρεπε να αποτελεί προτεραιότητα για της αρχές της περιοχής.

Ο υδροφόρας που υπάρχει στην περιοχή, σύμφωνα με το Διαχειριστικό Σχέδιο Κρήτης, είναι πορώδες με κακή κατάσταση στα παράκτια και όσο απομακρυνόμαστε από την θάλασσα ξεκινάει να βελτιώνεται ώστε να φτάσουμε στην περιοχή του Τυμπακίου όπου έχουμε καλή κατάσταση υπόγειου υδροφορέα. Ο υδροφόρας αυτός έχει έκταση περίπου 50 Km² και δέχεται μέσο όρο βροχής λιγότερο από 500 mm. Λειτουργούν τρεις σταθμοί παρακολούθησης των υδάτων του υδροφορέα καθώς έχει μεγάλη σπουδαιότητα για την περιοχή. Τέλος, ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφορέα του Τυμπακίου έχει ελαττωθεί λόγω της παρακράτησης των απορροών του Κουτσουλίδη στο φράγμα της Φανερωμένης (Γιαννακάκος, 2013).

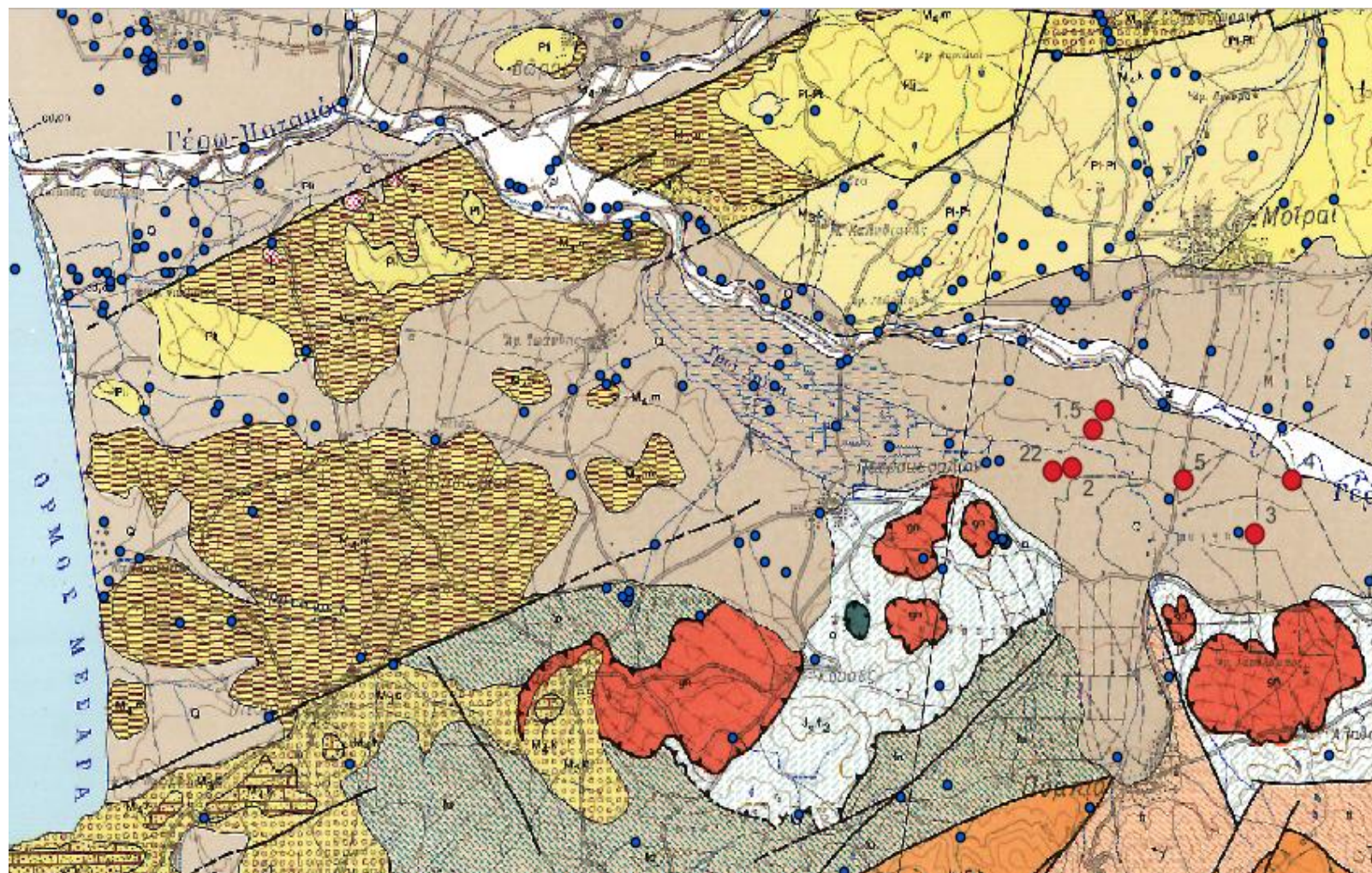
5.3 Γεωτρήσεις

Όπως έχει προαναφερθεί, το Τυμπάκι είναι μια περιοχή με πολλές υδατικές ανάγκες. Εφόσον, δεν υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη επιφανειακή πηγή ώστε να γίνει εκμετάλλευση του επιφανειακού νερού, στηρίζεται περισσότερο στην εκμετάλλευση του υπόγειου νερού. Για τον λόγο αυτό, στην περιοχή μελέτης, έχουμε ανορυχθεί πολλές γεωτρήσεις και πηγάδια. Άλλα είναι αδειοδοτημένα και άλλα πάλι είναι παράνομα, κάτι το οποίο καθιστά αρκετά δύσκολο το έργο των αρχών στο να διαχειρίζονται ορθολογικά το υπόγειο νερό.

Με βάση τα ανοιχτά δεδομένα που παρέχει η Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, μπορέσαμε να αποσπάσουμε επιπλέον στοιχεία πέρα από αυτά που μας έδωσε το ΤΟΕΒ Α' Ζώνης Μεσσαράς. Για τον λόγο αυτό, στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.4) μπορούμε να δούμε που βρίσκονται οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια στην περιοχή του Τυμπακίου και της ευρύτερης περιοχής με βάση τα ανοιχτά δεδομένα αυτά. Δυστυχώς, δεν υπάρχει πρόσβαση σε όλα τα στοιχεία των γεωτρήσεων (στάθμη άντλησης νερού, βάθος γεώτρησης, παροχή κλπ.) παρά μόνο όσες είναι με κόκκινη κουκίδα. Τα στοιχεία, τόσο των γεωτρήσεων, όσο και των χαρακτηριστικών τους, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και τα στοιχεία αυτά έχουν ληφθεί από το ΤΟΕΒ Α' Ζώνης Μεσσαράς.

Κωδικός γεώτρησης	Συντεταγμένες		Υψόμετρο (μ.)	Υ.Σ. (μ.)	Παροχή (m ³ /h)	Παροχή σύμφωνα με την γεωτρητική τομή (m ³ /h)	Ιπποδύναμη αντλητικού συγκροτήματος (HP)
	χ	ψ					
N1A	578560	3877418	52	35.7		300	80
N1,5	578451	3877255	51	38		170	80
N2	578260	3876921	48		40	300	50
N2A	578082	3876878	49	28	80	120	80
N3	579972	3876339	61			40	
N4α	5803347	3876772	63	60		100	
N5	579303	3876809	53		20	200	20

Τέλος, παρακάτω (Σχήμα 5.5) διατίθεται μια τομή μιας γεώτρησης της ευρύτερης περιοχής, όχι μόνο για να γνωρίζουμε πώς θα πρέπει να είναι μια τέτοια τομή αλλά και γιατί με την βοήθεια της τομής αυτής επαληθεύονται τα πετρώματα που υπάρχουν καθώς και οι υδροφόροι ορίζοντες στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5.4: Γεωτρήσεις – πηγάδια που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή (μπλε και κόκκινες κουκίδες).

ΕΡΓΟ : Ύδρευση - Άρδευση Τ.Δ. Τυρπακίου Δήμου Τυρπακίου (1η Γεώτρηση Θέση Μάγειρα)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑ : ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ Δ/ΝΣΗ ΑΥΤ/ΣΗΣ & ΑΠΟΚ/ΣΗΣ Τ.Υ.Δ.Κ.

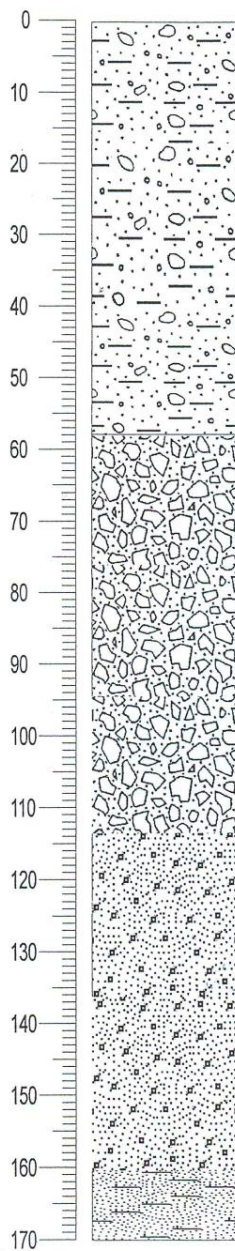
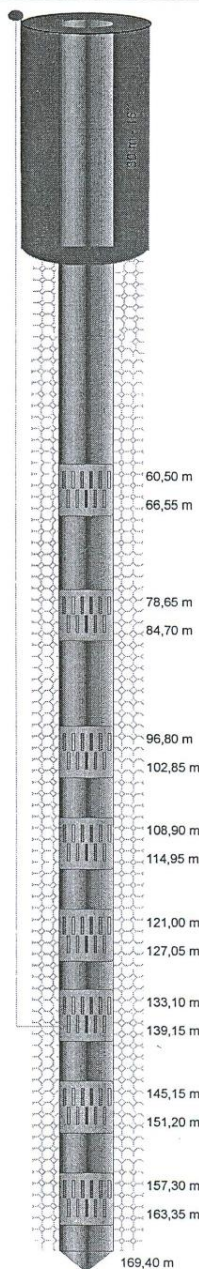
ΑΝΑΔΟΧΟΣ : ΜΠΑΛΙΑΚΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ Ε.Δ.Ε.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ : x= y= (ΕΓΣΑ '87)

ΤΟΜΗ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ : 9 5/8"
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΕΥΡΥΝΣΗΣ : 15 1/2"
ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ : 170,00 m
ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΥΡΥΝΣΗΣ : 170,00 m
ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ : 169,40 m
ΣΩΛΗΝΕΣ : Τύπου ERW
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ : 8 5/8"
ΠΑΧΟΣ ΣΩΛΗΝΩΝ : 5 mm
ΠΕΡΙΦΡΑΓΜ. ΣΩΛΗΝΕΣ : 16" - 30,00 m
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΟ : 1 1/2" - 138,00 m
ΧΑΛΙΚΩΣΗ : -

0-58 m:
Κροκάλες
με
Άργιλο

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΠΑΡΟΧΗ : 25 m³/h
ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ : 86,03 m
ΣΤΑΘΜΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ : 96,34 m
ΒΑΘΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΝΤΛΗΤΙΚΟΥ : 125 m

58-114 m:
Κροκάλοπτη

ΑΝΕΤΑΚΛΑ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ Τ.Υ.Δ.Κ.

114-160 m:
Άμμος
με
Κροκάλες

14/01/2010
Η ΣΥΝΤΑΞΑΣΑ
ΒΑΣΙΛΙΚΗ Δ. ΜΠΑΛΙΑΚΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ - ΑΓΡ. ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Δ.Ε.
- ΠΛ. ΣΥΝΤΡΙΒΑΝΙΟΥ 4 - 546 21 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
ΑΦΜ: 029800686 - ΔΟΥΔΑ ΘΕΩΤΟΝΙΚΗΣ
ΤΗΛ./FAX: 2310/280.674

ΜΠΑΛΙΑΚΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

160-170 m:
Αμμόμαργα

Σχήμα 5.5: Τομή γεώτρησης από την περιοχή μελέτης.

5.4 Ποιότητα υπόγειων νερών

5.4.1 Φυσικές ιδιότητες νερού

Το νερό είναι μια ουσία άοσμη, άχρωμη, άγευστη και υγρή σε κανονικές συνθήκες. Αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό του ανθρώπινου σώματος, το 70%, και είναι απαραίτητο συστατικό για την σωστή λειτουργία των κυττάρων, συμμετέχοντας σε όλες τις βιοχημικές διεργασίες. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό και για τα φυτά καθώς τα φυτά αποσπούν από το νερό το υδρογόνο, το οποίο είναι βασικό συστατικό για την διαδικασία της φωτοσύνθεσης τους.

Το νερό έχει πολλές χαρακτηριστικές ιδιότητες όπως η πολικότητα και η διαλυτική του ικανότητα. Η πολικότητα που εμφανίζει το μόριο του νερού είναι πολύ σημαντική ιδιότητα και υπεύθυνη για πολλές ιδιότητες του νερού, καθώς και για τον τρόπο που αντιδρά με το περιβάλλον. Επιπλέον, η διαλυτική ικανότητα του νερού είναι μεγάλη και οφείλεται στη μεγάλη διηλεκτρική σταθερά του, καθώς και στην πολικότητα των μορίων του. Έτσι το νερό είναι ένας καλός διαλύτης των ηλεκτρολυτών και των οργανικών ενώσεων με δεσμό υδρογόνου και κακός διαλύτης των μη πολικών ενώσεων.

Επιπλέον, το μόριο του νερού εμφανίζει μεγάλη επιφανειακή τάση. Η ηλεκτρική αγωγιμότητά του είναι μικρή, αλλά αυξάνεται σημαντικά με την παρουσία διαλυμένων ιόντων. Τέλος, το νερό δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες, εκτός αν περιέχει μαγνητικές ουσίες (Βουδούρης Κ. , 2009).

5.4.2 Δειγματοληψία Υπόγειου Νερού – Χημικές Αναλύσεις

Η συλλογή των δειγμάτων του υπόγειου νερού είναι μια εξαιρετικά σημαντική διαδικασία, η οποία πρέπει να γίνεται σωστά ώστε τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων να είναι αξιόπιστα. Έτσι λοιπόν, πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της περιοχής που μελετάται, καλύπτοντας όλους τους υπόγειους υδροφορείς, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση της ποιότητας. Το νερό του δείγματος πρέπει να είναι φρέσκο, δηλαδή μετά από άντληση της γεώτρησης για ικανοποιητικό χρόνο, ώστε να έχει ανανεωθεί το νερό.

Η συλλογή του νερού πρέπει να γίνεται σε φιάλες 1,5 λίτρου από πολυαιθυλένιο, αφού πρώτα ξεπλυθεί καλά με το ίδιο νερό που θα αναλυθεί. Οι γυάλινες φιάλες πρέπει να αποφεύγονται, καθώς έχει παρατηρηθεί προσρόφηση και ανταλλαγή ιόντων. Τα δείγματα αυτά φυλάσσονται στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C, μέχρι να μεταφερθούν στο εργαστήριο. Έτσι επιτυγχάνεται η αναστολή των ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων.

Τα αποτελέσματα από την χημική ανάλυση είναι περισσότερα αξιόπιστα, όταν ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δειγματοληψίας και ανάλυσης είναι μικρός (Βουδούρης Κ. , 2009).

Πριν γίνει ανάλυση του δείγματος, όταν πρόκειται να αναλυθούν μέταλλα, πρέπει πρώτα να διηθείται από ηθμό 0,45 μ και να οξινίζεται μέρος του δείγματος (1/2 L). Με τη διήθηση απομακρύνονται τα αιωρούμενα συστατικά και η οξίνιση γίνεται για να κρατηθούν τα μέταλλα σε διάλυση.

Στην περιοχή που μελετάται, με την βοήθεια του ΤΟΕΒ Α' Ζώνης Μεσσαράς συλλέχθηκαν στοιχεία από χημικές αναλύσεις στις γεωτρήσεις που αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Τα αποτελέσματα των χημικών αυτών αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Σχήμα 5.6).

Κωδικός γεώτρησης	PH	Αγωγιμότητα (μs/cm)	Ολική σκληρότητα (°D)	Χλώρια (Cl ⁻ ppm)	Νιτρικά (NO ³ ppm)	Νιτρώδη (NO ² ppm)	Θειικά (SO ⁴ ppm)	Αμμωνία (NH ⁴ mg/l)
N1A	7.4	947	27	113	31	0	206	<0,05
N1,5	7.4	953	25.5	135	31	0	215	<0,05
N2	7.4	990	29	156	43	0	197	<0,05
N2A	7.4	1023	28.5	156	42	0	211	<0,05
N3	7.4	980	29.5	128	28	0	200	<0,05
N4	7.4	1050	29	145	38	0	200	<0,05
N5	7.3	1100	28	142	38	0	207	<0,05

Σχήμα 5.6: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των γεωτρήσεων της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

5.4.3 Το φαινόμενο της υφαλμύρισης

Υφαλμύριση είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Η υφαλμύριση μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τύπος περιβαλλοντικής ρύπανσης, που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες ή/και σε υδρογεωλογικούς παράγοντες. Από πολλούς η υφαλμύριση θεωρείται η σύγχρονη «ασθένεια» των υπόγειων νερών (Βουδούρης Κ. , 2009).

Το υπόγειο νερό, όπως είναι γνωστό, είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την προϋπόθεση της ύπαρξης ισορροπίας μεταξύ εμπλουτισμού και εκφόρτωσης στον υδροφορέα μιας λεκάνης. Όταν οι απολήψιμες ποσότητες υπόγειου νερού υπερβούν την ικανότητα της ασφαλούς απόδοσης ενός παράκτιου υδροφορέα παρατηρούνται φαινόμενα θαλάσσιας διείσδυσης, υφαλμύριση. Το πρόβλημα της υφαλμύρισης, παρατηρείται τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες (Ισραήλ, ΗΠΑ, Ισπανικά, Κύπρο, κ.λπ.) (Βουδούρης Κ. , 2009).

Το νερό της θάλασσας δε θεωρείται κατάλληλο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Δεν ενδείκνυται ούτε για την αστική χρήση αλλά ταυτόχρονα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ούτε και για την άρδευση των καλλιεργειών, καθώς η συσσώρευση των αλάτων μπορεί να καταστρέψει την παραγωγικότητα των εδαφών. Όσον αφορά την περιεκτικότητα του χλωρίου δεν υπάρχουν ακριβείς τιμές για να καθοριστούν τα όρια μεταξύ γλυκού, υφάλμυρου και θαλάσσιου νερού. Γενικά ισχύει ότι για τιμές $Cl < 300 \text{ mg/l}$ το νερό θεωρείται γλυκό, για τιμές $300 < Cl < 4000 - 5000 \text{ mg/l}$ το νερό θεωρείται υφάλμυρο και για τιμές $Cl > 5000 \text{ mg/l}$ θεωρείται αλμυρό. Τέλος, το πόσιμο νερό αναφέρεται ότι έχει περιεκτικότητα σε $Cl < 150-250 \text{ mg/l}$, ενώ το νερό της θάλασσας έχει περιεκτικότητα σε Cl από 18.000 έως 34.000 mg/l .

Η περιοχή του Τυμπακίου βρίσκεται πολύ κοντά στη θάλασσα και λόγω των πολλών γεωτρήσεων που υπάρχουν υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για υφαλμύριση. Βέβαια, δεν ευθύνεται κατά βάση ο αριθμός των γεωτρήσεων, αλλά η κακή διαχείριση που γίνεται από τους ιδιοκτήτες τους. Στα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν παρατηρείται κάποια ρύπανση στους υπόγειους υδροφορείς από το θαλασσινό νερό. Βέβαια, αυτό συμβαίνει επειδή οι γεωτρήσεις δεν βρίσκονται τόσο κοντά στην ακτή αλλά σε μια σημαντική απόσταση από αυτή.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το φαινόμενο, θα πρέπει να σταματήσει η άντληση νερού από τις γεωτρήσεις που έχουν ρυπανθεί, καθώς και να γίνεται καλύτερη διαχείριση των υπόγειων νερών για να μην καταστραφούν όλοι οι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής.

5.4.4 Το φαινόμενο της νιτρορύπανσης

Ως νιτρορύπανση θεωρούμε την άμεση ή έμμεση απόρριψη στο υδάτινο περιβάλλον αζωτούχων ενώσεων, με σημαντικότερες επιπτώσεις την πρόκληση βλαβών στην ανθρώπινη

υγεία και την υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων. Οι κύριες πηγές νιτρορύπανσης προέρχονται κατά κύριο λόγο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι αγροτικές δραστηριότητες, γεωργικές και κτηνοτροφικές, αποτελούν τις σημαντικότερες αιτίες της νιτρορύπανσης.

Στα υπόγεια ύδατα, η νιτρορύπανση εμφανίζεται κυρίως με τη μορφή αθροιστικής συσσώρευσης νιτρικών, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνουν σε επίπεδα που είναι απαγορευτικά για τη χρήση του νερού για σκοπούς άρδευσης. Ως οριακή τιμή έχει καθοριστεί από την Ελληνική και Διεθνή νομοθεσία η συγκέντρωση των 50 mg/l, ωστόσο ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες όμως από 25 mg/l) δημιουργείται προβληματισμός για μακροχρόνια χρήση του νερού για πόση (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας).

Στην περιοχή μελέτης και με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, παρατηρείται ότι υπάρχει νιτρορύπανση, σε κάποια σημεία είναι πιο έντονη και σε άλλα πάλι όχι. Και αυτό είναι λογικό να συμβεί καθώς η Μεσσαρά είναι ξεκάθαρα μια αγροτική περιοχή, στην οποία δυστυχώς δεν κυριαρχούν οι βιολογικές καλλιέργειες. Κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούν οι αγρότες να είναι πολλά και επιβλαβή για το περιβάλλον. Επίσης, οι κτηνοτρόφοι δεν έχουν ενημερωθεί με την απαραίτητη εκπαίδευση και οδηγίες από τις αρχές με αποτέλεσμα να μην γνωρίζουν πώς να διαχειρίζονται σωστά τα απορρίμματα των ζώων τους αλλά και τον τρόπο με τον οποίον να τα φροντίζουν σωστά. Για το λόγο αυτό, πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα τα οποία θα περιορίσουν την εξάπλωση του φαινομένου αυτού, καθώς και την σταδιακή εξάλειψή του.

6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία που αφορά την υδρογεωλογική έρευνα της περιοχής Τυμπακίου Κρήτης συνοψίζονται ως εξής:

- Το κλίμα κατά Köppen, στην περιοχή του Τυμπακίου χαρακτηρίζεται ως Csa, δηλαδή ως Μεσογειακό κλίμα ενδοχώρας με ήπιους χειμώνες και ξηρά και πολύ ζεστά καλοκαίρια, καθώς ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με θερμοκρασία 32.22 °C και ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Φεβρουάριος με θερμοκρασία 15,84 °C
- Με βάση τους μεθόδους πρόβλεψης πληθυσμού, ο πληθυσμός του Τυμπακίου κατά το 2031 θα αυξηθεί και θα είναι περίπου 15.296 κατοίκους, όπως και κατά το 2041 όπου θα έχουμε περίπου 25.182 κατοίκους.
- Οι υδρευτικές ανάγκες του Τυμπακίου κατά το 2031 θα έχει αυξηθεί και θα είναι περίπου $1,90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερό καθώς και κατά το 2041 θα υπάρχει αύξηση και θα είναι περίπου $3,13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.
- Το Τυμπάκι είναι μια περιοχή που στηρίζεται κυρίως στον πρωτογενή τομέα, και για τον λόγο αυτό υπάρχουν αρκετές εκτάσεις με διάφορες καλλιέργειες. Οι καλλιέργειες είναι κυρίως ελαιόδενδρα, τα κηπευτικά προϊόντα, τα εσπεριδοειδή, τα αμπελοειδή, καθώς και πολλά θερμοκήπια. Ο μέσος όρος των αρδευτικών αναγκών όλων αυτών των καλλιεργειών με βάση των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίζεται στα $654 \text{ m}^3/\text{στρέμμα}$ ανά αρδευτική περίοδο.
- Ο υδροφορέας που υπάρχει στην περιοχή, σύμφωνα με το Διαχειριστικό Σχέδιο Κρήτης, είναι πορώδης με κακή ποιοτική και ποσοτική κατάσταση στην παράκτια ζώνη και όσο απομακρυνόμαστε από την θάλασσα βελτιώνεται σταδιακά και στην περιοχή του Τυμπακίου, παρατηρείται καλή κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα.
- Οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή είναι πάρα πολλές, με αρκετές από αυτές να είναι παράνομες ή να μην υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την μελέτη τους. Πρέπει να υπάρξει καλύτερη διαχείριση των γεωτρήσεων καθώς και να γίνει έλεγχος από τις αρχές για να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα που θα δημιουργηθούν στη συνέχεια.
- Οι χημικές αναλύσεις που γίνονται στην περιοχή είναι ελάχιστες και δεν γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συνεχής παρακολούθηση

των νερών των υπόγειων υδροφορέων. Επιπλέον, δεν υπάρχει έγκυρη πρόληψη οποιοδήποτε φαινομένου ρύπανσης.

- Η υφαλμύριση είναι ένα φαινόμενο το οποίο αφορά την παράκτια περιοχή του Τυμπακίου, και για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα σε ατομικό επίπεδο από τους ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων, αλλά και τους αρμόδιους φορείς, όπως ο ΤΟΕΒ, ώστε να περιορισθεί η διείσδυση του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα.
- Η νιτρορύπανση έχει ήδη αρχίσει να επηρεάζει την περιοχή της Μεσσαράς και συγκεκριμένα την περιοχή του Τυμπακίου και για αυτό τον λόγο πρέπει άμεσα να ληφθούν μέτρα προστασίας των υπόγειων υδροφορέων με την εφαρμογή των κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής.
- Κάποια μέτρα τα οποία μπορούν να ληφθούν για την προστασία των υπόγειων υδροφορέων και του περιβάλλοντος είναι η συνεχής και συστηματική παρακολούθηση της στάθμης και της ποιότητας των υπόγειων υδροφορέων, η διαχείριση των υγρών και στερεών αποβλήτων, η εξοικονόμηση νερού λόγω της μείωση απωλειών του δικτύου, ορθή εφαρμογή λιπασμάτων και γενικά αρδευτικής πρακτικής ανά καλλιέργεια, καθώς και συντονισμός και έλεγχος διάθεσης λυμάτων από κτηνοτροφικές μονάδες της περιοχής.

- Βουδούρης, Κ. (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος Υπόγεια Νερά & Περιβάλλον*. Θεσσαλονίκη: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Βουδούρης, Κ. (2022). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού*. Θεσσαλονίκη: ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Γιαννακάκος, Ε. (2013). *Τρισδιάστατη γεωλογική μοντελοποίηση της λεκάνης του Τυμπακίου με υποστήριξη γεωτρητικών και γεωφυσικών δεδομένων*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης. Ανάκτηση από <https://dias.library.tuc.gr/view/15768?locale=el>
- Δήμος Φαιστού. (2022). Δημοτική Ενότητα Τυμπακίου. Ανάκτηση από <https://www.dimosfestou.gr/>
- ΕΛΣΤΑΤ, Ε. (2022). Απογραφή πληθυσμού. Ανάκτηση από <https://www.statistics.gr/2021-census-pop-hous>
- Κρινής, Π. (2009). *Εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής σε λεκάνες του ελληνικού χώρου. (Λεκάνη Μεσσαράς του νομού Ηρακλείου, νότια Κρήτη)*. . Θεσσαλονίκη : Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης . Ανάκτηση από <https://ikee.lib.auth.gr/record/113796/files/krinis.pdf>
- Κριτωτάκης, Μ. Ν. (2009). *Διαχείριση υδατικών πόρων Μεσαράς Κρήτης*. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά. Ανάκτηση από <https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/20075?lang=el#page/93/mode/1up>
- Κυβερνήσεως, Ε. τ. (2015, Απρίλιος 08). *Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Κρήτης (GR13)*. Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ. Μ. (2010). *Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: UNIVERSITY STUDIO PRESS.
- Μπαλαφούτης, Χ. (2003). *Κατάταξη και περιγραφή των κλιμάτων της γής*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανάκτηση από http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Lesson10_Classification.pdf
- Παρασκάκη, Δ. (2014). *Υδρογεωλογικό καθεστώς πεδιάδας Φαιστού - Τυμπακίου με έμφαση στην ποιότητα των υπόγειων νερών*. . Διπλωματική εργασία, Αθήνα.
- Περάκης, Ε., & Γουναροπούλου, Α. (2014). *Γεωφυσική διασκόπηση με σκοπό τον εντοπισμό υφαλμύρωσης στην περιοχή Τυμπακίου Κρήτης*. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Χανιά.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Υ. (χ.χ.). *Νιτρορύπανση*. Ανάκτηση από <https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/nitrorypansi/>
- Χρονοπούλου, Α. (2019). *ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΚΥΡΩΜΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανάκτηση από <http://ikee.lib.auth.gr/record/305876/files/Chronopoulou.pdf>

Peterek, A. & Schwarze, J. (2004). *Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece)*. Germany: University of Bayreuth. Ανάκτηση από <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264370704000274>

Voudouris, K., Mauromatis, T., & Krinis, P. (2012). Assessing runoff in future climate conditions in Messara valley in Crete with a rainfall-runoff model. *Meteorological Applications* 19.