



Εθνικό και Καποδιστριακό
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ &
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Υδρογεωλογικές Συνθήκες της Νήσου Ίου και οι Συνέπειες της Κλιματικής Αλλαγής

Διπλωματική Εργασία



Τριάντη Νικολέτα

AM 1114200400126

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Σκούρτσος Εμμανουήλ

Αθήνα 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	3
2.1 Εισαγωγή	3
2.2 Γεωμορφολογικές ενότητες.....	3
2.3 Υδρολογικές λεκάνες	3
2.4 Υδρογραφικό δίκτυο.....	4
3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ	5
3.1 Εισαγωγή	5
3.2 Βροχοπτώσεις.....	5
3.3 Θερμοκρασία	7
3.4 Σχετική υγρασία – νέφωση.....	8
3.5 Επικρατούντες άνεμοι	8
4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	9
4.1 Εισαγωγή	9
4.2 Γεωλογία Ίου – Στρωματογραφία.....	10
4.2.1 Εισαγωγή	10
4.2.2 Τεταρτογενείς σχηματισμοί	11
4.2.3 Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit)	11
4.2.4 Ενότητα Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit).....	13
4.3 Μεταμόρφωση	15
5. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	16
6. ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	17
6.1 Εισαγωγή	17
6.2 Υδρολιθολογική συμπεριφορά γεωλογικών σχηματισμών Ίου	18
6.2.1 Κατηγορία 1. Πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί) σχηματισμοί	19
6.2.2 Κατηγορία 2. Συνεκτικοί (κυρίως ανθρακικοί) σχηματισμοί με δευτερογενή περατότητα	19
6.2.3 Κατηγορία 3. Πορώδεις και συνεκτικοί σχηματισμοί με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – Γενικά άνευ πρακτικής σημασίας.....	20
7. ΣΚΛΗΡΑ ΔΙΕΡΡΗΓΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	21
7.1 Εισαγωγή	21
7.2 Ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένος μανδύας	21
7.3 Ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη	22
7.4 Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα	23
8. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	25
8.1 Εισαγωγή	25
8.2 Κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες	25
8.3 Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες.....	29
8.4 Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα	30
8.4.1 Πηγή Επάνω Δέσης (S01).....	34
8.4.2 Πηγή Κάτω Δέση (S02).....	35
8.4.3 Πηγή Ψάθης (S03)	36
8.4.4 Πηγή Αγίας Θεοδότης (S04)	38
8.4.5 Πηγή Κρητικού (S05)	38

9. ΣΥΝΘΕΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
9.1 Σύθεση	40
9.2 Συμπεράσματα	45
10. ΛΕΞΙΚΟ	47
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί Διπλωματική Εργασία στο πλαίσιο του Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν η αποσαφήνιση των υδρογεωλογικών συνθηκών της Ίου και η επικαιροποίηση και αποτύπωση της διαχρονικής ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών πόρων του νησιού.

Η επιλογή του θέματος έγινε σε συνεννόηση και υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Σκούρτσου Εμμανουήλ, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε τόσο κατά την ανάθεση όσο και κατά την διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά για την πολύτιμη βοήθειά του τον γεωλόγο Φίλη Χρήστο.

Κλείνοντας, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου για την ηθική συμπαράσταση, καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι Κυκλάδες διαχρονικά παρουσίαζαν έντονα φαινόμενα λειψυδρίας, τα οποία τα τελευταία χρόνια οξύνονται περαιτέρω, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης κυρίως από τον τουριστικό τομέα. Είναι χαρακτηριστικό, πως η καλοκαιρινή τουριστική περίοδος ταυτίζεται με τις περιόδους μέγιστης ζήτησης και ελάχιστης προσφοράς διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Στην Ίο έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά έργων και παρεμβάσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας και την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Ανόρυξη υδρογεωτρήσεων.
- Κατασκευή της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής του Μυλοποτάμου συνολικής χωρητικότητας 215.000m³.
- Λειτουργία μονάδας αφαλάτωσης στο Μυλοπότα δυναμικότητας 1.000m³/24ωρο.

Δεδομένης της κλιματικής αλλαγής που συντελείται τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται συνεχής ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων της Ίου. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως καταγράφεται:

- στείρευση ή σημαντική μείωση της παροχής των πηγαίων εκφορτίσεων,
- αξιοσημείωτη πτώση στάθμης στις υδρογεωτρήσεις και στα πηγάδια,
- ενώ η λιμνοδεξαμενή του Μυλοπότα τόσο το 2000 όσο και φέτος (2018) δεν είχε καθόλου νερό, εξαιτίας της παρατεταμένης ανομβρίας.

Το μέσο ετήσιο βροχής των μετεωρολογικών σταθμών Ίου και Νάξου ανέρχεται σε 285,5mm για τα υδρολογικά έτη 2009-2010 έως και 2017-2018 και σε 350,0mm για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 αντίστοιχα. Για αμφότερου τους σταθμούς, οι οποίοι είναι όμοροι και παρουσιάζουν καλή συσχέτιση, προκύπτει σαφής τάση μείωσης των βροχοπτώσεων.

Επισημαίνεται, πως απόρροια της κλιματικής αλλαγής είναι η συχνή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων κατά τη διάρκεια των οποίων οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλα ύψη βροχής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να υπερτερεί η επιφανειακή απορροή της κατείσδυσης και επομένως να συντελείται περιορισμένη επανατροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων.

Η Ίος αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μεταμορφωμένα πετρώματα, πάνω στα οποία έχουν αποθεθεί ασύμφωνα περιορισμένες εμφανίσεις Τεταρτογενών σχηματισμών. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ίου περιλαμβάνουν την κυρίαρχη ενότητα των Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit) που εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα και σε υπολειμματικές εμφανίσεις στο νότιο, η οποία υπέρκειται τεκτονικά του Παλαιοζωϊκού υποβάθρου (Βαρύσκια ηλικία) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit) που καταλαμβάνει το κεντρικό και νότιο τμήμα.

Κοκκώδεις υδροφόροι οριζόντες, ελεύθεροι φρεάτιοι, υποκείμενοι στις εποχιακές μεταβολές και μέτριας δυναμικότητας αναπτύσσονται στις παράκτιες προσχωσιγενείς κοιλάδες Μυλοπότα, Μαγγαναρίου, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου, όπου εμφανίζονται αλλουβιακές αποθέσεις (al). Η τροφοδοσία των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις, από την επιφανειακή χειμερινή κυρίως απορροή χειμάρρων που διέρχονται από αυτές και από κατά θέσεις πλευρική τροφοδοσία, κυρίως από τους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) και τους οφθαλμογενεύσιους (gn).

Η εκμετάλλευση των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων γίνεται από πλήθος πηγαδιών, βάθους έως 10 μέτρα, και υδρογεωτρήσεις μικρού βάθους με παροχές άντλησης της τάξης των (3-8)m³/h, ενώ η τελική εκφόρτίσή τους συντελείται στη θάλασσα. Πρόκειται για υδατικό πόρο που διαδραμάτισε και συνεχίζει έως και σήμερα να παίζει σημαντικό ρόλο στην τοπική οικονομία, τόσο για άρδευση όσο και ύδρευση (κυρίως καθαριότητα και πράσινο).

Από τους πιεζομετρικούς χάρτες των περιόδων Αυγούστου 1978 (Κουρμούλης, 1980), Σεπτεμβρίου 2000 (Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000), Ιουλίου 2005 (Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010) και Αυγούστου 2018 προκύπτει συστηματική και διαχρονική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα. Αντίστοιχα αποτελέσματα διαχρονικής ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης προκύπτουν και για τους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες Κάτω Κάμπου και Μαγγαναρίου.

Στα μάρμαρα (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) αναπτύσσονται καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες μικρής έως μέσης δυναμικότητας, εξαιτίας της μικρής επιφανειακής ανάπτυξης και του περιορισμένου πάχους, οι οποίοι βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε περισσότερες από μία πλευρές και εκφορτίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε παράκτιες, καρστικές, υφάλμυρες πηγές (Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010). Η τροφοδοσία τους συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις.

Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών, τοπικής σημασίας και μικρής δυναμικότητας αναπτύσσονται στους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) και στους οφθαλμογνεύσιους (gn) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων. Αμφότεροι οι ανωτέρω σχηματισμοί παρουσιάζουν προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και έντονη διάρρηξη και κατατάσσονται στα σκληρά διερρηγμένα πετρώματα.

Στους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) αναπτύσσονται πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες τόσο στον αποσαθρωμένο μανδύα όσο και στη διερρηγμένη ζώνη, ενώ στους οφθαλμογνεύσιους (gn) πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στον αποσαθρωμένο μανδύα και μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στη διερρηγμένη ζώνη. Η τροφοδοσία του συνόλου των ανωτέρω υδροφόρων οριζόντων πραγματοποιείται αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και των οφθαλμογνευσίων (gn) συντελείται από πηγάδια στις περιοχές με σχετικά ομαλό ανάγλυφο και πλήθος μικροπηγών που εκδηλώνονται διάσπαρτα, με κυμαινόμενη παροχή της τάξης των $(2-4)m^3/24ωρο$ και κάλυπταν μεμονωμένες ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης των επιμέρους ιδιωτικών αγροκτημάτων. Η κατασκευή μικρών δεξαμενών χωρητικότητας $(2-3)m^3$ για την αποθήκευση ποσοτήτων νερού, δίπλα στο σημείο εκδήλωσης των μικροπηγών, ήταν κοινή τακτική στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των έστω και ελάχιστων υδατικών πόρων. Η παροχή των μικροπηγών αποτελεί άμεση συνάρτηση της έκτασης και του πάχους του αποσαθρωμένου μανδύα που εκφορτίζουν, καθώς και των βροχοπτώσεων. Το σύνολο σχεδόν των μικροπηγών αυτών έχουν στερέψει ή έχει περιοριστεί πάρα πολύ η παροχή τους με το πέρασμα των δεκαετιών και το συνεχή περιορισμό των βροχοπτώσεων. Η πλέον γνωστή και αξιόλογη πηγή της κατηγορίας αυτής είναι η πηγή του Κρητικού (S05) (Κουρμούλης, 1980; Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010).

Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογνευσίων (gn) διαχρονικά γινόταν από πηγές, κυρίως υπερπλήρωσης. Οι πλέον αξιόλογες από αυτές είναι της Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04), οι οποίες κάλυπταν τις υδρευτικές ανάγκες της Χώρας, της Ψάθης και της Αγίας Θεοδότης αντίστοιχα.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προαναφερθέντων πηγών είναι η εκδήλωσή τους σε χαμηλό σχετικά υψόμετρο ($<150m$), εντός των μισογάνγειων ρεμάτων με μεγάλης έκτασης υδρολογικές λεκάνες, περιμετρικά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m). Επισημαίνεται, επιπλέον, πως η τροφοδοσία τους συντελείται αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

Από την αξιολόγηση των μετρήσεων της παροχής των πηγών προκύπτει, συνεχής μείωση της παροχής των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04) και συνεπάγεται συστηματική και διαχρονική ποσοτική υποβάθμιση της υδροφορίας της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογνευσίων (gn) που εκφορτίζουν. Αντίστοιχη εικόνα συνεχούς μείωσης της παροχής έως και ολική στέρηση παρουσιάζει η πηγή Κρητικού (S05), η οποία

υποδηλώνει συστηματική και διαχρονική ποσοτική υποβάθμιση της υδροφορίας του αποσαθρωμένου μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) που εκφορτίζει.

Για την περαιτέρω εκμετάλλευση της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογενευσίων (gn) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) ανορύχτηκαν υδρογεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Οι περισσότερες από τις δημοτικές υδρογεωτρήσεις έχουν ανορυχτεί και εκμεταλλεύονται την υδροφορία αυτή (B06, B07, B08, B09, B10, B11 και B12), ενώ υπάρχουν και πολλές ιδιωτικές (B01, B02 και B04).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της ειδικής ικανότητας (specific capacity) ή ειδικής παροχής των ανωτέρω υδρογεωτρήσεων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από μετρήσεις στάθμης σε ιδιωτικές και δημοτικές υδρογεωτρήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές που κατά θέσεις ξεπερνούν τα 35 μέτρα στα δυτικά και νοτιοδυτικά του Κάστρου ή Πύργου και είναι της τάξης των 15 μέτρων στο νότιο περιθώριο της προσχωσιγενούς λεκάνης του Μυλοπότα. Επισημαίνεται, πως η παροχή άντλησης των ανωτέρω δημοτικών υδρογεωτρήσεων ήταν της τάξης των $(4,5-7,5)m^3/h$ στις 12-08-2018.

Εν κατακλείδι, καταγράφεται μια συνεχής ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδροφόρων οριζόντων της Ίου, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη συνεχώς πτωτική τάση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού προς αναπλήρωση και εμπλουτισμό των υδροφόρων οριζόντων, που οφείλεται στη μείωση των βροχοπτώσεων και στον τρόπο εκδήλωσής τους, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

The Cyclades islands have been experiencing over time problems of water scarcity, due to limited water resources. The last decades precipitation over the south Aegean islands displays generally a larger variance and has a tendency of becoming dryer, compared to long-term climatic normal (Nastos & Zerefos, 2010) because of climate changes. Reduced precipitation can affect the sustainability, quantity and quality of water resources. The natural shortage of water resources is exacerbated by increasing water consumption for human needs, such as the expansion of irrigated land and the development of urban, industrial and touristic areas.

These conditions reinforce the necessity to improve water management in order to ensure the necessary quantity of water supply. This necessity becomes stronger in areas with complex geological setting, with relatively small aquifers and tangential (with hydraulic communication) to the sea, where overpumping and the expected minimum natural renewal due to the dry climate, leads to a significant drawdown in water table, resulting sometimes in the salinization of groundwater.

The municipal water supply of Ios Island has been reinforced by a series of projects and interventions, mainly focusing to the summer period due to tourism where water demand surpasses by far water availability, consisting of:

- New deep boreholes.
- Construction and operation of the water reservoir of Mylopotamos with a total capacity of 215,000m³.
- Construction and operation of Mylopotas desalination plant with a total capacity of 1,000m³/day.

Given the climate change that has taken place in recent years, there is a continuous quantitative and qualitative degradation of Ios Island water resources. Indicatively, it is reported that it has been recorded:

- Partial or total recession of springs discharges.
- Significant drawdown of wells and boreholes water tables.
- The water reservoir of Mylopotamos was totally empty in 2000 and 2018, due to the prolonged drought.

The Ios Island almost entirely comprises of metamorphic rocks and Quaternary formations unconformably cover them (Van Der Maar & Jansen, 1981). The metamorphic rocks are including the dominant unit of the Cycladic Blueschist Unit (CBU) which is located mainly in the north part of the island and in scattered outcrops in the south. The CBU is tectonically overlying the Cycladic Basement Unit which constitutes the Variscan basement and is demonstrated in the central and south part of the island.

Three main aquifer systems developed on Ios Island include (Kourmoulis, 1980; Papadopoulos & Stergiopoulos, 2000; JV of Aegean Watersystems, 2005; Giannouloupoulos & Lappas, 2010):

- The shallow aquifer system in porous Quaternary formations.
- The karstic aquifer system in the carbonate rocks of the Cycladic Blueschist Unit (CBU).
- The aquifer system (both shallow and deep) in the fractured hard rocks mainly of the Cycladic Basement Unit.

Precipitation is the direct recharge of the three aforementioned aquifer systems. It should be mentioned, that the overlying, shallow aquifer system is also indirectly recharged from the streams runoff during the winter months and from the formations of the Cycladic Blueschist Unit (CBU) and mainly of the Cycladic Basement Unit (augengneiss and garnet-mica schists). However, even this indirectly recharge depends on the precipitation.

The shallow, porous aquifer system of Mylopotas, Manganari, Psathi, Koumbara and Kato Kambos is encountering continuous quantitative and qualitative degradation, due to restriction of precipitation during the winter months and overpumping during the summer months.

The karstic aquifer system of the north part is being discharged in the Aegean sea and therefore, it is not of particular hydrogeological interest.

The aquifer system in the fractured hard rocks mainly of the Cycladic Basement Unit occurs in the weathered zone (shallow) and in the fractured zone (deep) of the garnet-mica and the augengneiss and is encountering continuous and over time quantitative degradation since:

- The great majority of small springs which discharge the weathered zone has suffered partial or total recession through the years, due to the restriction of the precipitation and the prolonged drought.
- The time fluctuation from 1976 until today of the springs discharges, named Epano Desi, Kato Desi, Psathi and Aghia Theodoti, which discharge the fractured zone of the augengneiss shows both continuous recession and flow, covering even today the water supply of some settlements. It should be mentioned, that in the recharge areas (hydrogeological basins) of the aforementioned springs there are no wells and boreholes and therefore, their continuous discharge recession is due to restriction of the precipitation and the prolonged drought.
- The time fluctuation from 2005 until today of the fractured zone water table of the augengneiss shows drawdown which exceeds 35 meters in the west and southwest of Kastro or Pyrgos and is almost 15 meters in the south margin of the Mylopotas alluvial basin.

In conclusion, a continuous quantitative and qualitative degradation of Ios Island water resources is being recorded which is the result of both the restriction of precipitation during the winter months and therefore of the limited recharge and the overpumping during the summer months of the three main aquifer systems. Furthermore, the direct consequence of the climate change is the often occurrence of extreme hydrometeorological phenomena that favors the runoff instead of infiltration which leads to the restriction of the recharge of the three main aquifer systems.

For the sustainable water resources management of the Ios Island new projects must be planned, such as:

- Artificial recharge for both the shallow, porous aquifer system and the aquifer system (shallow and deep) in the fractured hard rocks mainly of the Cycladic Basement Unit.
- Construction and operation of new water reservoirs.
- Construction and operation of new desalination plants.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Κυκλάδες διαχρονικά παρουσίαζαν έντονα φαινόμενα λειψυδρίας, τα οποία τα τελευταία 30 κυρίως χρόνια οξύνονται περαιτέρω, εξαιτίας της «κλιματικής αλλαγής» και της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης, κυρίως από τον τουριστικό τομέα. Είναι χαρακτηριστικό, πως η καλοκαιρινή τουριστική περίοδος ταυτίζεται με τις περιόδους μέγιστης ζήτησης και ελάχιστης προσφοράς διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επάρκεια των υδατικών πόρων στις Κυκλάδες διαχωρίζονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς.

Φυσικοί παράγοντες

- Ξηρά υδρολογικά έτη με μικρά ετήσια ύψη βροχής και γενικά περιορισμένα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.
- Εκτεταμένη επιφανειακή ανάπτυξη γεωλογικών σχηματισμών με περιορισμένη περατότητα, οι οποίοι δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων ικανοποιητικής δυναμικότητας.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες, η μεγάλη ηλιοφάνεια και τα μελτέμια ευνοούν την εξάτμιση.
- Η περιορισμένη έκταση των νησιών και οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή σε αντίθεση με την κατείδυση και περιορίζουν την τροφοδοσία και εμπλουτισμό των υδροφόρων οριζόντων.
- Η ολόπλευρη προσβολή των νησιών από τη θάλασσα συντελεί σε κατά θέσεις φαινόμενα υφαλμύρισης.

Ανθρωπογενείς παράγοντες

- Μη αιφορική διαχείριση των υφιστάμενων – διαθέσιμων υδατικών πόρων με ταυτόχρονη και συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νέων υδατικών πόρων.

Στην Ίο έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά έργων και παρεμβάσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας και την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Ανόρυξη υδρογεωτρήσεων.
- Κατασκευή της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής του Μυλοποτάμου συνολικής χωρητικότητας 215.000m³.
- Λειτουργία μονάδας αφαλάτωσης στο Μυλοπότα δυναμικότητας 1.000m³/24ωρο.

Δεδομένης της κλιματικής αλλαγής που συντελείται τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται συνεχής ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων της Ίου. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως καταγράφεται:

- στείρευση ή σημαντική μείωση της παροχής των πηγαίων εκφορτίσεων,
- αξιοσημείωτη πτώση στάθμης στις υδρογεωτρήσεις και στα πηγάδια,
- ενώ η λιμνοδεξαμενή του Μυλοπότα τόσο το 2000 όσο και το 2018 δεν είχε καθόλου νερό, εξαιτίας της παρατεταμένης ανομβρίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αποσαφήνισης των υδρογεωλογικών συνθηκών της Ίου και της επικαιροποίησης και αποτύπωσης της διαχρονικής ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών πόρων του νησιού.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενες Μελέτες που έχουν εκπονηθεί κυρίως από δημόσιους φορείς και επιπλέον πραγματοποιήθηκαν εργασίες πεδίου που περιελάμβαναν μετρήσεις παροχής, στάθμης και φυσικοχημικών παραμέτρων σε σημεία υδροληψίας κατά τον Αύγουστο του 2018.

Στις υφιστάμενες Μελέτες περιλαμβάνονται οι εξής:

1. Υδρογεωλογική Έρευνα Κυκλάδων – Ίος, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Κουρμούλης, 1980.

2. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Εσωποτάμιας Λιμνοδεξαμενής Μυλοποτάμου, Νήσου Ίου, Υπουργείο Γεωργίας, Έψιλον ΕΠΕ, 1996.
3. Μελέτη ξηρασίας νήσων Σίφνου – Ίου, Νομαρχία Κυκλάδων, Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000.
4. Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος νήσων Αιγαίου, Τεύχος 19 – νήσος Ίος, Υπουργείο Ανάπτυξης, Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005.
5. Καταγραφή και Αποτίμηση των Υδρογεωλογικών Χαρακτήρων των Υπόγειων Νερών και των Υδροφόρων Συστημάτων της Χώρας, Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), 2010.
 - Απογραφή Σημείων Ύδατος, Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14), Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010.
 - Μετρήσεις Υπαίθρου (Υδρομετρήσεις – Φυσικοχημικές), Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14), Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010.
 - Χημικές Αναλύσεις Υπόγειων Νερών (Γενικές – Ειδικές – Ιχνοστοιχεία – Ισότοπα), Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14), Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010.
 - Υδρογεωλογική Μελέτη, Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14), Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010.
6. Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14), Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΑΠΕΝ), Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), 2015.
7. 1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (EL14), Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ), Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ), 2017.

2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Η νήσος Ίος βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Κυκλαδικού νησιωτικού συμπλέγματος, καταλαμβάνει έκταση 108,45km² και μοιάζει με παραλληλόγραμμο με τον επιμήκη άξονα να έχει μήκος περίπου 18km και τον εγκάρσιο 8,5km (Εικ.2-1). Η μορφολογία της νήσου είναι ημιορεινή, με κύριο χαρακτηριστικό την ύπαρξη ενός κύριου ορεογραφικού άξονα διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ, ο οποίος συμπίπτει με τον επιμήκη άξονα, καθώς και δευτερευόντων αξόνων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ στο κεντρικό της τμήμα.

Οι πολυάριθμες προσχωσιγενείς κοιλάδες που αναπτύσσονται περιμετρικά της νήσου παρουσιάζουν ομαλά πρηνή και μικρό εύρος στις απολήξεις τους στις ακτές που δε ξεπερνά τα 300m. Σημαντικότερες θεωρούνται οι κοιλάδες Κάτω Κάμπου, Μυλοπότα, Αγίας Θεοδότης, Ψάθης και Μαγγαναρίου, το εύρος των οποίων φτάνει περίπου στα 600m. Ο οριζόντιος διαμελισμός είναι αρκετά έντονος, όπως καταδεικνύει η ύπαρξη πολυάριθμων όρμων, κολλίσκων, ακρωτηρίων και μικρών χερσονήσων (Εικ.2-1), ενώ οι ακτές είναι απότομες και σε πολλές θέσεις βραχώδεις.

2.2 Γεωμορφολογικές ενότητες

Στην Ίο απαντούν τρεις κύριες γεωμορφολογικές ενότητες και συγκεκριμένα (Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000):

- Ο παλαιός δόμος, που περιλαμβάνει την ορεινή περιοχή της κεντρικής – νότιας Ίου.
- Το οροπέδιο του Επάνω Κάμπου.
- Η ορεινή περιοχή της βόρειας Ίου.

Η ορεινή περιοχή της κεντρικής – νότιας Ίου καταλαμβάνει τα $\frac{3}{4}$ της συνολικής έκτασης της νήσου. Το μέγιστο υψόμετρο εμφανίζεται στην κορυφή Κάστρο ή Πύργος (714m) και πλησίον αυτής εντοπίζονται οι κορυφές Μεγάλο Βουνί (706m), Κώστιζα (586m) και Προφήτης Ηλίας (519m). Περιμετρικά της ορεινής περιοχής της κεντρικής – νότιας Ίου, από ανατολικά προς δυτικά, σχηματίζονται οι όρμοι Αγίας Θεοδότης, Ντόμινου, Ψάθης, Αγίας Κυριακής, Κάλामου, Παπά, Τριών Εκκλησιών, Μαγγαναρίου, Χαμουχάδων, Πικρού Νερού, Κλήματος, Μυλοποτάμου και Λιμένα Ίου (Εικ.2-1). Ανάντη των όρμων Αγίας Θεοδότης, Ψάθης, Μαγγαναρίου, Μυλοποτάμου και Λιμένα Ίου σχηματίζονται παράκτιες προσχωσιγενείς κοιλάδες. Προς τα βόρεια το μορφολογικό ανάγλυφο κατέρχεται βαθμιαία προς το οροπέδιο του Επάνω Κάμπου.

Το οροπέδιο του Επάνω Κάμπου αποτελείται από ένα επίπεδο μέσου υψομέτρου 120m που περιβάλλεται από λοφοσειρές. Προς τα νοτιοδυτικά διαχωρίζεται από την προσχωσιγενή κοιλάδα της Ίου (Κάτω Κάμπος) από το λόφο του Αγίου Μηνά.

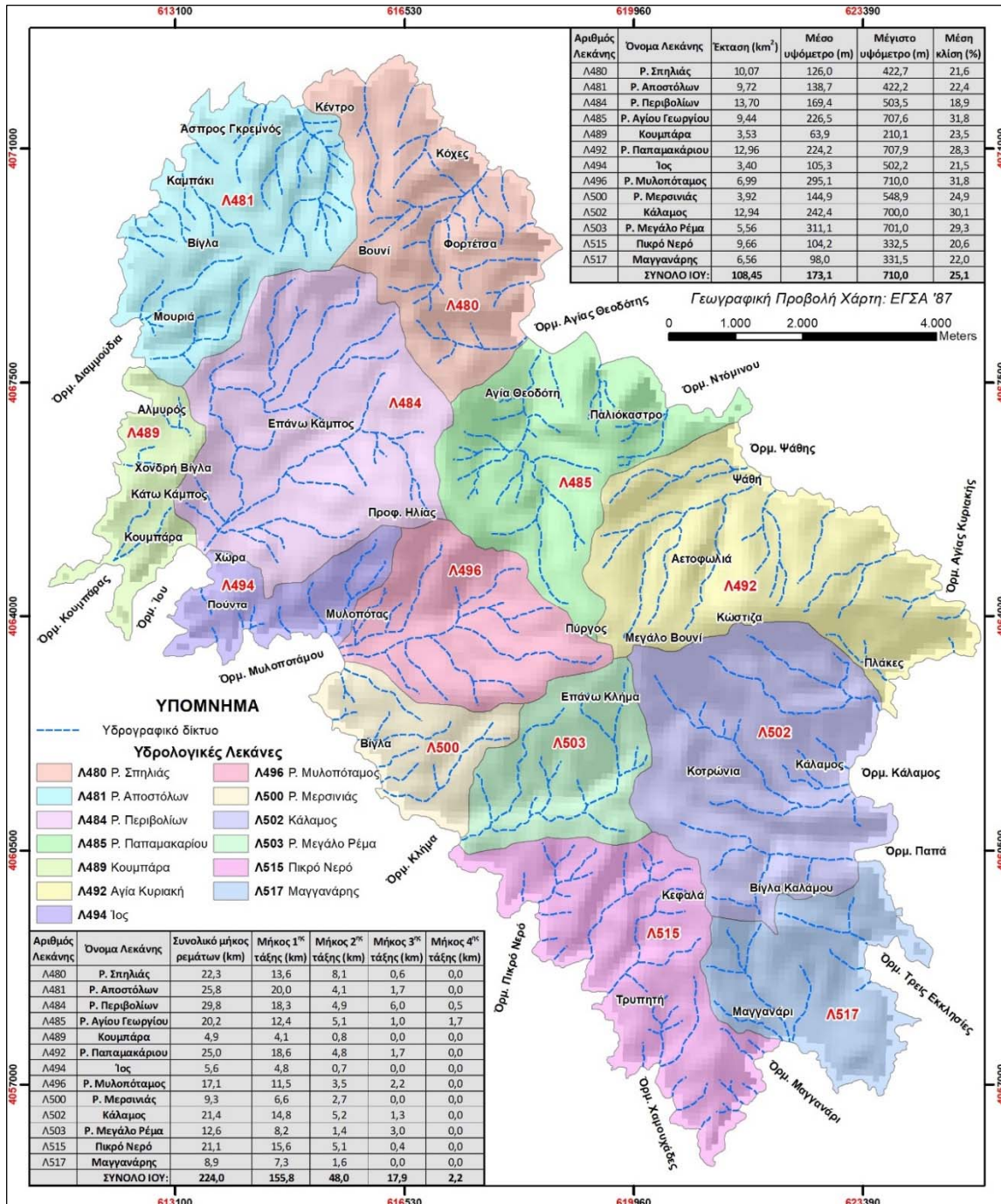
Η ορεινή περιοχή της βόρειας Ίου σχηματίζεται σαν αψίδα στο βορειοδυτικό άκρο του παλαιού δόμου. Η αψίδα στο υψηλότερο – κεντρικό τμήμα της (Βουνί, 419m) σχηματίζει μια τραπεζοειδή επιφάνεια. Γύρω από το Βουνί, βρίσκονται πεταλοειδώς, οι μεγαλύτερες κορυφές της βόρειας ορεινής περιοχής της νήσου και συγκεκριμένα Κόφο Ρέθι (260m), Φορτέτσα (251m), Σπηλιά (289m), Βίγλα (287m), Βιγλάρι (281m), Αγίας Βαρβάρας Ράχη (335m). Προς τα ΝΝΔ η αψίδα προεκτείνεται και σχηματίζει τη ράχη Χονδρή Βίγλα (244m), ενώ κατέρχεται βαθμιαία προς τη θάλασσα και σχηματίζει μόνο στα δυτικά τους όρμους Διαμμούδια και Κουμπάρα. Ανάντη του όρμου Κουμπάρας σχηματίζεται μια μικρή παράκτια προσχωσιγενής κοιλάδα. Προς τα νότια η αψίδα κατέρχεται βαθμιαία προς το οροπέδιο του Επάνω Κάμπου, ενώ προς τα ΔΝΔ κατέρχεται με μεγάλες κλίσεις προς τον Κάτω Κάμπο.

2.3 Υδρολογικές λεκάνες

Η Ίος χωρίζεται σε 13 υδρολογικές λεκάνες με επιφάνειες που κυμαίνονται από 3,4km² (υδρολογική λεκάνη Λ494 – Ίος) έως 13,7km² (υδρολογική λεκάνη Λ484 – Ρ. Περιβολίων), οι οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 2-1. Το μέσο υψόμετρο τους ανέρχεται σε 173,1m, το μέγιστο σε 710,0m και η μέση κλίση σε 25,1% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Εικ.2-1).

2.4 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο της Ίου έχει ακτινωτή διάταξη με τους κλάδους να αναπτύσσονται σχεδόν κάθετα προς την ακτογραμμή (Εικ.2-1). Το συνολικό μήκος τους ανέρχεται στα 224,0km. Τα κυριότερα υδατορέματα είναι της Σπηλιάς (3^{ης} τάξης κατά Strahler), των Αποστόλων (3^{ης} τάξης), των Περιβολίων (3^{ης} τάξης), του Αγίου Γεωργίου (4^{ης} τάξης), του Παπαμακάριου (3^{ης} τάξης), του Μυλοποτάμου (3^{ης} τάξης), της Μερσινιάς (2^{ης} τάξης) και του Μεγάλου Ρέματος (3^{ης} τάξης) (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Εικ.2-1).



Εικόνα 2-1: Υδρολογικές λεκάνες (αριθμός και όνομα λεκάνης, έκταση, μέσο και μέγιστο υψόμετρο, μέση κλίση) και υδρογραφικό δίκτυο (συνολικό μήκος ρεμάτων, μήκη κλάδων 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} τάξης κατά Strahler) της Ίου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή

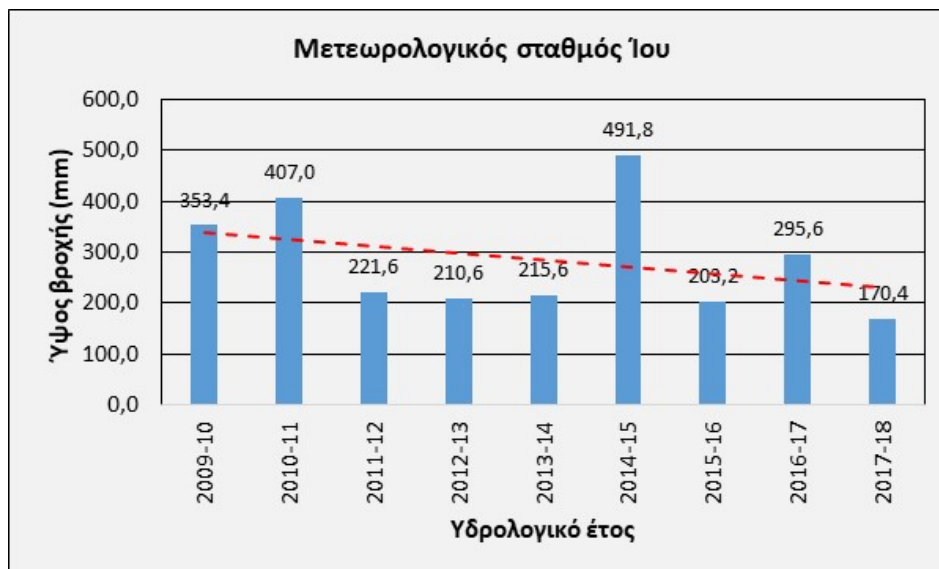
Η περιοχή της Ίου ανήκει στην κλιματική περιοχή του Αιγαίου (χερσαία μεσογειακή), η οποία περιλαμβάνει ολόκληρη τη νοτιοανατολική Ελλάδα μέχρι τη Θεσσαλία και τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη (Μαριολόπουλος, 1938). Το κλίμα της περιοχής αυτής είναι ξηρό και χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιο χειμώνα. Το ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων είναι μικρό, ενώ το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ (13,7-19,0)°C.

Βιοκλιματικά η Ίος ανήκει στον έντονο θερμο-μεσογειακό τύπο $125 < X < 150$ (X = αριθμός των βιολογικά ξηρών ημερών κατά τη θερμή περίοδο) και στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με θερμό χειμώνα, όπου $m > 7^{\circ}\text{C}$ (m =μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα). Σύμφωνα με την κατάταξη κατά Thornthwaite (Καρράς, 1973), το βιοκλίμα της περιοχής είναι τύπου DdB3' b4' (ημίξηρο με μικρό πλεόνασμα ύδατος το χειμώνα, μεσόθερμο, που λόγω της γειτνίασης με τη θάλασσα υφίσταται την επίδρασή της στη διαμόρφωση του θερμικού του χαρακτήρα).

3.2 Βροχοπτώσεις

Το ΥΠΑΑΤ είχε εγκαταστήσει στην περιοχή Μυλοποτάμου της Ίου μετεωρολογικό σταθμό για την καταγραφή δεδομένων βροχόπτωσης και εξάτμισης. Ο σταθμός λειτούργησε για 7 υδρολογικά έτη (Ιούλιος 1997 έως Απρίλιος 2003). Τα δεδομένα της περιόδου αυτής δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν, καθώς παρουσιάζουν πολλά κενά στις χρονοσειρές των μετρήσεων (ο σταθμός διαθέτει δεδομένα 36 μηνών διασκορπισμένα στην περίοδο λειτουργίας).

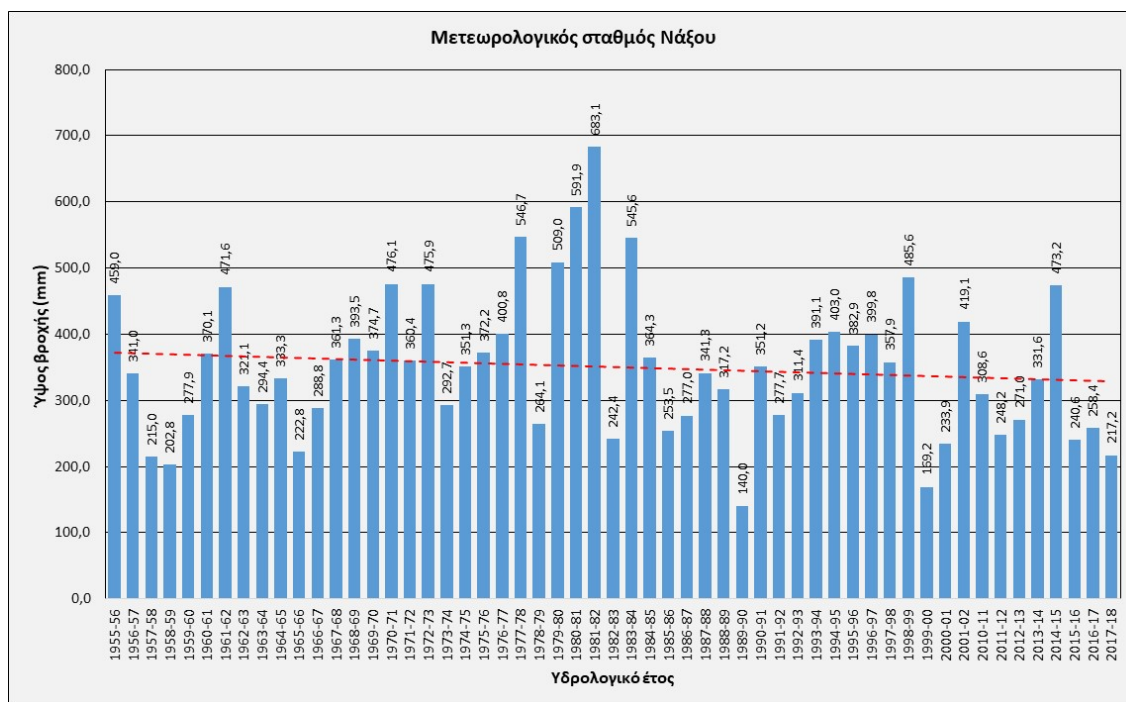
Εν συνεχεία, το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών εγκατέστησε αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό στην Ίο (<http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>), ο οποίος λειτουργεί από τον Ιούλιο του 2009 έως σήμερα. Στην Εικόνα 3-1 παρουσιάζονται τα ετήσια ύψη βροχής για τα υδρολογικά έτη 2009-2010 έως και 2017-2018, για τα οποία το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 285,5mm. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή έχει σημειωθεί η γραμμή τάσης (trendline), η οποία δείχνει σαφή τάση μείωσης των βροχοπτώσεων για το ανωτέρω χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3-1: Ετήσια ύψη βροχής αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού Ίου ιδιοκτησίας Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τα υδρολογικά έτη 2009-2010 έως και 2017-2018 (<http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>). Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η γραμμή τάσης (trendline).

Για την ποσοτική περιγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων και δεδομένης της μικρής περιόδου λειτουργίας του μετεωρολογικού σταθμού Ίου, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία του πλησιέστερου και πλέον αντιπροσωπευτικού μετεωρολογικού σταθμού της ΕΜΥ που λειτουργεί στη Νάξο από το 1955.

Στην Εικόνα 3-2 παρουσιάζονται τα ετήσια ύψη βροχής για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 (<http://www.hnms.gr/emyl/el/>), για τα οποία το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 350,3mm. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή έχει σημειωθεί η γραμμή τάσης (trendline), η οποία δείχνει σαφή τάση μείωσης των βροχοπτώσεων για το ανωτέρω χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3-2: Ετήσια ύψη βροχής μετεωρολογικού σταθμού Νάξου ιδιοκτησίας ΕΜΥ για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται η γραμμή τάσης (trendline).

Στον Πίνακα 3-1 δίνονται τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής σε χιλιοστά (Ρ σε mm), οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας (Τ σε °C), καθώς και η ποσοστιαία συμμετοχή κάθε μήνα στο μέσο ετήσιο ύψος βροχής του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018.

Τη θερινή περίοδο οι βροχοπτώσεις σπανίζουν και οι ξηρότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με μέσο ύψος βροχής 0,8mm και 1,6mm αντίστοιχα. Οι πλέον υγροί μήνες είναι ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος με μέσο ύψος βροχής 65,6mm και 66,1mm αντίστοιχα, όπου πέφτει το 37,6% του συνολικού ετήσιου ύψους βροχής (Πίν.3-1). Οι χιονοπτώσεις αποτελούν σπάνιο φαινόμενο. Οι καταιγίδες αποτελούν συνηθισμένο γεγονός την περίοδο Οκτωβρίου – Φεβρουαρίου, ενώ αραιώνουν την περίοδο Μαΐου – Αυγούστου.

Πίνακας 3-1: Μέσα μηνιαία ύψη βροχής σε χιλιοστά (Ρ σε mm), μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας (Τ σε °C) και ποσοστιαία συμμετοχή κάθε μήνα στο μέσο ετήσιο ύψος βροχής του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018.

	Ιαν.	Φεβρ.	Μάρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
P (mm)	66,1	51,6	46,3	15,8	10,6	2,4	0,8	1,6	6,6	34,4	48,4	65,6
T (°C)	12,1	12,2	13,3	16,0	19,5	23,3	24,9	24,8	22,8	19,6	16,3	13,6
%	18,9	14,7	13,2	4,5	3,0	0,7	0,2	0,5	1,9	9,8	13,8	18,7

3.3 Θερμοκρασία

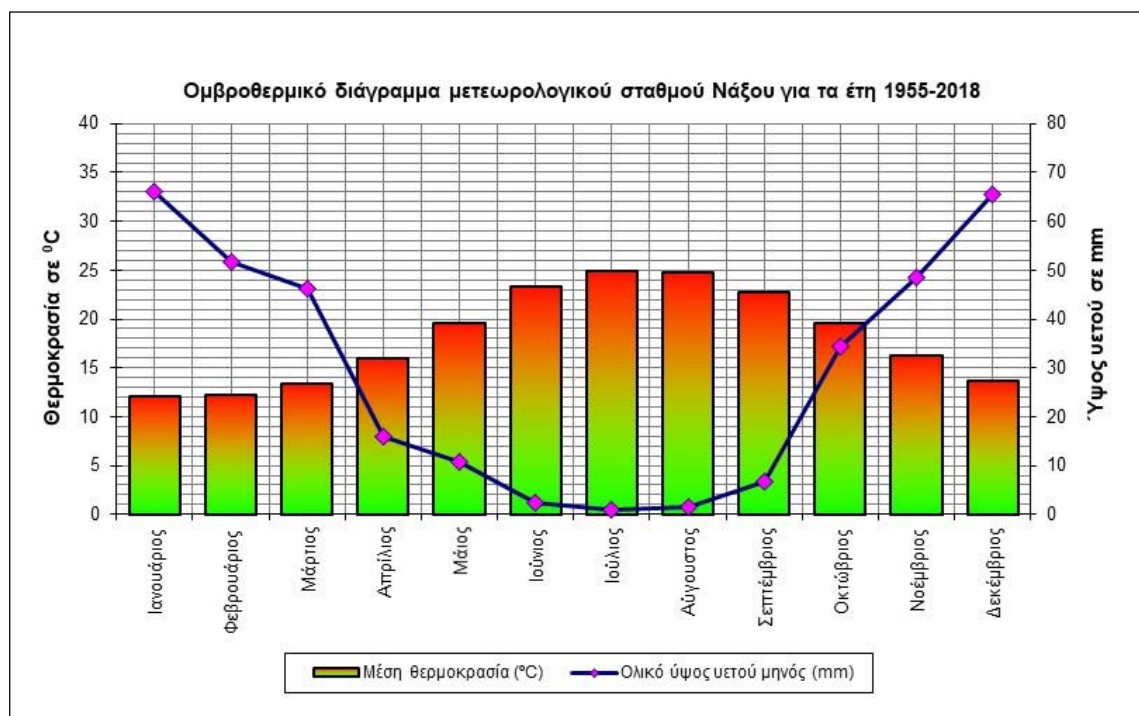
Από την επεξεργασία των δεδομένων θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 προκύπτει, πως η μέση θερμοκρασία είναι 18,2°C (Πίν.3-2). Η αυξομείωση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών που παρατηρούνται καθόλη τη διάρκεια του έτους κυμαίνεται μεταξύ των 12,1°C τους χειμερινούς μήνες και των 24,9°C τους καλοκαιρινούς.

Η χειμερινή περίοδος χαρακτηρίζεται ήπια, σημειώνοντας μέση ελάχιστη θερμοκρασία 9,0°C και μέση μέγιστη 14,4°C, ενώ η καλοκαιρινή δροσερή, σημειώνοντας μέση ελάχιστη θερμοκρασία 22,0°C και μέση μέγιστη 27,0°C. Ακραίες θερμοκρασίες έχουν παρατηρηθεί τον Ιανουάριο (-4,0°C) και τον Ιούλιο (37,4°C).

Η κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας παρατίθενται από κοινού στο ομβροθερμικό διάγραμμα (Εικ.3-3).

Πίνακας 3-2: Ελάχιστη μηνιαία, μέγιστη μηνιαία και μέση μηνιαία θερμοκρασία του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 (<http://www.hnms.gr/emv/el/>).

	Ιαν.	Φεβρ.	Μάρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία T (°C)	9,5	9,3	10,2	12,4	15,6	19,5	21,9	22,0	19,9	16,9	13,6	10,9
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία T (°C)	14,3	14,5	15,6	18,6	22,0	25,8	26,9	26,7	24,8	21,8	18,7	15,8
Μέση μηνιαία θερμοκρασία T (°C)	12,1	12,2	13,3	16,0	19,5	23,3	24,9	24,8	22,8	19,6	16,3	13,6



Εικόνα 3-3: Ετήσιο ομβροθερμικό διάγραμμα με βάση δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου ιδιοκτησίας ΕΜΥ.

3.4 Σχετική υγρασία – νέφωση

Η σχετική υγρασία εμφανίζει μικρή ετήσια διακύμανση και κυμαίνεται από 68,7% μέχρι 74,5%. Παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της το μήνα Δεκέμβριο, ενώ την ελάχιστη τον Ιούνιο. Μέσες μηνιαίες τιμές >70% σημειώνονται από Αύγουστο μέχρι Μάιο, ενώ <70% τους μήνες Ιούνιο – Ιούλιο.

Η περίοδος των μηνών Ιουλίου – Αυγούστου παρουσιάζει ανέφελο ουρανό, ενώ αντίθετα το διάστημα μεταξύ Νοεμβρίου – Μαρτίου παρουσιάζει σημαντική αύξηση καταλαμβάνοντας ποσοστό 50% των συνολικών ημερών της περιόδου.

3.5 Επικρατούντες άνεμοι

Οι επικρατούντες άνεμοι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι οι βόρειοι με ποσοστό 43,1% και ακολουθούν οι βορειοανατολικοί και νότιοι με ποσοστά 13,1% και 10,3% αντίστοιχα, όπως προκύπτει από τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Νάξου της ΕΜΥ για τη χρονική περίοδο (1955-1997). Οι νοτιοδυτικοί, νοτιοανατολικοί και βορειοδυτικοί εμφανίζουν μικρότερα ποσοστά, 8,84%, 7,86% και 6,27% αντίστοιχα.

Σε ότι αφορά στην ένταση, οι άνεμοι που πνέουν είναι αρκετά ισχυροί, με επικρατέστερους τους ανέμους έντασης 4B (18,74%). Ισχυρότεροι άνεμοι, έντασης 5B και 6B πνέουν με συχνότητα 12,3% και 10,41% αντίστοιχα. Χαρακτηριστικό των Κυκλάδων είναι η καταγραφή πολύ ισχυρών ανέμων, μέχρι και έντασης 11B, οι οποίοι βέβαια είναι σπάνιοι.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Η Αττικοκυκλαδική μάζα (ΑΚΜ) αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο σε έκταση πολυμεταμορφικό σύμπλεγμα πετρωμάτων κατά μήκος του Αλπικού ορογενετικού συστήματος (Okay *et al.*, 1989; Avigad & Garfunkel, 1991). Θεωρείται μια από τις μεγαλύτερες εμφανίσεις μεταμόρφωσης υψηλών πιέσεων κατά μήκος της αλπικής ορογένεσης και αποτελεί το καλύτερο παράδειγμα μεταμόρφωσης κυανοσχιστολιθικής φάσης σε ζώνες ηπειρωτικής σύγκρουσης (στη Σύρο βρέθηκε για πρώτη φορά το ορυκτό «γλαυκοφανής» το 1845 από τον Hausmann).

Στην Αττικοκυκλαδική μάζα έχουν διακριθεί τέσσερις τεκτονικές ενότητες, οι οποίες τοποθετήθηκαν η μία πάνω στην άλλη κατά τη διάρκεια του Άνω Ηωκαίνου – Άνω Ολιγοκαίνου (Godfriaux, 1962; Dürr *et al.*, 1978; Bonneau, 1984). Από τα ανώτερα προς τα κατώτερα δομικά βάθη, οι ενότητες αυτές διαρθρώνονται ως εξής:

- **Ανώτερη Ενότητα Κυκλάδων (Upper Cycladic Unit)**

Αντιπροσωπεύει την πλέον ανώτερη ενότητα και είναι ομόλογη της Πελαγονικής ενότητας (Pelagonian unit) της ηπειρωτικής Ελλάδας (Dürr *et al.*, 1978; Bonneau, 1984; Jolivet *et al.*, 2004b; Augier *et al.*, 2014). Στην περιοχή των Κυκλάδων, τα πετρώματα της ενότητας αυτής εντοπίζονται σε υπολειμματικές εμφανίσεις τεκτονικών ρακών, να υπέρκεινται της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit). Η Ανώτερη ενότητα Κυκλάδων αποτελείται από οφιολιθικά πετρώματα (Άνδρος, Τήνος, Μύκονος, Κέα, Σέριφος) (Melidonis, 1980; Jolivet *et al.*, 2010; Grasemann *et al.*, 2012; Augier *et al.*, 2014) ή γνεύσιους και σχιστόλιθους (Τήνος, Σύρος, Ανάφη, Δονούσα) (Dürr *et al.*, 1978; Reinecke *et al.*, 1982; Maluski *et al.*, 1987; Patzak *et al.*, 1994; Katzir *et al.*, 1999; Soukis & Stockli, 2013). Δελταϊκού τύπου θαλάσσια και ηπειρωτικά ιζήματα εντοπίζονται σε Πάρο, Νάξο, Ικαρία, Ανάφη και Μύκονο (Jansen, 1977; Angelier *et al.*, 1978; Papanikolaou, 1980; Boger, 1983; Sanchez-Gomez *et al.*, 2002; Kuhlemann *et al.*, 2004).

- **Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit)**

Πρόκειται για την κυρίαρχη ενότητα των Κυκλάδων (CBU), η οποία αποτελείται από μεταβασικά πετρώματα σε ενδιαστρώσεις με μάρμαρα και μεταϊζήματα (Papanikolaou, 1976,1977,1978; Jansen, 1977; Blake *et al.*, 1981; Bonneau, 1984; Avigad & Garfunkel, 1991; Keiter *et al.*, 2004; Augier *et al.*, 2014). Περιλαμβάνει τις ενότητες Βόρειων Κυκλάδων (κυανοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση HP/LT και ανάδρομη πρασινοσχιστολιθικού τύπου LP/HT) και Νότιων Κυκλάδων (πρασινοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση LP/HT) (Παπανικολάου, 1986,2015). Σημαντικές εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων και μεταβασιτών, οι οποίες προέρχονται από μεσο-ωκεάνιες ράχεις εμφανίζονται στη Σύρο (Bonneau *et al.*, 1980a,1980b; Keiter *et al.*, 2004; Augier *et al.*, 2014). Η ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων θεωρείται το μεταμορφωμένο ισοδύναμο της ενότητας Πίνδου της ηπειρωτικής Ελλάδας (Bonneau, 1984; Papanikolaou, 1987; Brocker & Pidgeon, 2007; Augier *et al.*, 2014).

- **Ενότητα Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit)**

Η ενότητα Βάσης Κυκλάδων, ενότητα Χώρας κατά Bonneau (1984), περιλαμβάνει γρανιτοειδή, ορθογνεύσιους και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, Βαρύσκιας ηλικίας (Papanikolaou, 1977,1980; Jansen, 1977; Dürr *et al.*, 1978; Andriessen *et al.*, 1987; Keay, 1998; Engel & Reischmann, 1998). Εμφανίζεται σε Πάρο, Νάξο, Σίκινο, Σέριφο και Ίο και θεωρείται τμήμα της Απούλιας πλατφόρμας (Apulian platform) (Bonneau & Kienast, 1982; Keay & Lister, 2002).

Επισημαίνεται, πως η ενότητα Βάσης Κυκλάδων έχει υποστεί στη Νάξο και στην Πάρο μερική τήξη σε αμφιβολιτικές έως γρανουλιτικές συνθήκες (Jansen & Schuiling, 1976; Jansen, 1977; Buick, 1988; Buick & Holland, 1989; Katzir *et al.*, 1999; Duchene *et al.*, 2006; Grasemann *et al.*, 2012).

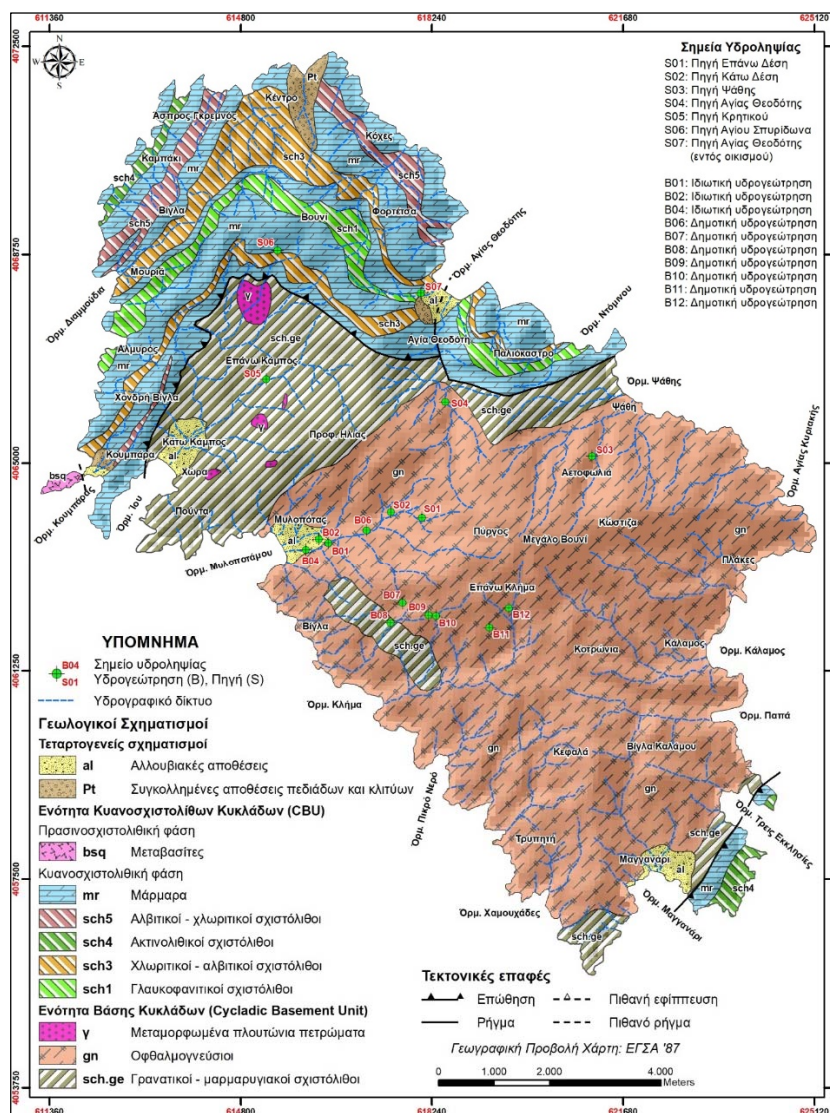
• **Ενότητα Βάσης (Basal Unit)**

Η ενότητα Βάσης, η οποία είναι τμήμα των Εξωτερικών Ελληνίδων, αποτελείται από μια σειρά μαρμάρων, ηλικίας Τριαδικό – Καινοζωικό, και από έναν υπερκείμενο Ηωκαινικό μεταφλύσχη (Godfriaux, 1968; Dürr *et al.*, 1978; Dubois & Bignot, 1979; Θεοδωρόπουλος, 1979; Παπανικολαου, 1979). Η ενότητα Βάσης υπόκειται τεκτονικά της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων στο όρος Όλυμπος, στην Εύβοια και στη Σάμο (Avigad & Garfunkel, 1989; Ring *et al.*, 1999a,199b). Για το λόγο αυτό αναφέρεται και ως ενότητα Ολύμπου – Αλμυροποτάμου – Κερκετέα (Παπανικολάου, 1986,2015).

4.2 Γεωλογία Ίου – Στρωματογραφία

4.2.1 Εισαγωγή

Η Ίος αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μεταμορφωμένα πετρώματα, πάνω στα οποία έχουν αποθεθεί ασύμφωνα περιορισμένες εμφανίσεις Τεταρτογενών σχηματισμών. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ίου περιλαμβάνουν την κυρίαρχη ενότητα των Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit) που εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα και σε υπολειμματικές εμφανίσεις στο νότιο, η οποία υπέρκειται τεκτονικά του Παλαιοζωικού υποβάθρου (Βαρύσκια ηλικία) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit) που καταλαμβάνει το κεντρικό και νότιο τμήμα (Εικ.4-1).



Εικόνα 4-1: Γεωλογικός χάρτης Ίου (Van Der Maar & Jansen, 1981) με τροποποιήσεις και σημεία υδροληψίας.

Το σύνολο σχεδόν της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) περιλαμβάνουν πετρώματα που έχουν υποστεί κυανοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση (HP/LT) και ανάδρομη πρασινοσχιστολιθικού τύπου (LP/MT), με εξαίρεση μια υπολειμματική εμφάνιση στη χερσόνησο Διακοφτό, η οποία έχει υποστεί πρασινοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση (LP/MT) (Εικ.4-1). Ο διαχωρισμός τους γίνεται με τεκτονική επαφή μικρής κλίσης.

Στη συνέχεια περιγράφεται διεξοδικά η λιθοστρωματογραφική στήλη του νησιού.

4.2.2 Τεταρτογενείς σχηματισμοί

Αλλουβιακές αποθέσεις (al)

Πρόκειται για σχηματισμούς παράκτιων προσχωσιγενών κοιλάδων, αποθέσεις και αναβαθμίδες χειμάρρων, αποτελούμενες από άμμο, ιλύ και χάλικες, καθώς και κορήματα από τα πετρώματα που τις περιβάλλουν (Van Der Maar & Jansen, 1981). Το πάχος του σχηματισμού δε ξεπερνά τα 25 μέτρα. Εμφανίζονται στις περιοχές Μυλοπότα, Μαγγαναρίου, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου (Εικόνες 4-1 & 4-2).



Εικόνα 4-2:
Άποψη της παράκτιας
προσχωσιγενούς κοιλάδας
του Μυλοπότα. Όψη προς
βορρά.

Συγκολλημένες αποθέσεις πεδιάδων και κλιτύων (Pt)

Περιλαμβάνουν κορήματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων (κυρίως μάρμαρα και κυανοσχιστόλιθοι) με καστανόχρωμο ανθρακικό συνδετικό υλικό (Van Der Maar & Jansen, 1981). Η ηλικία του σχηματισμού είναι Πλειστόκαινο και το μέγιστο πάχος ανέρχεται στα 40 μέτρα. Εμφανίζονται στην Αγία Θεοδότη, στο Κέντρο και στην Κουμπάρα (Εικ.4-1).

4.2.3 Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit)

- Πρασινοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση (LP/MT)

Μεταβασίτες (bsq)

Αποτελούνται από χλωρίτη, σερικίτη και πολύ εξαλλοιωμένο αμφίβολο και πλαγιόκλαστο (Van Der Maar & Jansen, 1981). Ο σχηματισμός εντοπίζεται στην περιοχή Κουμπάρα (Εικ.4-1) και εμφανίζεται ιδιαίτερα διερρηγμένος, ενώ διασχίζεται από φλέβες χαλαζία και ασβεσίτη. Πρόκειται για βασικό εκρηξιγενές πέτρωμα που έχει υποστεί μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

- **Κυανοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση HP/LT και ανάδρομη πρασινοσχιστολιθικού τύπου LP/MT**

Μάρμαρα (mr)

Μάρμαρα τεφρά, σκοτεινότεφρα, στρωματώδη, δολομιτωμένα με σώματα διασπορίτη και σιδήρου (Van Der Maar & Jansen, 1981). Περιέχουν μικρούς φακούς χαλαζία και κατά τόπους εμφανίζουν επιφλοιώσεις σιδηρομεταλλευμάτων. Εμφανίζονται σαν επαναλαμβανόμενες τεκτονικές λεπιώσεις, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται συνήθως σχιστόλιθοι, ενώ το συνολικό στρωματογραφικό τους εύρος δε ξεπερνάει τα 100m. Ο σχηματισμός, στη βάση των τεκτονικών λεπιώσεων, έχει ωχροκίτρινη όψη, λόγω αγκεριτίωσης και συχνά παρουσιάζεται σχιστοποιημένος και δολομιτωμένος. Οι μεταβωξίτικοί φακοί (διασπορίτες) έχουν πάχος έως 2m, ενώ οι φακοί σιδήρου έχουν μέγιστο μέγεθος 30×30 μέτρα. Εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της Ίου (Παλιόκαστρο, Χονδρή Βίγλα, Βουνί, Άσπρος Γκρεμνός, Φορτέτσα κλπ.), καθώς και στο νότιο μεταξύ των όρμων Μαγγανάρι και Τρεις Εκκλησίες (Εικόνες 4-1 & 4-3).



Εικόνα 4-3: Άποψη των μαρμάρων (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) στο Πλακωτό (αριστερά) και στο Παλιόκαστρο (δεξιά).

Αλβιτικοί – χλωριτικοί σχιστόλιθοι (sch5)

Ο σχηματισμός έχει χαρτογραφηθεί σε 2 ζώνες. Η πρώτη εντοπίζεται στα βορειοδυτικά της Ίου (περιοχή Κουμπάρα – Χονδρή Βίγλα) και η δεύτερη στα βόρεια (Βίγλα, Άσπρος Γκρεμνός, Κόχες κλπ.) (Εικ.4-1). Η κύρια ορυκτολογική παραγένεση περιλαμβάνει αλβίτη – χλωρίτη – χαλαζία – μοσχοβίτη – επίδοτο (Van Der Maar & Jansen, 1981). Κατά θέσεις εμφανίζονται φακοί από βιοτιτικούς – μαγνητιτικούς σχιστόλιθους και τάλκη.

Ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι (sch4)

Εμφανίζονται στα βορειοδυτικά της Ίου (Καμπάκι) και στα νοτιοανατολικά, μεταξύ των όρων Μαγγανάρι και Τρεις Εκκλησίες (Εικ.4-1). Η κύρια ορυκτολογική παραγένεση της βορειοδυτικής εμφάνισης περιλαμβάνει ακτινόλιθο – χαλαζία – αλβίτη – μοσχοβίτη – χλωρίτη (Van Der Maar & Jansen, 1981).

Χλωριτικοί – αλβιτικοί σχιστόλιθοι (sch3)

Έχουν χαρτογραφηθεί στο βόρειο τμήμα της Ίου σε 2 ζώνες. Η βορειότερη αναπτύσσεται μεταξύ Μουριάς, Κέντρου, Φορτέτσας και Παλιόκαστρο, ενώ η νοτιότερη μεταξύ Χονδρής Βίγλας και Αγίας Θεοδότης (Εικόνες 4-1 & 4-4). Η κύρια ορυκτολογική παραγένεση περιλαμβάνει χλωρίτη – αλβίτη – μοσχοβίτη – χαλαζία – επίδοτο (Van Der Maar & Jansen, 1981). Κατά θέσεις εμφανίζονται γλαυκοφανιτικά πετρώματα αποτελούμενα από στρογγυλεμένα τεμάχια μέγιστης διαμέτρου 3m, τμήματα με ακτινόλιθο και γλαυκοφανή, καθώς και χλωριτικοί σχιστόλιθοι.



Εικόνα 4-4: Εναλλαγές μαρμάρων (mr) με χλωριτικούς – αλβιτικούς σχιστόλιθους (sch3) και γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους (sch1) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) στην Αγία Θεοδότη. Όψη προς ΝΑ.

Γλαυκοφανιτικοί σχιστόλιθοι (sch1)

Εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της Ίου (Αλμυρός, Μουριά, Βουνί, Παλιόκαστρο) (Εικόνες 4-1 & 4-4). Η κύρια ορυκτολογική παραγένεση περιλαμβάνει γλαυκοφανή – κροσσίτη – αλβίτη – μοσχοβίτη – παραγονίτη – χαλαζία (Van Der Maar & Jansen, 1981). Κατά θέσεις εντοπίζεται ακτινόλιθος με γρανάτη, καθώς και σώματα ομφακιτικών – ριβεκιτικών πετρωμάτων, κυρίως στο δυτικότερο τμήμα της εμφάνισης, μέγιστου μεγέθους (3-4)m.

4.2.4 Ενότητα Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit)

Μεταμορφωμένα πλουτώνια πετρώματα (γ)

Περιλαμβάνουν μεταγρανίτες που αποτελούνται από αλβίτη, μοσχοβίτη, βιοτίτη, χαλαζία με λίγο απατίτη και μεταλλικά ορυκτά (Van Der Maar & Jansen, 1981). Εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Χώρας της Ίου και του Επάνω Κάμπου (Εικ.4-1).

Οφθαλμογενέσιοι (gn)

Ο σχηματισμός περιλαμβάνει οφθαλμογενέσιους, οι οποίοι αποτελούνται από μεγακρύσταλλους περθίτη – μικροκλινή, που περιβάλλονται από αλβίτη, μοσχοβίτη και χαλαζία (Van Der Maar & Jansen, 1981). Καταλαμβάνει το σύνολο σχεδόν της κεντρικής και νότιας Ίου (Πύργος, Μεγάλο Βουνί, Αετοφωλιά, Κοτρώνια, Κεφαλά, Τρυπητή, Επάνω Κλήμα κλπ.) (Εικόνες 4-1 & 4-5). Οι οφθαλμογενέσιοι αντιστοιχούν σε γρανίτες που είχαν εισχωρήσει σε κάποιο πέτρωμα που αργότερα μεταμορφώθηκε σε γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους. Κατά θέσεις ο σχηματισμός είναι πλούσιος σε μαρμαρυγία (κοντά στον Πύργο), ενώ τοπικά έχει ισομεγέθεις κόκκους και γρανιτικό χαρακτήρα και μοιάζει με πλουτώνια μεταμορφωμένα σώματα. Μεταξύ των όρων Μυλοποτάμου και Κλήμα εμφανίζονται αλβιτικοί – χαλαζιακοί γενέσιοι.

Γρανατικοί – μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (sch.ge)

Αποτελούνται κυρίως από μαρμαρυγιακούς – αλβιτικούς – γρανατικούς – ακτινολιθικούς – επιδοιτιτικούς – χαλαζιακούς σχιστόλιθους με λίγο βιοτίτη. Μέσα στο σχηματισμό εμφανίζονται φακοί χαλαζία και λοβοί τουρμαλίνη, ενώ τοπικά παρατηρούνται πηγματιτικές και απλιτικές φλέβες (Van Der Maar & Jansen, 1981). Εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της Ίου (Πούντα, Χώρα Ίου, Επάνω Κάμπος, Προφήτης Ηλίας, Ψάθη), καθώς και σε υπολειμματικές εμφανίσεις στο νότιο τμήμα, μεταξύ των όρων Χαμουχάδες, Μαγγανάρι και Τρεις Εκκλησίες (Εικόνες 4-1 & 4-5). Η νότια και μικρότερη εμφάνιση των σχιστόλιθων περιέχει πολύ τουρμαλίνη, ενώ η βόρεια και μεγαλύτερη εμφάνιση περιέχει μεταμορφωμένα πλουτώνια σώματα που ανήκουν στον αρχικό γρανίτη του οφθαλμογενέσιου. Χλωριτοειδές εμφανίζεται κοντά στην επαφή με τον οφθαλμογενέσιο, ενώ στο ανώτερο μέρος οι σχιστόλιθοι γίνονται περισσότερο χλωριτικοί και περιλαμβάνουν φακούς αιματίτη μέγιστου πάχους 5m. Κοντά στην τεκτονική επαφή με τα υπερκείμενα μάρμαρα (mr) έχουν χαρτογραφηθεί ακτινολιθικοί – γρανατικοί σχιστόλιθοι μέγιστου πάχους 10m.



Εικόνα 4-5: Άποψη των οφθαλμογενέσιων (gn) (αριστερά) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) (δεξιά) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων στην περιοχή του Μυλοπότα.

4.3 Μεταμόρφωση

Για την ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) έχουν προταθεί τρία κύρια μεταμορφικά επεισόδια (M_1, M_2, M_3). Το πρώτο μεταμορφικό συμβάν M_1 έλαβε χώρα υπό συνθήκες υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (HP/LT), κατά την εκλογιτική έως τη γλαυκοφανιτική φάση μεταμόρφωσης με ένα εύρος πιέσεων (12-20)kbar και θερμοκρασιών (450-550)°C (Matthews & Schliestedt, 1984; Avigad, 1993; Bröcker *et al.*, 1993; Trotet *et al.*, 2001b). Το μέγιστο της μεταμόρφωσης έλαβε χώρα πριν από περίπου (45-50)Ma (Bonneau & Kienast, 1982; Bonneau, 1984; Wijbrans & McDougall, 1988; Buick, 1991) σε βάθος περίπου (50-60)km. Τυπικές εμφανίσεις αυτών των πετρωμάτων εντοπίζονται σε Σύρο, Σίφνο, Τήνο και Ίο.

Το επακόλουθο μεταμορφικό επεισόδιο πρασινοσχιστολιθικής έως και αμφιβολιτικής φάσης M_2 , σχετίστηκε με τη διαστολή της Αιγαϊκής λιθόσφαιρας στην περιοχή πίσω από το τόξο της Ελληνικής ζώνης υποβύθισης, η οποία έλαβε χώρα περίπου στα 25Ma, λόγω της οπισθοχώρησης της Αφρικανικής πλάκας (Le Pichon & Angelier, 1981b; Jolivet & Faccenna, 2000; Jolivet *et al.*, 2004b). Η δραστηριότητα αυτή οδήγησε στον εκταφιασμό των ενοτήτων Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων και Βάσης Κυκλάδων (Lister *et al.*, 1984; Avigad & Garfunkel, 1989, 1991; Gautier & Brun, 1994a; Avigad *et al.*, 1997; Jolivet *et al.*, 2004a). Πρόκειται για μεταμόρφωση χαμηλών πιέσεων και μέτριων θερμοκρασιών (LP/MT) στο Ολιγόκαινο – Μειόκαινο, πριν από (20-25)Ma. Η πίεση ήταν της τάξης των (4-7)kbar και η θερμοκρασία (500-700)°C (Buick & Holland, 1989; Avigad, 1998; Duchene *et al.*, 2006). Η νέα αυτή μεταμόρφωση «έσβησε» την κυανοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση και χαρακτηρίζεται από πρασινοσχιστόλιθους (Άνδρος, Τήνος, Κέα) και αμφιβολιτικές φάσεις και τοπικά συνθήκες τήξης σε Νάξο, Πάρο, Ικαρία και Μύκονο (Jansen, 1977; Keay *et al.*, 2001; Huet, 2010; Denele *et al.*, 2011; Laurent *et al.*, 2015; Beaudoïn *et al.*, 2015).

Τέλος, ακολούθησε ένα επιπλέον μεταμορφικό συμβάν, M_3 , το οποίο σηματοδοτείται από τη διείσδυση γρανιτοειδών τύπου S και I, και αντιστοιχεί σε μεταμόρφωση επαφής (Okrusch & Bröcker, 1990). Στοιχεία ραδιοχρονολόγησης υποδεικνύουν Μειοκαινική ηλικία διείσδυσης (Altherr *et al.*, 1982, 1988).

5. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

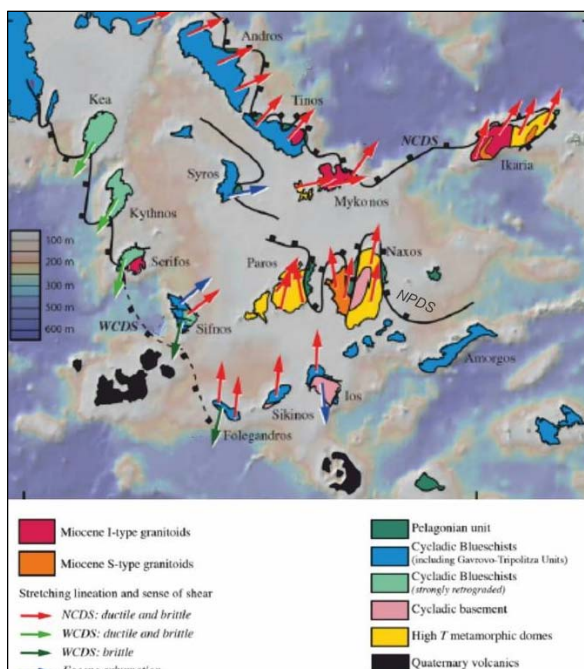
Η σημερινή δομή των Κυκλάδων είναι αποτέλεσμα πέντε διαδοχικών τεκτονικών φάσεων (Μπορονκάου, 1995). Η παλαιότερη από αυτές, ηλικίας (70-25)Ma, δημιούργησε ισοκλινείς πτυχές. Η επόμενη φάση, ηλικίας (25-20)Ma δημιούργησε μεγάλης κλίμακας πτυχές και ζώνες διάτμησης κανονικού χαρακτήρα, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ κυρίως για το βορειοδυτικό τμήμα της Αττικοκυκλαδικής μάζας και ΔΒΔ-ΑΝΑ για το νοτιοανατολικό τμήμα. Η τρίτη φάση, ηλικίας (20-15)Ma, δημιούργησε εκτεταμένες κατακλαστικές ζώνες χωρίς συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ η τέταρτη φάση (15-5)Ma κατά την οποία έγινε και η διείσδυση των μαγματικών σωμάτων δημιούργησε ένα συζυγές σύστημα ρηγμάτων ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης δεξιόστροφα-ανάστροφα και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης αριστερόστροφα ανάστροφα ρήγματα. Τέλος, η πέμπτη φάση (5-0)Ma δημιούργησε κανονικά ρήγματα διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ που έδρασαν, ώστε να σχηματιστεί το σύμπλεγμα των Κυκλάδων.

Η εκταφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων κυανοσχιστολιθικού τύπου (HP/LT) πραγματοποιήθηκε σε 2 διαδοχικά στάδια. Το πρώτο στάδιο της συν-ορογενετικής εκταφής έλαβε χώρα μέσω ενός μηχανισμού σφηνοειδούς διαφυγής, ως αποτέλεσμα της διαρκούς υποβύθισης κατά το Ηώκαινο. Τα πλέον τυπικά παραδείγματα συν-ορογενετικής εκταφής αποτελούν η Εύβοια, η Ίος και η Σύρος (Ring & Layer, 2003; Huet *et al.*, 2009, Jolivet & Brun 2010; Ring *et al.*, 2010; Menant *et al.*, 2016; Roche *et al.*, 2016).

Το δεύτερο στάδιο της εκταφής έλαβε χώρα στο Ολιγόκαινο – Μειόκαινο, όπου τα πετρώματα της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) βρίσκονταν στο ανερχόμενο τέμαχος κανονικών ρηγμάτων μικρής κλίσης (extensional detachments) και συσχετίστηκαν με κινήσεις της οροφής τους προς τα ΒΑ και ΝΔ (Lister *et al.*, 1984; Jolivet *et al.*, 2010; Jolivet & Brun 2010; Philippon *et al.*, 2011; Grasemann *et al.*, 2012; Soukis & Stockli 2013).

Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη των 4 κύριων ρηξιγενών ζωνών αποκόλλησης (detachment systems) της περιοχής του Αιγαίου και συγκεκριμένα (Εικ.5-1):

- Της Βόρειας Κυκλαδικής Ζώνης Αποκόλλησης (North Cycladic Detachment System – NCDS) στο βόρειο τμήμα των Κυκλάδων.
- Της Ζώνης Αποκόλλησης Νάξου – Πάρου (Naxos-Paros Detachment System – N-PDS).
- Της Δυτικής Κυκλαδικής Ζώνης Αποκόλλησης (West Cycladic Detachment System – WCDS) στις δυτικές Κυκλάδες.
- Της Νότιας Κυκλαδικής Ζώνης Αποκόλλησης (South Cycladic Detachment System – SCDS) στις νότιες Κυκλάδες.



Εικόνα 5-1: Τεκτονικός χάρτης των Κυκλάδων με τις τεκτονικές ενότητες και τις κύριες ρηξιγενείς ζώνες αποκόλλησης (detachment systems) (Gautier *et al.*, 1993; Gautier & Brun, 1994a,1994b; Huet *et al.*, 2009; Jolivet *et al.*, 2010,2012,2015; Grasemann *et al.*, 2012; Augier *et al.*, 2014).

6. ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

6.1 Εισαγωγή

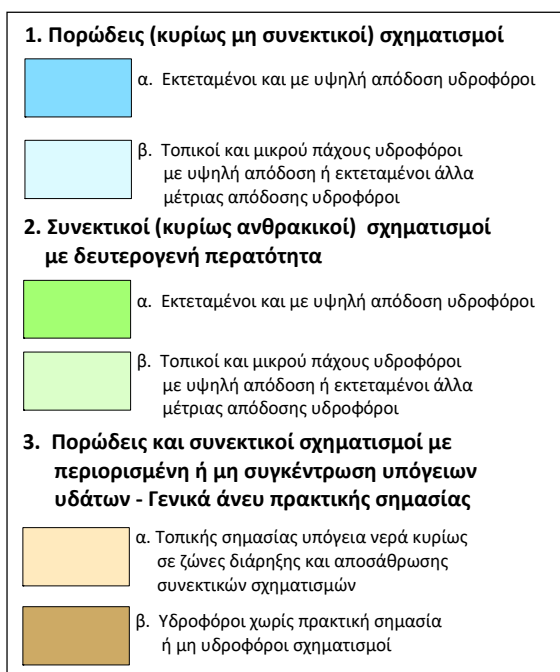
Η υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα (k) αντιπροσωπεύει την ικανότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού να επιτρέπει τη διείσδυση και την κυκλοφορία του νερού μέσα σε αυτόν. Εξαρτάται από μια σειρά φυσικών παραγόντων, οι οποίοι συνδέονται τόσο με τα χαρακτηριστικά του μέσου (πορώδες) όσο και με τις ιδιότητες του ρευστού (πυκνότητα και ιξώδες).

Το πορώδες μπορεί να είναι πρωτογενές ή και δευτερογενές. Στην πρώτη περίπτωση εξαρτάται από το σχήμα, τη διάταξη και το μέγεθος των κόκκων που αποτελούν το γεωλογικό σχηματισμό ή πέτρωμα. Στη δεύτερη περίπτωση εξαρτάται από την πυκνότητα και το άνοιγμα των πάσης φύσεως ασυνεχειών. Στις περιπτώσεις που συνυπάρχουν πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες, γίνεται λόγος για την παρουσία «διπλού πορώδους».

Η υδρολιθολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών, εξαρτάται κυρίως από τη λιθολογική τους σύσταση, τον τεκτονισμό τους, το βαθμό αποσάθρωσης και από το βαθμό καρστικοποίησης (για τους ανθρακικούς σχηματισμούς).

Η υδρογεωλογική κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών πραγματοποιήθηκε με βάση τα υδρολιθολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά, ο συνδυασμός των οποίων καθορίζει και τη δυναμικότητα της υδροφορίας που αναπτύσσεται εντός των γεωλογικών σχηματισμών. Η κατάταξη αυτή έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010).

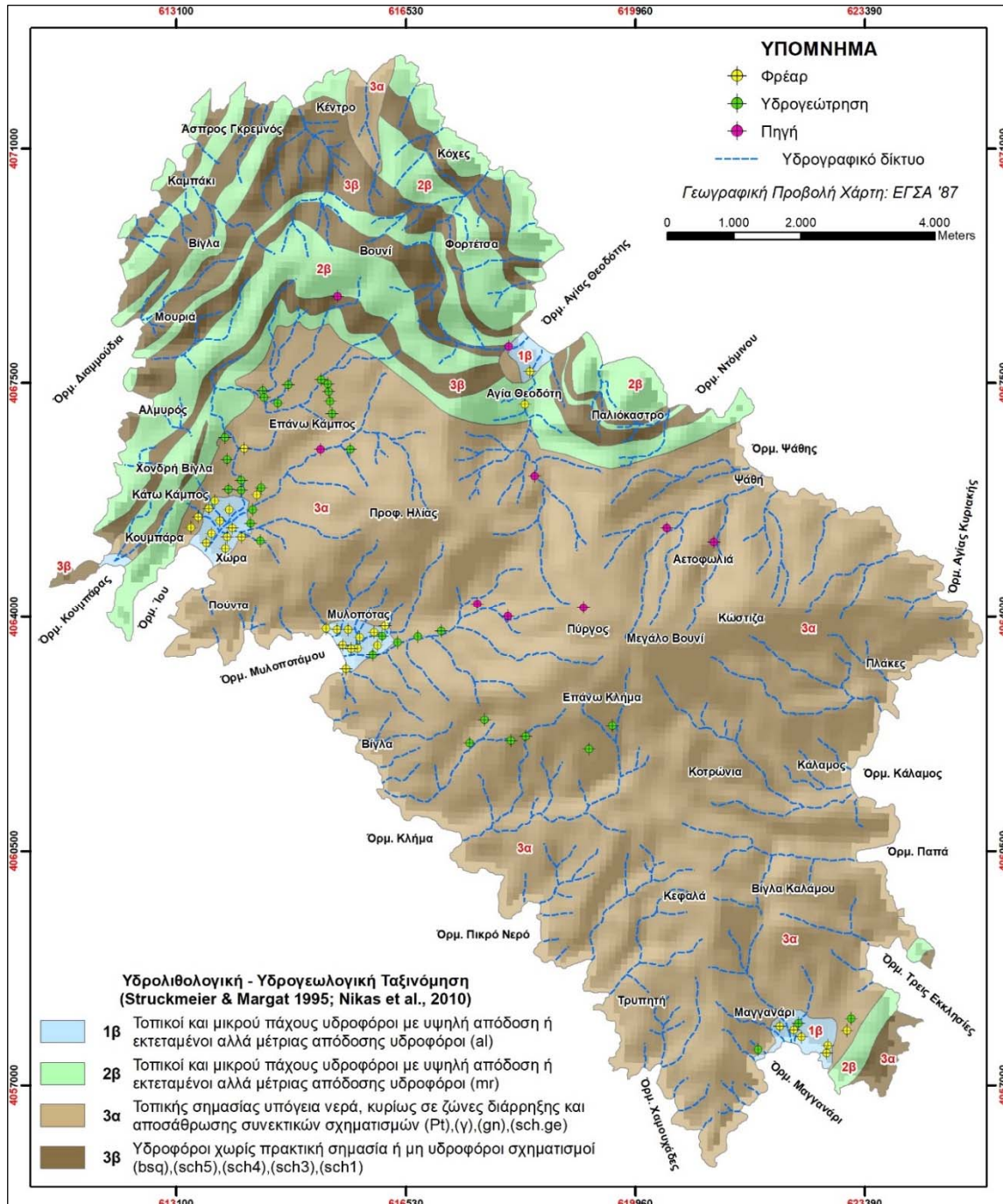
Σύμφωνα λοιπόν με το πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (ΙΑΗ), το σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών δύναται να καταταγεί σε έξι επιμέρους υδρογεωλογικούς τύπους (τρεις κύριους τύπους με δύο υποκατηγορίες έκαστος), με βάση την παραγωγικότητα – αποδοτικότητα των υδροφόρων, τη γεωγραφική και στρωματογραφική τους ευρύτητα, το είδος της υδροπερατότητας (πρωτογενής – δευτερογενής) και βέβαια τα λιθολογικά – ιζηματολογικά τους χαρακτηριστικά. Στην Εικόνα 6-1 παρουσιάζεται η κατάταξη αυτή με τη χρωματική διαβάθμιση που περιλαμβάνεται στο πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010).



Εικόνα 6-1: Κατηγορίες κατάταξης γεωλογικών σχηματισμών βάση της υδρολιθολογικής – υδρογεωλογικής τους συμπεριφοράς και το πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (ΙΑΗ) (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010).

6.2 Υδρολιθολογική συμπεριφορά γεωλογικών σχηματισμών Ίου

Με τη βοήθεια του γεωλογικού χάρτη της Ίου (Εικ.4-1) και σε συνδυασμό με επιτόπου γεωλογικές και υδρογεωλογικές παρατηρήσεις, κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος υδρολιθολογικός – υδρογεωλογικός χάρτης (Εικ.6-2), στον οποίο αποτυπώνονται και το σύνολο των σημείων υδροληψίας (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005). Η υδρολιθολογική ταξινόμηση των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών βασίστηκε στην πρότυπη κατάταξη της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010).



Εικόνα 6-2: Υδρολιθολογικός – υδρογεωλογικός χάρτης της Ίου. Η υδρολιθολογική ταξινόμηση των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών βασίστηκε στην πρότυπη κατάταξη της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (IAH) (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010). Πηγή σημείων υδροληψίας: Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005).

6.2.1 Κατηγορία 1. Πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί) σχηματισμοί

Επισημαίνεται, πως στην κατηγορία αυτή εντάσσονται σχηματισμοί, των οποίων η υδροφορία οφείλεται κατά κύριο λόγο στο πρωτογενές πορώδες.

- **Υποκατηγορία 1β. Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι**

1β.1 Αλλουβιακές αποθέσεις (al)

Πρόκειται για κοκκώδεις σχηματισμούς μέτριας έως υψηλής περατότητας, καθώς αποτελούνται από ασύνδετα υλικά προσχώσεων, υλικά ελουβιακού μανδύα και κλαστικές αποθέσεις στις κοίτες χειμάρρων. Παρουσιάζουν συντελεστή κατείσδυσης >20% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1). Επιτρέπουν στην Ίο και συγκεκριμένα στις πεδινές περιοχές Μυλοπότα, Μαγναρίου, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου την ανάπτυξη φρεάτιων υδροφόρων οριζόντων, υποκείμενων στις εποχιακές μεταβολές, μέτριας δυναμικότητας και σε μικρό βάθος (Εικ.6-2). Επισημαίνεται, πως η εκμετάλλευση των ανωτέρω υδροφόρων οριζόντων, κυρίως με πηγάδια, στηρίζει διαχρονικά και έως και σήμερα την τοπική οικονομία.

6.2.2 Κατηγορία 2. Συνεκτικοί (κυρίως ανθρακικοί) σχηματισμοί με δευτερογενή περατότητα

Πρόκειται για συμπαγείς λιθολογίες των οποίων η υδροφορία οφείλεται κατά κύριο λόγο στο δευτερογενές πορώδες. Αποτελούνται αποκλειστικά από ανθρακικά πετρώματα και οι παράγοντες που καθορίζουν και ελέγχουν την υδρολιθολογική – υδρογεωλογική τους συμπεριφορά είναι:

1. ο ρηγματογόνος τεκτονισμός,
 2. η γεωμετρία της επιφάνειας, τεκτονικής κυρίως, των ανθρακικών αυτών πετρωμάτων με τους υποκείμενους υδροπερατούς ή αδιαπέρατους σχηματισμούς,
 3. οι πάσης φύσεως ασυνέχειες (επιφάνειες στρώσης – διακλάσεις κλπ.),
 4. ο βαθμός καρστοποίησης και
 5. η μερική πλήρωση των καρστικών εγκοίλων με ερυθρογή.
- **Υποκατηγορία 2β: Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι**

2β.1 Μάρμαρα (mr)

Πρόκειται για έντονα διερρηγμένους ανθρακικούς σχηματισμούς μέτριας έως υψηλής περατότητας, εντός των οποίων αναπτύσσονται καρστικοί υδροφόροι οριζόντες μικρής έως μέσης δυναμικότητας, εξαιτίας της μικρής επιφανειακής ανάπτυξης και του περιορισμένου πάχους, οι οποίοι εκφορτίζονται σχεδόν αποκλειστικά στη θάλασσα (Εικ.6-2). Ο συντελεστής κατείσδυσης του σχηματισμού θεωρείται >20% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

Πίνακας 6-1: Περατότητα (k) και συντελεστής κατείσδυσης (I) των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών της Ίου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

α/α	Περατότητα k	Συντελεστής Κατείσδυσης I (%)	Γεωλογικός σχηματισμός
1.	Ελάχιστη έως πολύ χαμηλή	$I \leq 3\%$	Μεταβασίτες (bsq)
			Σχιστόλιθοι (sch5), (sch4), (sch3), (sch1)
2.	Πολύ χαμηλή έως χαμηλή	$3\% < I \leq 8\%$	Μεταμορφωμένα πλουτώνια πετρώματα (γ)
			Οφθαλμογενέσιοι (gn)
			Γρανατικοί – μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (sch.ge)
3.	Χαμηλή έως μέτρια	$8\% < I \leq 20\%$	Συγκολλημένες αποθέσεις πεδιάδων και κλιτύων (Pt)
4.	Μέτρια έως υψηλή	$I > 20\%$	Αλλουβιακές αποθέσεις (al)
			Μάρμαρα (mr)

6.2.3 Κατηγορία 3. Πορώδεις και συνεκτικοί σχηματισμοί με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – Γενικά άνευ πρακτικής σημασίας

- **Υποκατηγορία 3α: Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά, κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών σχηματισμών**

3α.1 Συγκολλημένες αποθέσεις πεδιάδων και κλιτύων (Pt)

Χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως μέτρια περατότητα, καθώς περιλαμβάνουν κορήματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων με καστανόχρωμο ανθρακικό συνδετικό υλικό. Σχηματίζουν τοπικής σημασίας υδροφόρους ορίζοντες, ενώ συχνά μεταβιβάζουν το νερό τους σε υποκείμενα υδατικά συστήματα, λόγω υδραυλικής επικοινωνίας (Εικ.6-2). Παρουσιάζουν συντελεστή κατείδυσης μεταξύ (8-20)% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

3α.2 Μεταμορφωμένα πλουτώνια πετρώματα (γ)

Χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή έως χαμηλή περατότητα και παρουσιάζουν συντελεστή κατείδυσης μεταξύ (3-8)% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005). Ο σχηματισμός εμφανίζεται ιδιαίτερα διερρηγμένος, λόγω ψύξης και σχηματίζει τοπικής σημασίας υδροφόρους ορίζοντες πολύ μικρής δυναμικότητας (Πίν.6-1).

3α.3 Οφθαλμογενείς (gn)

Χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή έως χαμηλή περατότητα, η οποία οφείλεται στον προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και στην έντονη διάρρηξη που έχουν υποστεί. Αναπτύσσουν τοπικής σημασίας και μικρής δυναμικότητας υδροφόρους ορίζοντες εντός των ρωγμών και των διακλάσεων του ανώτερου τμήματος της μάζας τους (Εικ.6-2). Ο συντελεστής κατείδυσης του σχηματισμού θεωρείται μεταξύ (3-8)% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

3α.4 Γρανατικοί – μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι (sch.ge)

Χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή έως χαμηλή περατότητα, η οποία οφείλεται στον προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και στην έντονη διάρρηξη που έχουν υποστεί. Αναπτύσσουν τοπικής σημασίας και μικρής δυναμικότητας υδροφόρους ορίζοντες εντός του αποσαθρωμένου μανδύα και των ρωγμών και των διακλάσεων του ανώτερου τμήματος της μάζας τους (Εικ.6-2). Παρουσιάζουν συντελεστή κατείδυσης μεταξύ (3-8)% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

- **Υποκατηγορία 3β: Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί**

3β.1 Μεταβασίτες (bsq)

Χαρακτηρίζονται από ελάχιστη έως πολύ χαμηλή περατότητα. Ο συντελεστής κατείδυσης του σχηματισμού θεωρείται $\leq 3\%$ (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

3β.2 Σχιστόλιθοι (sch5), (sch4), (sch3), (sch1)

Το σύνολο των σχιστόλιθων της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) χαρακτηρίζεται από ελάχιστη έως πολύ χαμηλή περατότητα και επομένως θεωρείται πρακτικά αδιαπέρατο, εξαιτίας της σχετικά περιορισμένης επιφανειακής εξάπλωσης των επιμέρους σχιστόλιθων και της πλήρωσης των πάσης φύσης ασυνεχειών από αργιλικό υλικό (Εικ.6-2). Παρουσιάζουν συντελεστή κατείδυσης $\leq 3\%$ (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

7. ΣΚΛΗΡΑ ΔΙΕΡΡΗΓΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

7.1 Εισαγωγή

Σκληρά διερρηγμένα πετρώματα με την υδρογεωλογική έννοια του όρου είναι τα κρυσταλλικά (πυριγενή και μεταμορφωμένα) πετρώματα, καθώς και τα ισχυρώς συγκολλημένα ή/και πτυχωμένα ιζηματογενή πετρώματα. Το υδρογεωλογικό περιβάλλον των πετρωμάτων αυτών είναι ανεξάρτητο της λιθολογίας και χαρακτηρίζεται πολλές φορές από υδροφορίες τοπικής έκτασης, αναπτυσσόμενες σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, με την υδραυλική κλίση να βρίσκεται, άλλες φορές περισσότερο, άλλες λιγότερο, σε γενική συμφωνία με την τοπογραφική κλίση (Krasny, 1996).

Ο ορισμός του υδρογεωλογικού περιβάλλοντος των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων περιλαμβάνει τρεις κατακόρυφες ζώνες, όπου κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από διακριτές υδρογεωλογικές συνθήκες (Krasny, 1996).

- **Ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένος μανδύας**

Αντιστοιχεί στον αποσαθρωμένο μανδύα του πετρώματος αλλά και σε νεότερες αποθέσεις του Τεταρτογενούς και είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας και της βιόσφαιρας επί του πετρώματος. Στην ζώνη αυτή κυριαρχεί το πρωτογενές πορώδες και το πάχος της κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να φτάσει μέχρι και μερικές δεκάδες μέτρα.

- **Ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη**

Αντιστοιχεί στο φάσμα της βραχώμαζας του πετρώματος. Το δευτερογενές πορώδες είναι αυτό που επικρατεί, εκφρασμένο μέσω των διαρρήξεων και διακλάσεων αλλά και των πρωτογενών ασυνεχειών που αναπτύσσονται, εντός της μάζας του πετρώματος. Σε αυτό τον ορίζοντα οι ασυνέχειες μαζί με το υλικό του πετρώματος δημιουργούν ένα σύνολο, του οποίου τόσο η υδραυλική όσο και η μηχανική συμπεριφορά, εκατέρωθεν των ασυνεχειών είναι τροποποιημένη και ανισότροπη. Χαρακτηριστικές παράμετροι, όπως ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών, το άνοιγμα τους, το μήκος τους, η τραχύτητα, το υλικό πλήρωσης, η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών, η πυκνότητα των ασυνεχειών και ο προσανατολισμός, καθορίζουν τη συνολική υδραυλική συμπεριφορά του πετρώματος. Το σύνηθες πάχος αυτής της ζώνης φτάνει τα μερικά δεκάδες ή και εκατοντάδες μέτρα.

- **Κατώτερη ή συμπαγής ζώνη**

Αντιστοιχεί στην έννοια του άρρηκτου βράχου, αφού οι πρωτογενείς ασυνέχειες (πχ σχιστότητα) είναι αυτές, οι οποίες επικρατούν (όταν αυτές υπάρχουν), με τις δευτερογενείς να εκφράζονται μέσω απομονωμένων ρηγμάτων ή ρηξιγενών επιφανειών μεγάλου βάθους. Το πάχος της ζώνης αυτής μπορεί να φτάσει μέχρι και μερικές εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρα.

Εν κατακλείδι και συνεκτιμώντας τα προαναφερθέντα, γίνεται φανερό, ότι το συνολικό υδρογεωλογικό περιβάλλον των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο, αφού σε κάθε ζώνη επικρατούν διαφορετικές υδρογεωλογικές συνθήκες με βάση την επικράτηση του πρωτογενούς ή του δευτερογενούς πορώδους.

7.2 Ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένος μανδύας

Η ύπαρξη και η δομή της ζώνης αυτής παίζει καταλυτικό ρόλο τόσο στη διακίνηση όσο και στην αποθήκευση του υπόγειου νερού. Από υδρογεωλογικής απόψεως τα χαρακτηριστικά του αποσαθρωμένου μανδύα στα οποία επικεντρώνεται το ενδιαφέρον είναι η έκταση και το πάχος του. Υπό αυτές τις συνθήκες, σε περιοχές όπου παρατηρείται μεγάλης έκτασης και πάχους αποσαθρωμένος μανδύας, του οποίου το πορώδες και η περατότητα επιτρέπουν τη μεταβίβαση και αποθήκευση νερού, είναι δυνατόν να αναπτύσσονται σημαντικές υδροφορίες. Από την άλλη πλευρά, σε μικρού πάχους μανδύα αποσάθρωσης δύσκολα αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες και η κύρια λειτουργία τους είναι η διακίνηση του νερού, στην υποκείμενη διερρηγμένη ζώνη. Μεταξύ αυτών των δύο αυτών ακραίων παραδειγμάτων, λαμβάνουν χώρα

ενδιάμεσες περιπτώσεις ανάλογα με τη σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ περατότητας, πορώδους, πάχους και έκτασης του μανδύα.

Οι παράγοντες οι οποίοι ελέγχουν το πάχος και την περατότητα του αποσαθρωμένου μανδύα είναι κυρίως οι κλιματικές συνθήκες, η ορυκτολογική σύνθεση και δομή, καθώς και ο βαθμός διάρρηξης της βραχώμαζας (Larsson, 1984).

Αναφορικά με τις κλιματικές συνθήκες, έχει παρατηρηθεί, ότι μεγάλου πάχους μανδύες αποσάθρωσης αναπτύσσονται σε ζεστές και υγρές περιοχές του πλανήτη, όπου η ετήσια βροχόπτωση ξεπερνά τα 1.000mm. Αντίστοιχα σχετικά μεγάλου πάχους ορίζοντες αναπτύσσονται ημίξηρες περιοχές.

Σύμφωνα με τον King (1962), η τοπογραφία και ειδικότερα το στάδιο της γεωμορφολογικής εξέλιξης μίας περιοχής παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην έκταση και το πάχος του αποσαθρωμένου μανδύα. Έτσι σε περιοχές, όπου η τοπογραφική κλίση είναι πραγματικά μικρή (μικρότερη από 10%) επικρατούν μανδύες μεγάλου πάχους.

Η ορυκτολογική σύσταση του μητρικού πετρώματος, διαδραματίζει με τη σειρά της σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του αποσαθρωμένου μανδύα. Με γενικούς όρους τα λεπτοκρυσταλλικά πετρώματα είναι λιγότερο επιδεκτικά στην αποσάθρωση σε σχέση με αδροκρυσταλλικά. Πετρώματα, όπως οι γρανίτες, οι γρανοδιορίτες και οι ορθογνεύσιοι παρουσιάζουν μεγάλη επιδεκτικότητα στις διαδικασίες της αποσαθρώσεως.

Τέλος ο βαθμός διάρρηξης του μητρικού πετρώματος, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη δημιουργία και εξέλιξη του αποσαθρωμένου καλύμματος. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών, η πυκνότητα τους και η χωροταξική κατανομή των συστημάτων τους, εντός της βραχομάζας, ελέγχουν σε σημαντικό βαθμό την έκταση και το βάθος του μανδύα. Σε κάποια είδη γρανιτών για παράδειγμα με ιδιαίτερα ανεπτυγμένο δίκτυο ασυνεχειών, και εφόσον και άλλοι παράγοντες συνεπικουρούν, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν μανδύες μεγάλου πάχους (Lloyd, 1999).

7.3 Ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη

Η διερρηγμένη ζώνη κατέχει πρωτεύοντα ρόλο στον έλεγχο της υδραυλικής συμπεριφοράς των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων. Οι παντός τύπου ασυνέχειες αποτελούν τις σημαντικότερες γεωλογικές δομές από υδρογεωλογικής απόψεως, αφού καθορίζουν, εάν εντός της διερρηγμένης ζώνης μπορεί να αποθηκευτεί και να διακινηθεί νερό.

Η «ασυνέχεια» είναι ένας γενικός περιεκτικός όρος, ο οποίος περιλαμβάνει τις γεωλογικές εκείνες επιφάνειες εκατέρωθεν των οποίων μεταβάλλεται η συνέχεια του πετρώματος αναφορικά με κάποια φυσική ή χημική ιδιότητα του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ανισότροπη και τροποποιημένη συμπεριφορά του πετρώματος εκατέρωθεν της ασυνέχειας.

Από γενετικής απόψεως, οι ασυνέχειες ταξινομούνται στις δύο γενικές κατηγορίες των πρωτογενών και δευτερογενών ασυνεχειών. Στις πρωτογενείς ασυνέχειες συγκαταλέγονται οι επιφάνειες που δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα με τη δημιουργία του πετρώματος, όπως η στρώση και η σχιστότητα. Οι δευτερογενείς ασυνέχειες, είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής κάθε λογής τάσεων επί του πετρώματος και έπονται της δημιουργίας του. Τέτοιου είδους ασυνέχειες είναι οι διαρρήξεις, οι διακλάσεις και τα ρήγματα.

Οι πιο ειδικές κατηγορίες της γενετικής ταξινόμησής είναι τα επίπεδα στρώσης, τα επίπεδα φύλλωσης, οι ρωγμές – διαρρήξεις (διακλάσεις), τα ρήγματα και ζώνες διάτμησης και άλλες γεωλογικές ασυνέχειες (Singhal & Gurta, 1999).

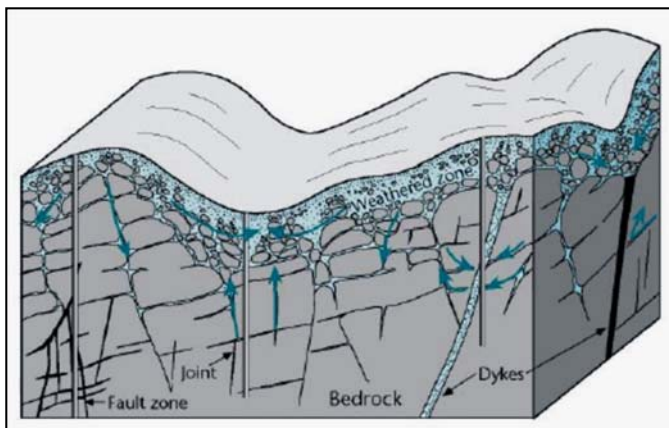
Η κίνηση του νερού εντός της διερρηγμένης ζώνης λαμβάνει χώρα κυρίως δια μέσου των ασυνεχειών. Χαρακτηριστικά, όπως ο βαθμός διασύνδεσης, το άνοιγμα, η απόσταση τους και ο προσανατολισμός τους καθορίζουν, υδραυλικές παραμέτρους, όπως είναι το ενεργό πορώδες και τη περατότητα. Οι ρωγμές και οι διαρρήξεις, όταν δεν έχουν πληρωθεί με υλικά αποσάθρωσης μπορούν να θεωρηθούν δυνητικά ως ιδανικοί διακινητές του υπόγειου νερού. Αντίθετα, η περατότητα τους μειώνεται δραστικά, όταν αυτές πληρωθούν, ακόμα και μερικώς, με αργιλικά ορυκτά, όπως είναι ο σμεκτίτης ή ο μοντονιλονίτης (Singhal & Gurta, 1999).

7.4 Υδροφόροι οριζόντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα

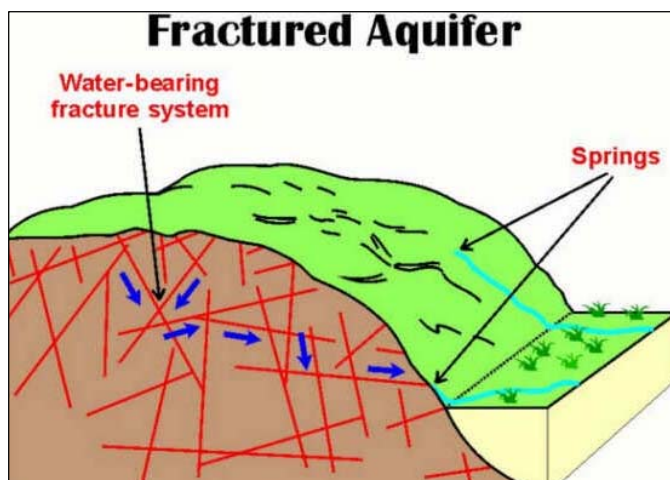
Κατά κανόνα, τα σκληρά διερρηγμένα πετρώματα έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση, με αποτέλεσμα οι πάσης φύσης ασυνέχειες της βραχομάζας τους να έχουν δημιουργήσει δευτερογενείς πορώδες. Το νερό κατεισδύει μέσα σε αυτές, δημιουργώντας εντός της μάζας των πετρωμάτων αυτών αξιόλογους κατά θέσεις υδροφόρους οριζόντες μέσου ασυνεχειών (Εικόνες 7-1 & 7-2).

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων συνοψίζεται ως εξής:

- Δεν υπάρχει απλή γραμμική σχέση ανάμεσα στην αντλούμενη παροχή και στην πτώση στάθμης των υδροληπτικών έργων, γιατί στην αρχή το αντλούμενο νερό προέρχεται κατά κύριο λόγο από τις ρωγμές και στη συνέχεια από το ασήμαντο ενεργό πορώδες. Αρχικά δηλαδή έχουμε μεγάλη μεταβιβασιμότητα (T) και μικρή υδροχωρητικότητα (S), ενώ στη συνέχεια ασήμαντη μεταβιβασιμότητα (T) και σημαντικότερη υδροχωρητικότητα (S). Έτσι, οι αποδόσεις μειώνονται συναρτήσει του χρόνου σε αντίθεση με την πτώση στάθμης (Matthess & Ubell, 1983).
- Η τοποθέτηση των υδρομαστευτικών έργων πρέπει να γίνεται σε ζώνες έντονης ρωγμάτωσης και ρηγμάτωσης και σε επίπεδες περιοχές.
- Η αποσάθρωση και ο τεκτονισμός των πετρωμάτων βελτιώνει τις υδροφόρες ιδιότητές τους.
- Τις μικρότερες παροχές δίνουν οι φυλλίτες και τα άλλα φυλλώδη πετρώματα (σχιστόλιθοι, σχιστογενέσιοι). Σε αυτά οι διαρρήξεις, οι ρωγμές και οι αρμοί κλείνουν γρήγορα με το βάθος. Η υδροπερατότητα τέτοιων πετρωμάτων είναι μεγαλύτερη παράλληλα προς τη σχιστότητα και αρκετά μικρότερη κάθετα προς αυτήν.



Εικόνα 7-1: Υδροφόροι οριζόντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα. Το νερό κινείται και αποθηκεύεται στις πάσης φύσεως ασυνέχειες της βραχομάζας του πετρώματος (Davis & De Wiest, 1966).



Εικόνα 7-2: Υδροφόροι οριζόντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα. Το νερό κινείται και αποθηκεύεται στις πάσης φύσεως ασυνέχειες της βραχομάζας του πετρώματος. Διακρίνεται ο μηχανισμός εκδήλωσης πηγαίων εκφορτίσεων. <https://dpiwwe.tas.gov.au/water/groundwater/aquifers/fractured-rock-aquifer>

Στην Εικόνα 7-3 διακρίνεται ο ρόλος των συστημάτων ασυνεχειών που υπάρχουν στη βραχομάζα σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων στη δημιουργία ευνοϊκών (δεξιά στήλη) ή μη (αριστερή στήλη) συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών.

Το άνοιγμα (aperture) αντιστοιχεί στο άνοιγμα μεταξύ των τοιχωμάτων των ασυνεχειών (Εικ.7-3α). Οι διατμητικού τύπου ασυνέχειες έχουν συνήθως μικρότερο άνοιγμα σε σχέση με τις εκτατικές. Σε κάθε περίπτωση, οι ασυνέχειες τείνουν να κλείνουν με την αύξηση του βάθους, λόγω της αντίστοιχα αυξανόμενης λιθοστατικής πίεσης.

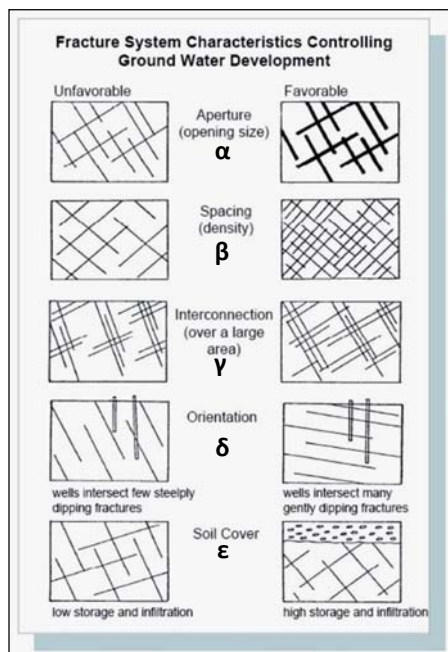
Η πυκνότητα (spacing) και ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών (interconnection) εκφράζουν ποσοτικά το βαθμό διάρρηξης του πετρώματος (Singhal & Gupta, 1999), ο οποίος εξαρτάται άμεσα τόσο από τη συστηματικότητα ή μη των ασυνεχειών όσο και από τον τρόπο διασύνδεσής τους (Εικόνες 7-3β & 7-3γ). Οι Barton *et al.* (1987) διακρίνουν τις ασυνέχειες σε σχέση με τον τρόπο διασύνδεσής τους σε εφαιπτόμενες, οι οποίες καταλήγουν σε άλλες ασυνέχειες χωρίς να τις τέμνουν πλήρως, σε διασταυρούμενες, όπου δύο ή περισσότερες ασυνέχειες τέμνονται και σε τυφλές, οι οποίες δε τέμνονται με καμία άλλη ασυνέχεια του ίδιου ή άλλου συστήματος.

Ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών σε συνδυασμό με το άνοιγμα είναι από τις σημαντικότερες παραμέτρους που καθορίζουν την υδραυλική συμπεριφορά του μέσου ασυνεχειών, αφού αυξανόμενου του βαθμού διασύνδεσης τόσο η ροή του νερού εντός της βραχομάζας του πετρώματος είναι ομαλή και ενιαία.

Ο προσανατολισμός (orientation) αφορά στη μέτρηση της διεύθυνσης, της κλίσης και της φοράς μέγιστης κλίσης των επιπέδων των ασυνεχειών και είναι ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος, καθώς σχετίζεται άμεσα με τη διεύθυνση της προνομιακής κίνησης του υπόγειου νερού εντός των ασυνεχειών (Εικ.7-3δ).

Η παρουσία αποσαθρωμένου μανδύα πάνω από το μητρικό πέτρωμα προσδίδει στο δεύτερο υψηλή κατεισδυση και αποθηκευτική ικανότητα σε αντίθεση με την απουσία (Εικ.7-3ε). Επισημαίνεται, πως τα σκληρά διερρηγμένα πετρώματα χαρακτηρίζονται κατά κύριο λόγο από περιορισμένη υδροπερατότητα και επομένως, η ύπαρξη του αποσαθρωμένου μανδύα στην επιφάνεια τους, σχηματισμού σαφώς μεγαλύτερης περατότητας, ευνοεί την κατεισδυση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού προς αυτά.

Το υλικό πλήρωσης αναφέρεται στο υλικό που συγκεντρώνεται εντός των ασυνεχειών και ποικίλει από αργιλικό (διαρρήξεις) έως απόθεση ανθρακικού ασβεστίου (ρήγματα). Είναι προφανές, πως η φύση και οι ιδιότητες του υλικού πλήρωσης μπορούν να καθορίσουν αποκλειστικά την υδραυλική συμπεριφορά των ασυνεχειών.



Εικόνα 7-3: Συστήματα διακλάσεων που ελέγχουν τη δημιουργία μη ευνοϊκών (αριστερή στήλη) και ευνοϊκών συνθηκών (δεξιά στήλη) για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα σε σχέση με α) το άνοιγμα των πάσης φύσεως ασυνεχειών β) την πυκνότητα γ) τη διασύνδεση και δ) τον προσανατολισμό των παραπάνω ασυνεχειών και τέλος ε) την ύπαρξη αποσαθρωμένου μανδύα πάνω από το μητρικό πέτρωμα (California Department of Water Resources, 1990).

8. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

8.1 Εισαγωγή

Συνεκτιμώντας τις γεωλογικές και υδρολιθολογικές συνθήκες, όπως αυτές έχουν αναλυθεί στα κεφάλαια 4 και 6 αντίστοιχα, στην Ίο κυριαρχούν τρεις κύριες υδρογεωλογικές ενότητες, με μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί και κυρίως οι αλλουβιακές αποθέσεις (al),
2. οι επιμέρους σχιστόλιθοι (sch5, sch4, sch3, sch1) και τα μάρμαρα (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) και
3. οι γρανατικοί – μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (sch.ge) και οφθαλμογενέσιοι (gn) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit).

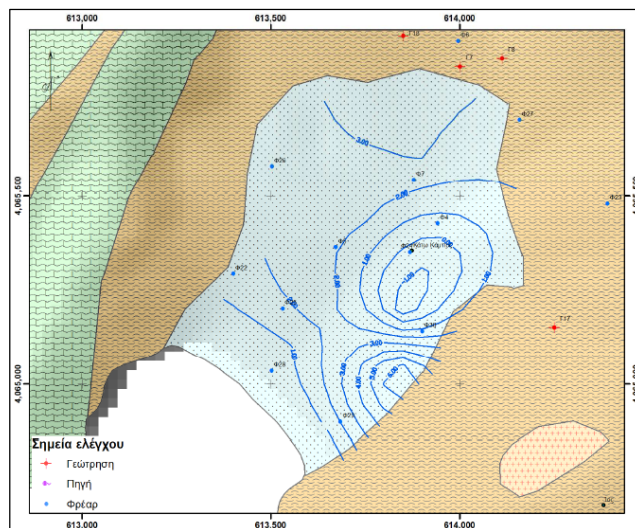
8.2 Κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες

Κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες, ελεύθεροι φρεάτιοι, υποκείμενοι στις εποχιακές μεταβολές και μέτριας δυναμικότητας αναπτύσσονται στις παράκτιες προσχωσιγενείς κοιλάδες Μυλοπότα, Μαγναριού, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου, όπου εμφανίζονται αλλουβιακές αποθέσεις (al) (Εικόνες 4-1 & 6-2). Ρυθμιστικός παράγοντας του βάθους ανάπτυξης των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων είναι η επαφή με τους υποκείμενους σχηματισμούς και κυρίως των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και οφθαλμογενέσιων (gn).

Η τροφοδοσία των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις, από την επιφανειακή χειμερινή κυρίως απορροή χειμάρρων που διέρχονται από αυτές και από κατά θέσεις πλευρική τροφοδοσία, κυρίως από τους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) και τους οφθαλμογενέσιους (gn) (Εικόνες 4-1 & 6-2). Επισημαίνεται, πως ο συντελεστής κατείδυσης των αλλουβιακών αποθέσεων (al) είναι >20% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005) (Πίν.6-1).

Η εκμετάλλευση των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων γίνεται από πλήθος πηγαδιών, βάθους έως 10 μέτρα, και υδρογεωτρήσεις μικρού βάθους με παροχές άντλησης της τάξης των (3-8)m³/h, ενώ η τελική εκφόρτισή τους συντελείται στη θάλασσα. Πρόκειται για υδατικό πόρο που διαδραμάτισε και συνεχίζει έως και σήμερα να παίζει σημαντικό ρόλο στην τοπική οικονομία, τόσο για άρδευση όσο και ύδρευση (κυρίως καθαριότητα και πράσινο).

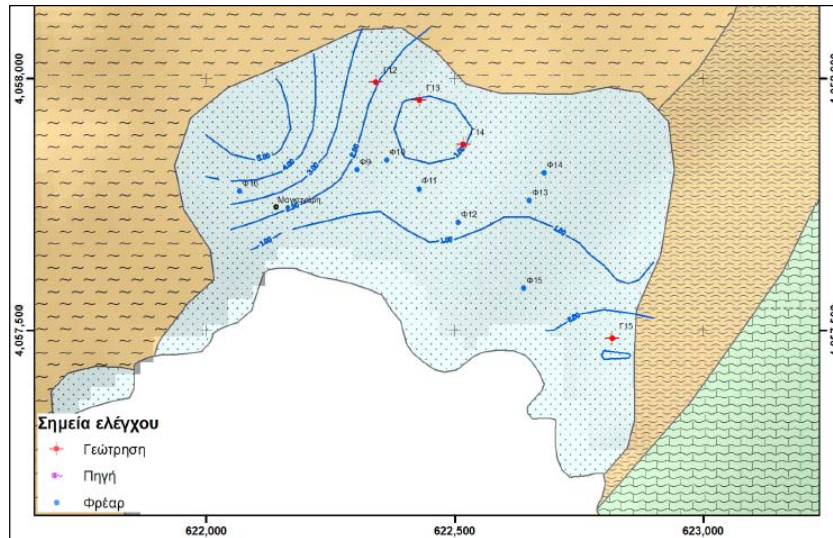
Οι πιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή του Κάμπου κυμαίνονται από +6m έως το επίπεδο της θάλασσας (Εικ.8-1α) (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010). Η υδραυλική κλίση ελαττώνεται σταδιακά από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά.



Εικόνα 8-1α: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα περιοχής Κάμπου (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010). Οι πιεζομετρικές καμπύλες αντιστοιχούν στη μέση τιμή στάθμης περιόδων 2004-2008.

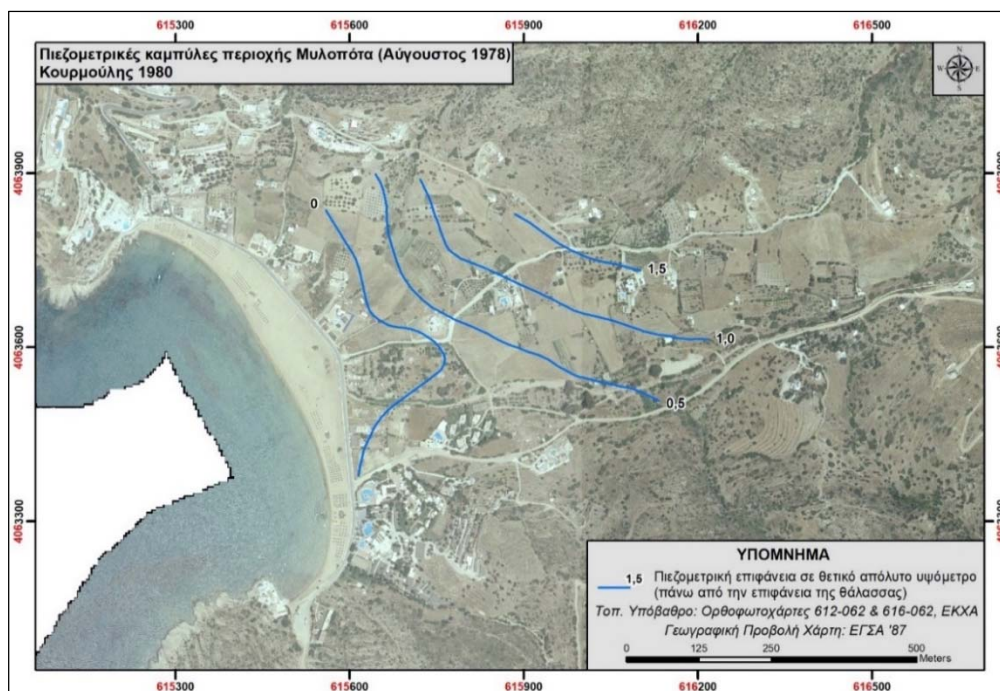
Οι ομόκεντροι κύκλοι που δημιουργούνται στο κέντρο περίπου της προσχωματικής λεκάνης, καταδεικνύουν την υπερεκμετάλλευση των κοκκωδών υδροφόρων οριζώντων (Εικ.8-1α). Επισημαίνεται, πως κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών σχηματίζονται πιεζομετρικές καμπύλες με αρνητική τιμή, που συνεπάγεται ποιοτική υποβάθμιση εξαιτίας υφαλμύρισης.

Οι πιεζομετρικές καμπύλες στην περιοχή Μαγναριού κυμαίνονται από +5m έως το επίπεδο της θάλασσας με την υδραυλική κλίση να μειώνεται βαθμιαία προς την ακτογραμμή (Εικ.8-1β) (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010).



Εικόνα 8-1β: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου οριζοντα περιοχής Μαγναριού (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010). Οι πιεζομετρικές καμπύλες αντιστοιχούν στη μέση τιμή στάθμης περιόδων 2004-2008.

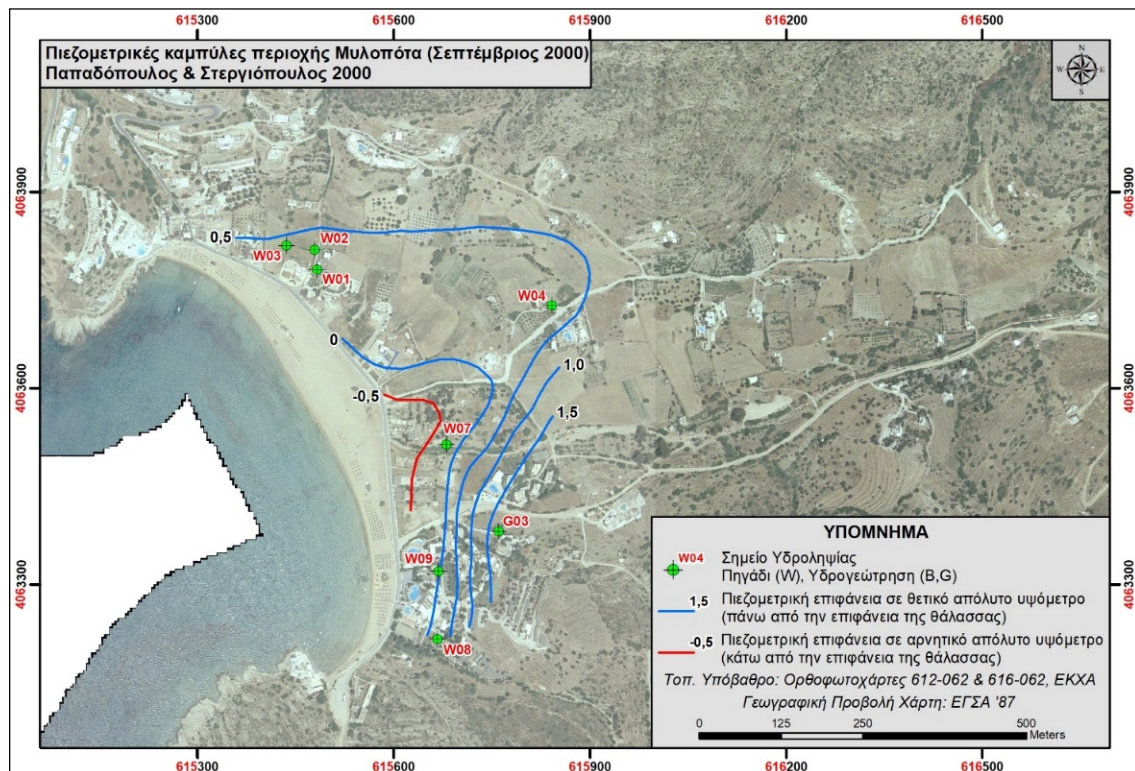
Για την ενδελεχή μελέτη των κοκκωδών υδροφόρων οριζώντων της προσχωματικής κοιλάδας του Μυλοπότα και την αποσαφήνιση του βαθμού επιρροής της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής Μυλοποτάμου στις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού τον Αύγουστο του 2018, καθώς και δειγματοληψία νερού για τον περαιτέρω έλεγχο της ποιοτικής κατάστασης.



Εικόνα 8-1: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου οριζοντα περιοχής Μυλοπότα περιόδου Αυγούστου 1978 (Κουρμούλης, 1980).

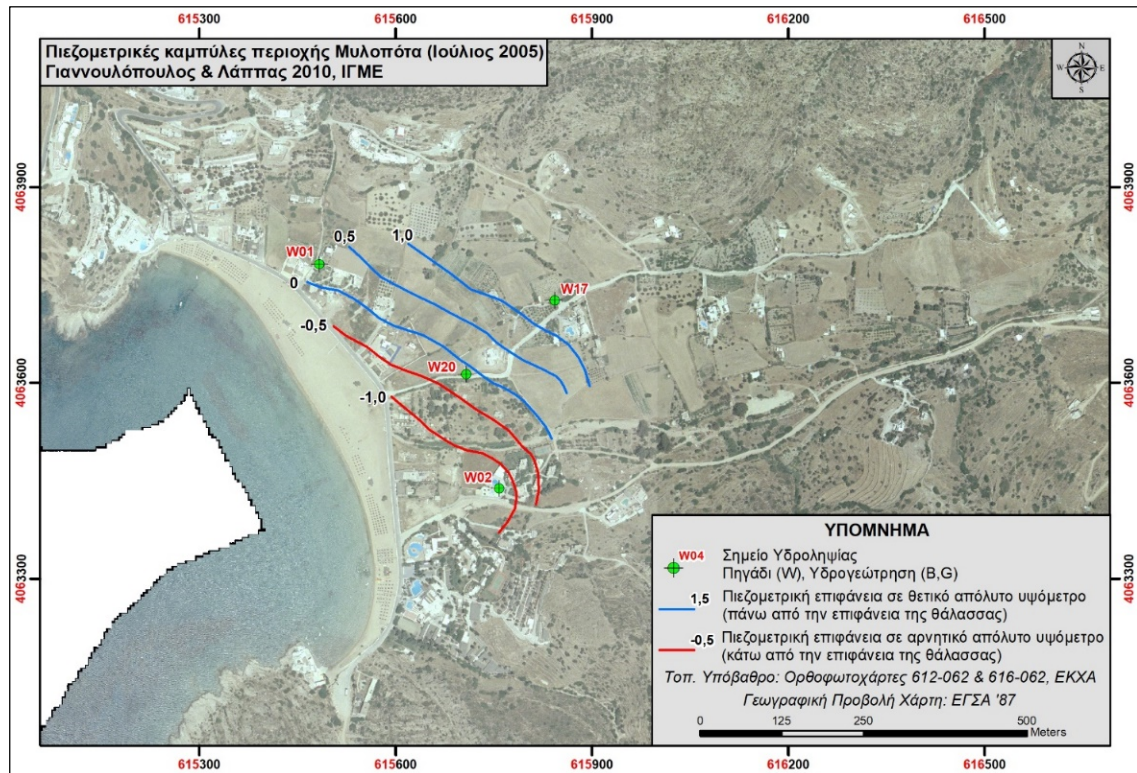
Στον πιεζομετρικό χάρτη του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα της περιόδου Αυγούστου 1978 (Εικ.8-1) (Κουρμούλης, 1980) αποτυπώνονται πιεζομετρικές καμπύλες, οι οποίες δείχνουν πως η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται αποκλειστικά σε θετικά απόλυτα υψόμετρα, πάνω δηλαδή από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στον αντίστοιχο πιεζομετρικό χάρτη της περιόδου Σεπτεμβρίου 2000 (Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000) εμφανίζεται στο κεντρικό παράκτιο τμήμα της προσχωματικής κοιλάδας του Μυλοπότα μια ζώνη, στην οποία η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα (κόκκινες πιεζομετρικές καμπύλες), κάτω δηλαδή από την επιφάνεια της θάλασσας (Εικ.8-2).



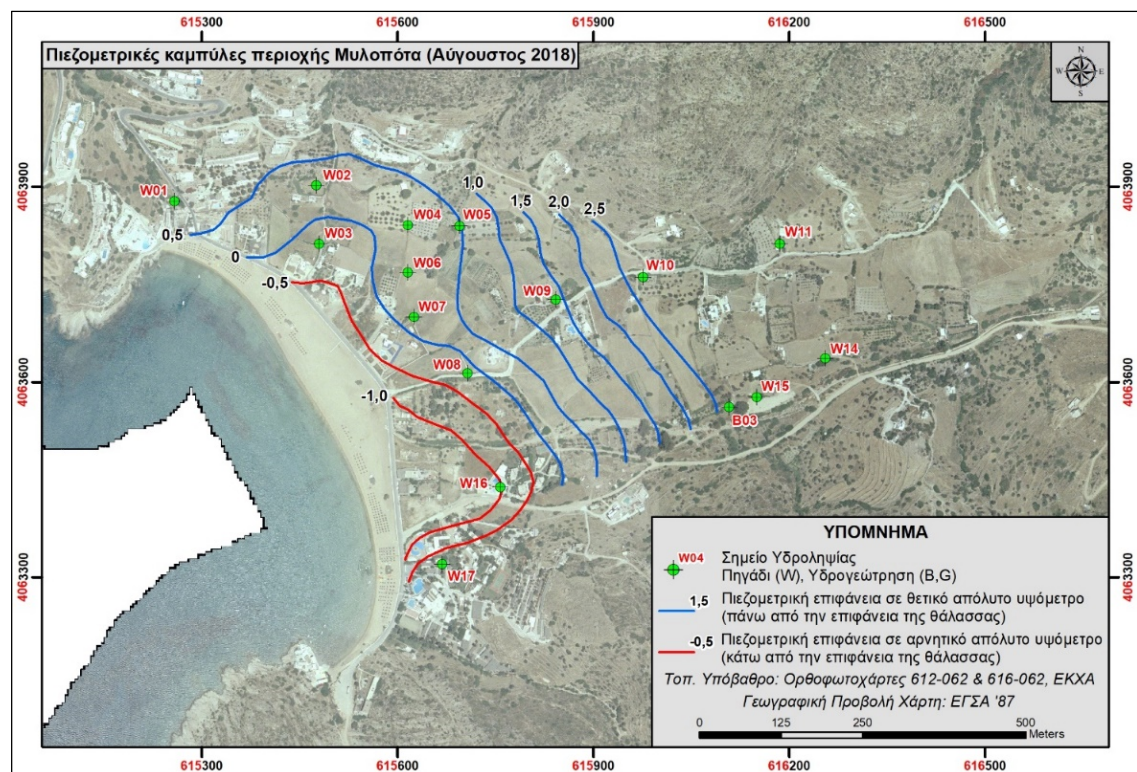
Εικόνα 8-2: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα περιοχής Μυλοπότα περιόδου Σεπτεμβρίου 2000 (Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000).

Στον πιεζομετρικό χάρτη της περιόδου Ιουλίου 2005 (Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010) η ζώνη στην οποία η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα έχει επεκταθεί και κινείται προς την ενδοχώρα, κυρίως στο νότιο τμήμα της προσχωματικής κοιλάδας του Μυλοπότα (Εικ.8-3).



Εικόνα 8-3: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα περιοχής Μυλοπότα περιόδου Ιουλίου 2005 (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010).

Στον πιεζομετρικό χάρτη της περιόδου Αυγούστου 2018 η ζώνη στην οποία η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα έχει επεκταθεί πλέον και προς τα βόρεια, ενώ συνεχίζει την προώθησή της προς την ενδοχώρα στο νότιο τμήμα της προσχωματικής κοιλιάς του Μυλοπότα (Εικ.8-4).



Εικόνα 8-4: Πιεζομετρικός χάρτης κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα περιοχής Μυλοπότα περιόδου Αυγούστου 2018.

Από τους πιεζομετρικούς χάρτες των περιόδων Αυγούστου 1978 (Εικ.8-1), Σεπτεμβρίου 2000 (Εικ.8-2), Ιουλίου 2005 (Εικ.8-3) και Αυγούστου 2018 (Εικ.8-4) προκύπτει συστηματική και διαχρονική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα. Επισημαίνεται, πως κατά τις εργασίες πεδίου τον Αύγουστο του 2018 οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε δείγματα νερού από πηγάδια της παράκτιας ζώνης του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα ήταν της τάξης των 5.500μS/cm.

Το 1995 λειτούργησε η εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή Μυλοπόταμου συνολικής χωρητικότητας 215.000m³, η οποία συγκεντρώνει και κατακρατά την επιφανειακή απορροή του ρέματος Μυλοπόταμου του οποίου οι εκβολές είναι στο νότιο τμήμα της προσχωματικής κοιλάδας του Μυλοπότα (Εικ.8-5).



Εικόνα 8-5: Άποψη της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής Μυλοπόταμου. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αποτυπώνονται οι κύριοι κλάδοι του ρέματος Μυλοπόταμου.

Επισημαίνεται, πως η προώθηση του μετώπου της θαλάσσιας διείσδυσης προς την ενδοχώρα κυρίως στο νότιο τμήμα, ενδεχομένως οφείλεται εκτός των άλλων (μείωση βροχοπτώσεων και υπεράντληση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες), στην κατασκευή και λειτουργία της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής Μυλοπόταμου στα ανάντη, η οποία έχει περιορίσει σημαντικά, εάν όχι εξολοκλήρου, την επιφανειακή χειμερινή κυρίως απορροή του ρέματος Μυλοπόταμου, η οποία τροφοδοτούσε τον κοκκώδη υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα.

Αντίστοιχα αποτελέσματα διαχρονικής ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης προκύπτουν και για τους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες Κάτω Κάμπου και Μαγναρίου.

8.3 Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες

Στο βόρειο τμήμα της Ίου εμφανίζονται εναλλαγές σχιστολίθων (sch5, sch4, sch3, sch1) και μαρμάρων (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) (Εικόνες 4-1 & 4-4). Πρόκειται για σχηματισμούς με εντελώς διαφορετική υδρολιθολογική συμπεριφορά (βλπ. κεφάλαιο 6), καθώς τα μάρμαρα κατατάσσονται στους υδροπερατούς, μακροπερατούς σχηματισμούς και οι σχιστόλιθοι στους πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς.

Στα μάρμαρα (mr) αναπτύσσονται καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες μικρής έως μέσης δυναμικότητας, εξαιτίας της μικρής επιφανειακής ανάπτυξης και του περιορισμένου πάχους, οι οποίοι βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε περισσότερες από μία πλευρές και εκφορτίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε παράκτιες, καρστικές, υφάλμυρες πηγές (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010). Η τροφοδοσία τους συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις.

Χαρακτηριστικό είναι, πως αν και τα μάρμαρα (mr) εμφανίζονται σε εναλλαγές με σχιστόλιθους, αδιαπέρατοι σχηματισμοί, δεν παρατηρείται εκδήλωση πηγαίων εκφορτίσεων, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, εξαιτίας της κλίσης και γενικά της γεωμετρίας των επαφών των παραπάνω λιθολογιών και της υδραυλικής επικοινωνίας με τη θάλασσα (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005). Εξάιρεση αποτελούν οι πηγές στον Άγιο Σπυρίδωνα (S06) και στον οικισμό της Αγίας Θεοδότης (S07) (Εικόνες 4-1 & 6-2).

Η πηγή στον Άγιο Σπυρίδωνα (S06) εκφορτίζει τα μάρμαρα (mr) και εκδηλώνεται στην επαφή με τους υποκείμενους χλωριτικούς – αλβιτικούς σχιστόλιθους (sch3) (Εικ.4-1). Πρόκειται για πηγή επαφής, η οποία έχει υδρομαστευτεί και εξυπηρετεί μεμονωμένες αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες. Η παροχή της ανέρχεται σε $0,3\text{m}^3/\text{h}$ ή $7,2\text{m}^3/24\text{ωρο}$ (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Η πηγή στον οικισμό της Αγίας Θεοδότης (S07) εκφορτίζει τα μάρμαρα (mr) και εκδηλώνεται στην επαφή με τους υπερκείμενους Τεταρτογενείς σχηματισμούς των συγκολλημένων αποθέσεων πεδιάδων και κλιτύων (Pt). Πρόκειται για πηγή υπερπλήρωσης, η οποία έχει υδρομαστευτεί και εξυπηρετεί τοπικές ανάγκες. Η παροχή της ανέρχεται σε $0,04\text{m}^3/\text{h}$ ή $\sim 1\text{m}^3/24\text{ωρο}$ (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

8.4 Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα

Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών, τοπικής σημασίας και μικρής δυναμικότητας αναπτύσσονται στους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) και στους οφθαλμογενέσιους (gn) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Εικόνες 4-1 & 6-2). Αμφότεροι οι ανωτέρω σχηματισμοί παρουσιάζουν προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και έντονη διάρρηξη.

Τα πετρώματα αυτά κατατάσσονται στα σκληρά διερρηγμένα και αναπτύσσουν τις τρεις χαρακτηριστικές κατακόρυφες ζώνες και συγκεκριμένα ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένο μανδύα, ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη και κατώτερη ή συμπαγή ζώνη, όπου κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από διακριτές υδρογεωλογικές συνθήκες (Krasny, 1996) (βλπ. κεφάλαιο 7).

Στους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) που εμφανίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της Ίου (Εικ.4-1), στην ευρύτερη περιοχή Επάνω Κάμπου και Προφήτη Ηλία, έχει δημιουργηθεί ένας ενιαίος, μεγάλης επιφανειακής ανάπτυξης και ικανοποιητικού πάχους αποσαθρωμένος μανδύας (ανώτερη ζώνη), αργιλικής κυρίως σύστασης. Χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής αποτελούν οι αναβαθμοί από ξερολιθιές για την αποφυγή διαβρωτικών φαινομένων και τη συγκράτηση του εδάφους, δηλαδή του αποσαθρωμένου μανδύα (Εικόνες 8-6 & 8-18) και οι εκτεταμένες καλλιέργειες. Η υποκείμενη διερρηγμένη ζώνη (ενδιάμεση) παρουσιάζει το σύνολο σχεδόν των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών ικανοποιητικής δυναμικότητας (βλπ. §7.4, Εικ.7-3), όπως πυκνότητα, βαθμό διασύνδεσης, παρουσία υπερκείμενου αποσαθρωμένου μανδύα κλπ., αλλά και αυξημένη παρουσία αργιλικού υλικού, εξαιτίας της φύσης του σχηματισμού, το οποίο έχει πληρώσει σε σημαντικό βαθμό τις ασυνέχειες.



Εικόνα 8-6: Χαρακτηριστικοί αναβαθμοί από ξερολιθιές στη βορειοδυτική πλευρά του Προφήτη Ηλία, ανάντη του σημείου εκδήλωσης της πηγής Κρητικού (S05), για την αποφυγή διαβρωτικών φαινομένων και τη συγκράτηση του εδάφους (αποσαθρωμένος μανδύας).

Στους οφθαλμογενέσιους (gn), αντίθετα, παρατηρείται ανυπαρξία ή κατά θέσεις ανάπτυξη περιορισμένου πάχους και επιφανειακής εξάπλωσης αποσαθρωμένου μανδύα (ανώτερη ζώνη), γεγονός που δικαιολογεί και την απουσία καλλιεργούμενων εκτάσεων. Η υποκείμενη διερρηγμένη ζώνη (ενδιάμεση) παρουσιάζει το σύνολο σχεδόν των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσω ασυνεχειών ικανοποιητικής δυναμικότητας (βλπ. §7.4, Εικόνες 7-3 & 8-7), όπως άνοιγμα, πυκνότητα, βαθμό διασύνδεσης, καθώς και ελάχιστη παρουσία αργιλικού υλικού για την πλήρωση των ασυνεχειών.



Εικόνα 8-7: Άποψη της διερρηγμένης ζώνης με ανάπτυξη εκτεταμένων συστημάτων διακλάσεων στους οφθαλμογενέσιους (gn) στην περιοχή του Μυλοπότα.

Υπό αυτές τις συνθήκες, στους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge) αναπτύσσονται πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες τόσο στον αποσαθρωμένο μανδύα όσο και στη διερρηγμένη ζώνη, ενώ στους οφθαλμογενεύσιους (gn) πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στον αποσαθρωμένο μανδύα και μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στη διερρηγμένη ζώνη. Η τροφοδοσία του συνόλου των ανωτέρω υδροφόρων οριζώντων πραγματοποιείται αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

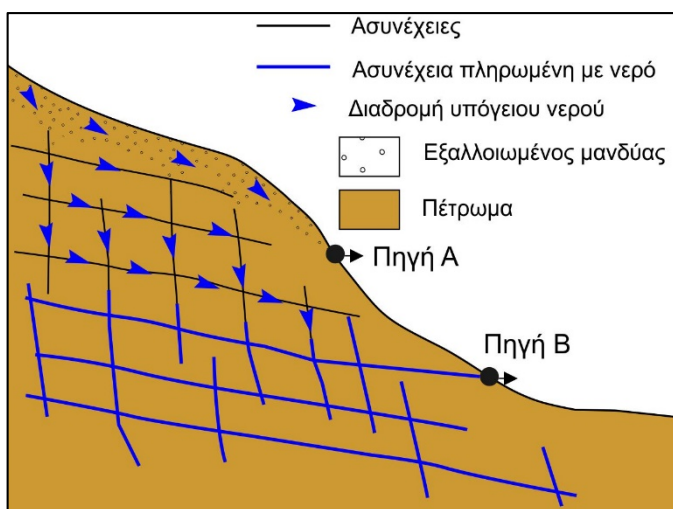
Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και των οφθαλμογενευσίων (gn) συντελείται από πηγάδια στις περιοχές με σχετικά ομαλό ανάγλυφο και πλήθος μικροπηγών που εκδηλώνονται διάσπαρτα, με κυμαινόμενη παροχή της τάξης των $(2-4)m^3/24ωρο$ και κάλυπταν μεμονωμένες ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης των επιμέρους ιδιωτικών αγροκτημάτων. Η κατασκευή μικρών δεξαμενών χωρητικότητας $(2-3)m^3$ για την αποθήκευση ποσοτήτων νερού, δίπλα στο σημείο εκδήλωσης των μικροπηγών, ήταν κοινή τακτική στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των έστω και ελάχιστων υδατικών πόρων. Χαρακτηριστικός της Ίου είναι ο τρόπος κατασκευής της υδρομάστευσης, ο οποίος εξυπηρετεί κυρίως το πότισμα ζώων (Εικ.8-8).

Η παροχή των μικροπηγών αποτελεί άμεση συνάρτηση της έκτασης και του πάχους του αποσαθρωμένου μανδύα που εκφορτίζουν (Εικ.8-9), καθώς και των βροχοπτώσεων. Το σύνολο σχεδόν των μικροπηγών αυτών έχουν στερέψει ή έχει περιοριστεί πάρα πολύ η παροχή τους με το πέρασμα των δεκαετιών και το συνεχή περιορισμό των βροχοπτώσεων. Η πλέον γνωστή και αξιόλογη πηγή της κατηγορίας αυτής είναι η πηγή του Κρητικού (S05) (Κουρμούλης, 1980; Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010) (βλπ. §8.4.4).

Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενευσίων (gn) διαχρονικά γινόταν από πηγές, κυρίως υπερπλήρωσης (Εικ.8-9). Οι πλέον αξιόλογες από αυτές είναι της Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04), οι οποίες κάλυπταν τις υδρευτικές ανάγκες της Χώρας, της Ψάθης και της Αγίας Θεοδότης αντίστοιχα. Κοινό χαρακτηριστικό όλων είναι η εκδήλωσή τους σε χαμηλό σχετικά υψόμετρο (<150m), εντός των μισογάγγειων ρεμάτων με μεγάλης έκτασης υδρολογικές λεκάνες, περιμετρικά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m) (Εικόνες 4-1 & 6-2).



Εικόνα 8-8: Χαρακτηριστικός τρόπος υδρομάστευσης πηγής στον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) επί της οδού Χώρας – Μυλοπότα.



Εικ.8-9: Σκαριφηματική τομή εκδήλωσης πηγών επαφής (πηγή Α) στον αποσαθρωμένο μανδύα και πηγών υπερπλήρωσης (Πηγή Β) σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα.

Η συνεχής αύξηση των αναγκών σε νερό για ύδρευση και άρδευση οδήγησε στην ανόρυξη υδρογεωτρήσεων μεγάλου βάθους για την περαιτέρω εκμετάλλευση της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογενευσίων (gn) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge). Οι περισσότερες από τις δημοτικές υδρογεωτρήσεις έχουν ανορυχτεί και εκμεταλλεύονται την υδροφορία αυτή (B06, B07, B08, B09, B10, B11 και B12), ενώ υπάρχουν και πολλές ιδιωτικές (B01, B02 και B04) (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-10).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της ειδικής ικανότητας (specific capacity) ή ειδικής παροχής των υδρογεωτρήσεων που εκμεταλλεύονται τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενευσίων (gn) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge). Επισημαίνεται, πως ειδική ικανότητα είναι το πηλίκιο της παροχής μιας υδρογεώτρησης δια της πτώσης στάθμης που προκαλεί η αντλούμενη παροχή και αποτελεί το μέτρο της δυναμικότητας της υδρογεώτρησης (Καλλέργης, 1999). Μεγάλη ειδική ικανότητα υποδηλώνει μεγάλη παραγωγικότητα της υδρογεώτρησης.

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από μετρήσεις στάθμης σε ιδιωτικές και δημοτικές υδρογεωτρήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές που κατά θέσεις ξεπερνούν τα 35 μέτρα στα δυτικά και νοτιοδυτικά του Κάστρου ή Πύργου και είναι της τάξης των 15 μέτρων στο νότιο περιθώριο της προσχωσιγενούς λεκάνης του Μυλοπότα (Εικόνες 4-1 & 8-10, Πίν.8-1). Επισημαίνεται, πως οι δημοτικές υδρογεωτρήσεις B08, B09 και B12 αντλούνται με παροχή $4,5\text{m}^3/\text{h}$, ενώ η B06 με $7,5\text{m}^3/\text{h}$ στις 12-08-2018 (Εικόνες 4-1 & 8-10).



Εικόνα 8-10: Άποψη των θέσεων των δημοτικών υδρογεωτρήσεων B06, B07 (ανεργή), B08, B09, B10 (ανεργή), B11 (ανεργή) και B12 που εκμεταλλεύονται τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενευσίων (gn) σε δορυφορική εικόνα Google Earth.

Πίνακας 8-1: Μετρήσεις στάθμης από την επιφάνεια του εδάφους σε ιδιωτικές και δημοτικές υδρογεωτρήσεις (βλπ. Εικ.4-1) που εκμεταλλεύονται την υδροφορία που αναπτύσσεται στη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενευσίων (gn).

Κωδικός υδρογεώτρησης	08-2018	15-07-2005	25-10-2006	20-07-2007
		(Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010)		
B01 (ιδιωτική)	26,76	21,26		
B02 (ιδιωτική)	23,65	8,92		
B06 (δημοτική)	36,52	0,3	4,1	
B12 (δημοτική)	78,53	52,06	51,11	52,86

Από τις μετρήσεις των φυσικών και χημικών παραμέτρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από σημεία υδροληψίας που εκμεταλλεύονται το σύνολο των υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών, αποσαθρωμένος μανδύας και διερρηγμένη ζώνη, των οφθαλμογενευσίων (gn) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) προκύπτει κατά θέσεις αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα και συγκέντρωση ιόντων NaCl (Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010).

Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερος γνωστό για τις Κυκλάδες και οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή και συμπαρασύρουν άλατα που προέρχονται από τη διεπιφάνεια αέρα – νερού πάνω από τη θάλασσα, τα οποία εναποθέτουν στα υψώματα των νησιών. Εν συνεχεία, οι βροχοπτώσεις προκαλούν διάλυση των αλάτων, κατείδυση και εμπλουτισμό σε αυτά των ανωτέρω υδροφόρων οριζόντων (Loewengart, 1961; Κουρμούλης, 1980).

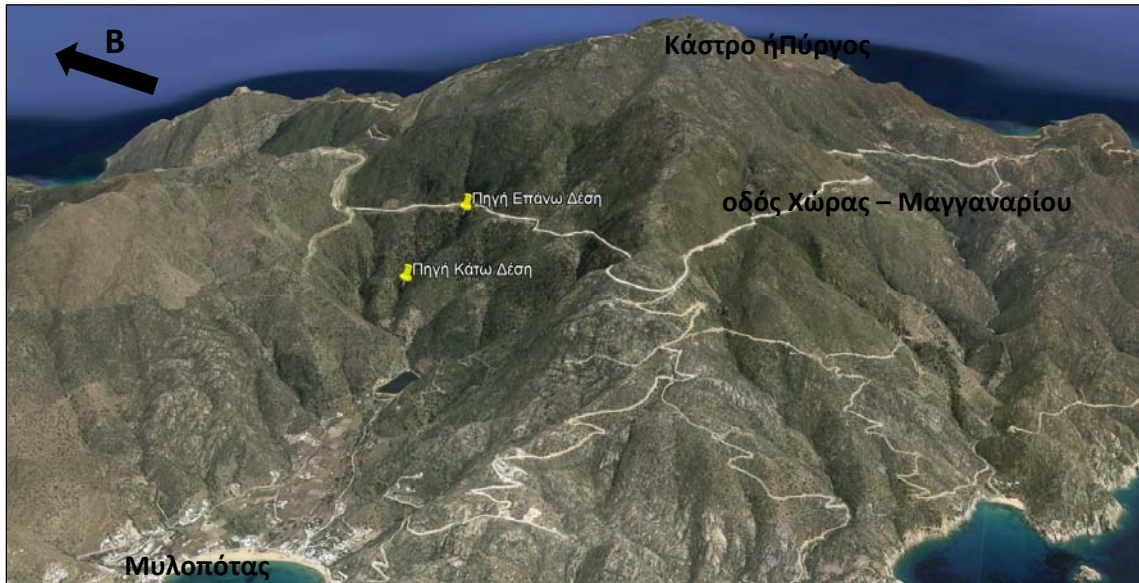
8.4.1 Πηγή Επάνω Δέσης (S01)

Η πηγή της Επάνω Δέσης εκδηλώνεται σε υψόμετρο 310m στη δυτική πλευρά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m), κατάντη της οδού Χώρας – Μαγναραίου, εντός της μισογάγγειας επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στο ρέμα Μυλοπόταμου και εκβάλλει στον ομώνυμο όρμο (Εικόνες 4-1, 6-2, 8-11 & 8-12). Εκφορτίζει τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενευσίων (gn) (Εικ.8-9).

Η πηγή έχει υδρομαστευτεί και για δεκαετίες εξυπηρετούσε τις υδρευτικές ανάγκες της Χώρας Ίου. Στην Εικόνα 8-10 διακρίνονται τα έργα υδρομάστευσης της πηγής, καθώς και το εσωτερικό της δεξαμενής συγκέντρωσης του νερού (Εικ.8-13). Η παροχή της πηγής στις 11-08-2018 εκτιμήθηκε στα $(1-2)m^3/24\omega\rho$, ενώ στις 30-08-1978 ήταν $10m^3/24\omega\rho$ (Κουρμούλης, 1980) (Εικ.9-1). Όσον αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πηγής της Επάνω Δέσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν $585\mu S/cm$ στις 11-08-2018.



Εικόνα 8-11: Άποψη των έργων υδρομάστευσης στην πηγή Επάνω Δέσης (S01).



Εικόνα 8-12: Άποψη των σημείων εκδήλωσης των πηγών Επάνω Δέσης (S01) και Κάτω Δέσης (S02) σε δορυφορική εικόνα Google Earth. Διακρίνεται η εσωποτάμια λιμνοδεξαμενή Μυλοποτάμου κατάντη των πηγών.



Εικόνα 8-13: Άποψη του εσωτερικού της δεξαμενής υδρομάστευσης της πηγής Επάνω Δέσης (S01) και το νερό που συγκεντρώνεται σε αυτή στις 11-08-2018.

8.4.2 Πηγή Κάτω Δέση (S02)

Η πηγή της Κάτω Δέσης εκδηλώνεται σε υψόμετρο 151m στη δυτική πλευρά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m), εντός της μισγάγγειας επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στο ρέμα Μυλοπόταμου και εκβάλλει στον ομώνυμο όρμο (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-12). Εκφορτίζει τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλομογενεσίων (gn) (Εικ.8-9). Στο σημείο εκδήλωσης της πηγής και κατάντη αυτού έχουν κατασκευαστεί ιδιωτικά αυτοσχέδια έργα υδρομάστευσης για την κάλυψη μεμονωμένων ιδιωτικών αρδευτικών και κτηνοτροφικών αναγκών (Εικ.8-14).

Η παροχή της πηγής στις 12-08-2018 εκτιμήθηκε στα $(10-12)m^3/24ωρο$ (Εικ.8-14). Ο Κνιθάκης (1976) αναφέρει παροχή της τάξης των $(60-70)m^3/24ωρο$ το Σεπτέμβριο του 1976, ενώ ο Κουρμούλης (1980) κάνει λόγο για $5,5m^3/h$ στις 22-05-1978 και $4,0m^3/h$ στις 24-08-1978 (Εικ.9-1). Στη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής Μυλοποτάμου (Εψιλον ΕΠΕ, 1996) η παροχή εκτιμάται σε $35m^3/24ωρο$ τους καλοκαιρινούς μήνες και θεωρείται πολύ μεγαλύτερη τους χειμερινούς (Εικ.9-1).



Εικόνα 8-14: Άποψη των ιδιωτικών αυτοσχέδιων έργων υδρομάστευσης στην πηγή Κάτω Δέσης (S02) (αριστερά) και της ροής του νερού από την εκφόρτιση της πηγής (δεξιά) στις 12-08-2018.

Οι Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000) εκτιμούν την παροχή της Επάνω και Κάτω Δέσης στα $3,0\text{m}^3/\text{h}$ τους χειμερινούς μήνες, η οποία μειώνεται σημαντικά κατά τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1). Η Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005) εκτιμά την παροχή της Κάτω Δέσης στα $2,0\text{m}^3/\text{h}$ τους χειμερινούς μήνες με σημαντική μείωση τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1). Οι Γιαννουλόπουλος & Λάμπας (2010) αναφέρουν, πως η πηγή της Κάτω Δέσης παρουσιάζει κυμαινόμενη παροχή της τάξης των $(3-6)\text{m}^3/\text{h}$ κατά τους χειμερινούς μήνες με επίσης σημαντική μείωση κατά τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1).

Όσον αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πηγής της Κάτω Δέσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν $1.065\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 12-08-2018 και $1.150\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 22-05-1978 (Κουρμούλης, 1980) και οφείλεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στους ισχυρούς ανέμους και στη μεταφορά αερολυμάτων από τη διεπιφάνεια αέρα – νερού πάνω από τη θάλασσα (Loewengart, 1961; Κουρμούλης, 1980).

8.4.3 Πηγή Ψάθης (S03)

Η πηγή της Ψάθης εκδηλώνεται σε υψόμετρο 121m στη βορειοανατολική πλευρά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m), εντός της μισγάγγειας επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στο ρέμα Παπαμακαρίου και εκβάλλει στον όρμο Ψάθης (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-15). Εκφορτίζει τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλομογνευσίων (gn) (Εικ.8-9). Η πηγή έχει υδρομαστευτεί και για δεκαετίες εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες του οικισμού της Ψάθης, καθώς και μεμονωμένες ιδιωτικές αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες (Εικ.8-16).

Η παροχή της πηγής στις 11-08-2018 εκτιμήθηκε στα $(22-24)\text{m}^3/24\text{ωρο}$ (Εικ.8-15). Ο Κουρμούλης (1980) αναφέρει παροχή της τάξης των $5\text{m}^3/\text{h}$ στις 21-05-1978 (Εικ.9-1). Οι Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000) εκτιμούν την παροχή της πηγής σε $100\text{m}^3/24\text{ωρο}$ τους χειμερινούς μήνες με σημαντική μείωση τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1). Η Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005) αναφέρει παροχή της τάξης των $2,0\text{m}^3/\text{h}$ τους χειμερινούς μήνες με σημαντική μείωση τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1). Οι Γιαννουλόπουλος & Λάμπας (2010) κάνουν λόγο για παροχή της τάξης των $5\text{m}^3/\text{h}$ κατά τους χειμερινούς μήνες με επίσης σημαντική μείωση κατά τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της πηγής Ψάθης ήταν $856\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 11-08-2018 και $1.100\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 21-05-1978 (Κουρμούλης, 1980) και οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους και στη μεταφορά αερολυμάτων από τη διεπιφάνεια αέρα – νερού πάνω από τη θάλασσα (Loewengart, 1961; Κουρμούλης, 1980).



Εικόνα 8-15: Άποψη του σημείου εκδήλωσης της πηγής Ψάθης (S03) σε δορυφορική εικόνα Google Earth.



Εικόνα 8-16: Άποψη των ιδιωτικών έργων υδρομάστευσης στην πηγή Ψάθης (S03) (αριστερά) και της ροής του νερού από την εκφόρτιση της πηγής (δεξιά) στις 11-08-2018.

8.4.4 Πηγή Αγίας Θεοδότης (S04)

Η πηγή της Αγίας Θεοδότης εκδηλώνεται σε υψόμετρο 105m στη ΒΒΔ πλευρά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m), εντός της μισγάγγειας επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στο ρέμα Αγίου Γεωργίου και εκβάλλει στον όρμο Αγίας Θεοδότης (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-17). Εκφορτίζει τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλομοννευσίων (gn) (Εικ.8-9). Η πηγή έχει υδρομαστευτεί και για δεκαετίες εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες του οικισμού της Αγίας Θεοδότης, καθώς και μεμονωμένες ιδιωτικές αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

Η παροχή της πηγής στις 11-08-2018 εκτιμήθηκε στα $(18-20)m^3/24ωρο$. Οι Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000) κάνουν λόγο για παροχή της τάξης των $170m^3/24ωρο$ τους χειμερινούς μήνες με σημαντική μείωση τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1).

8.4.5 Πηγή Κρητικού (S05)

Η πηγή του Κρητικού, στην πραγματικότητα πρόκειται για μικροαναβλύσεις, εκδηλώνεται σε υψόμετρο 71m στη ΒΒΔ πλευρά του Προφήτη Ηλία (519m), εντός της μισγάγγειας επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στο ρέμα Περιβολίων και εκβάλλει στον όρμο Ίου (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-18). Εκφορτίζει τον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και πρόκειται για πηγή επαφής.

Η παροχή της πηγής στις 19-05-1978 ήταν της τάξης των $(3-4)m^3/h$ και περίπου $2m^3/h$ στις 23/08/1978, με μέση τιμή $(40-50)m^3/24ωρο$ (Κουρμούλης, 1980) (Εικ.9-1). Οι Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000) αναφέρουν, πως η πηγή είναι στεγνή από χρόνια (Εικ.9-1). Οι Γιαννουλόπουλος & Λάμπας (2010) αναφέρουν, πως η πηγή του Κρητικού παρουσιάζει κυμαινόμενη παροχή της τάξης των $(2-4)m^3/h$ κατά τους χειμερινούς μήνες με σημαντική μείωση κατά τους καλοκαιρινούς (Εικ.9-1).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της πηγής Κρητικού ήταν $1.300\mu S/cm$ στις 19-05-1978 (Κουρμούλης, 1980) και οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους και στη μεταφορά αερολυμάτων από τη διεπιφάνεια αέρα – νερού πάνω από τη θάλασσα (Loewengart, 1961; Κουρμούλης, 1980).



Εικόνα 8-17: Άποψη του σημείου εκδήλωσης της πηγής Αγίας Θεοδότης (S04) σε δορυφορική εικόνα Google Earth.



Εικόνα 8-18: Άποψη του σημείου εκδήλωσης της πηγής Κρητικού (S05) σε δορυφορική εικόνα Google Earth. Διακρίνονται χαρακτηριστικοί αναβαθμοί από ξερολιθιές στη βορειοδυτική πλευρά του Προφήτη Ηλία (519m) για την αποφυγή διαβρωτικών φαινομένων και τη συγκράτηση του εδάφους, δηλαδή του αποσαθρωμένου μανδύα.

9. ΣΥΝΘΕΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

9.1 Σύνοψη

Οι Κυκλάδες διαχρονικά παρουσίαζαν έντονα φαινόμενα λειψυδρίας, τα οποία τα τελευταία χρόνια οξύνονται περαιτέρω, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης κυρίως από τον τουριστικό τομέα. Είναι χαρακτηριστικό, πως η καλοκαιρινή τουριστική περίοδος ταυτίζεται με τις περιόδους μέγιστης ζήτησης και ελάχιστης προσφοράς διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Στην Ίο έχει πραγματοποιηθεί μια σειρά έργων και παρεμβάσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας και την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Ανόρυξη υδρογεωτρήσεων.
- Κατασκευή της εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής του Μυλοποτάμου συνολικής χωρητικότητας 215.000m³.
- Λειτουργία μονάδας αφαλάτωσης στο Μυλοπότα δυναμικότητας 1.000m³/24ωρο.

Δεδομένης της κλιματικής αλλαγής που συντελείται τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται συνεχής ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων της Ίου. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως καταγράφεται:

- στείρευση ή σημαντική μείωση της παροχής των πηγαίων εκφορτίσεων,
- αξιοσημείωτη πτώση στάθμης στις υδρογεωτρήσεις και στα πηγάδια,
- ενώ η λιμνοδεξαμενή του Μυλοπότα τόσο το 2000 όσο και φέτος (2018) δεν είχε καθόλου νερό, εξαιτίας της παρατεταμένης ανομβρίας.

Το μέσο ετήσιο βροχής των μετεωρολογικών σταθμών Ίου και Νάξου ανέρχεται σε 285,5mm για τα υδρολογικά έτη 2009-2010 έως και 2017-2018 (Εικ.3-1) και σε 350,0mm για τα υδρολογικά έτη 1955-1956 έως και 2017-2018 (Εικ.3-2) αντίστοιχα. Για αμφότερους τους σταθμούς, οι οποίοι είναι όμοροι και παρουσιάζουν καλή συσχέτιση, προκύπτει σαφής τάση μείωσης των βροχοπτώσεων.

Επισημαίνεται, πως απόρροια της κλιματικής αλλαγής είναι η συχνή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων κατά τη διάρκεια των οποίων οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλα ύψη βροχής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να υπερτερεί η επιφανειακή απορροή της κατείδυσης και επομένως να συντελείται περιορισμένη επανατροφοδοσία των υδροφόρων οριζώντων.

Η Ίος αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μεταμορφωμένα πετρώματα, πάνω στα οποία έχουν αποτεθεί ασύμφωνα περιορισμένες εμφανίσεις Τεταρτογενών σχηματισμών. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ίου περιλαμβάνουν την κυρίαρχη ενότητα των Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit) που εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα και σε υπολειμματικές εμφανίσεις στο νότιο, η οποία υπέρκειται τεκτονικά του Παλαιοζωικού υποβάθρου (Βαρύσκια ηλικία) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit) που καταλαμβάνει το κεντρικό και νότιο τμήμα (Εικ.4-1).

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί περιλαμβάνουν αλλουβιακές αποθέσεις (al) και συγκολλημένες αποθέσεις πεδιάδων και κλιτύων (Pt). Η ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) αποτελείται από μεταβασίτες (bsq), μάρμαρα (mr) και σχιστόλιθους (sch5, sch4, sch3, sch1). Η ενότητα Βάσης Κυκλάδων συνίσταται από μεταμορφωμένα πλουτώνια πετρώματα (γ), οφθαλμογενέσιους (gn) και γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge).

Με τη βοήθεια του γεωλογικού χάρτη της Ίου (Εικ.4-1) και σε συνδυασμό με επιτόπου γεωλογικές και υδρογεωλογικές παρατηρήσεις, κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος υδρολιθολογικός – υδρογεωλογικός χάρτης (Εικ.6-2), στον οποίο αποτυπώνεται και το σύνολο των σημείων υδροληψίας (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005). Η υδρολιθολογική ταξινόμηση των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών βασίστηκε στην πρότυπη κατάταξη της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (Struckmeier & Margat, 1995; Nikas *et al.*, 2010).

Στον Πίνακα 6-1 παρουσιάζεται η περατότητα (k) και ο συντελεστής κατείδυσης (l) των επιμέρους γεωλογικών σχηματισμών της Ίου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Στους πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί) σχηματισμούς (Κατηγορία 1) εντάσσονται οι αλλουβιακές αποθέσεις (al), οι οποίες σχηματίζουν τοπικούς και μικρούς πάχους υδροφόρους με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένους αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόρους (Εικ.6-2).

Στους συνεκτικούς (κυρίως ανθρακικούς) σχηματισμούς με δευτερογενή περατότητα (Κατηγορία 2) κατατάσσονται τα μάρμαρα (mr), τα οποία σχηματίζουν τοπικούς και μικρούς πάχους υδροφόρους με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένους αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόρους (Εικ.6-2).

Οι πορώδεις και συνεκτικοί σχηματισμοί με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – γενικά άνευ πρακτικής σημασίας (Κατηγορία 3) περιλαμβάνουν τις συγκολλημένες αποθέσεις πεδιάδων και κλιτύων (Pt), τα μεταμορφωμένα πλουτώνια πετρώματα (γ), τους οφθαλμογενείς (gn) και τους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge), εντός των οποίων αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υπόγεια νερά, κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών σχηματισμών, καθώς και τους μεταβασίτες (bsq) και τους σχιστόλιθους (sch5, sch4, sch3, sch1), εντός των οποίων αναπτύσσονται υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί (Εικ.6-2).

Στα σκληρά διερρηγμένα πετρώματα διακρίνονται τρεις κατακόρυφες ζώνες:

- η ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένος μανδύας,
- η ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη και
- η κατώτερη ή συμπαγή ζώνη,

όπου κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από διακριτές υδρογεωλογικές συνθήκες (Krasny, 1996).

Στην ανώτερη ζώνη ή αποσαθρωμένο μανδύα κυριαρχεί το πρωτογενές πορώδες και το πάχος της κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να φτάσει μέχρι και μερικές δεκάδες μέτρα (Εικόνες 7-1 & 7-2).

Στην ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη επικρατεί το δευτερογενές πορώδες, εκφρασμένο μέσω των διαρρήξεων και διακλάσεων αλλά και των πρωτογενών ασυνεχειών που αναπτύσσονται, εντός της μάζας του πετρώματος (Εικόνες 7-1 & 7-2). Χαρακτηριστικές παράμετροι, όπως ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών, το άνοιγμα τους, το μήκος τους, η τραχύτητα, το υλικό πληρώσεως, η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών, η πυκνότητα των ασυνεχειών και ο προσανατολισμός, καθορίζουν τη συνολική υδραυλική συμπεριφορά του πετρώματος. Το σύνηθες πάχος αυτής της ζώνης φτάνει τα μερικά δεκάδες ή και εκατοντάδες μέτρα.

Στην Εικόνα 7-3 διακρίνεται ο ρόλος των συστημάτων ασυνεχειών που υπάρχουν στη βραχομάζα σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων στη δημιουργία ευνοϊκών (δεξιά στήλη) ή μη (αριστερή στήλη) συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών.

Συνεκτιμώντας τις γεωλογικές και υδρολιθολογικές συνθήκες, όπως αυτές έχουν αναλυθεί στα κεφάλαια 4 και 6 αντίστοιχα, στην Ίο κυριαρχούν τρεις κύριες υδρογεωλογικές ενότητες, με μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

1. οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί και κυρίως οι αλλουβιακές αποθέσεις (al),
2. οι επιμέρους σχιστόλιθοι (sch5, sch4, sch3, sch1) και τα μάρμαρα (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) και
3. οι γρανατικοί – μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (sch.ge) και οφθαλμογενείς (gn) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Cycladic Basement Unit).

Κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες, ελεύθεροι φρεάτιοι, υποκείμενοι στις εποχιακές μεταβολές και μέτριας δυναμικότητας αναπτύσσονται στις παράκτιες προσχωσιγενείς κοιλάδες Μυλοπότα, Μαγγαναρίου, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου, όπου εμφανίζονται αλλουβιακές αποθέσεις (al) (Εικόνες 4-1 & 6-2). Η τροφοδοσία των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις, από την επιφανειακή χειμερινή κυρίως απορροή

χειμάρρων που διέρχονται από αυτές και από κατά θέσεις πλευρική τροφοδοσία, κυρίως από τους γρανατικούς – μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους (sch.ge) και τους οφθαλμογνεύσιους (gn) (Εικόνες 4-1 & 6-2).

Η εκμετάλλευση των κοκκωδών υδροφόρων οριζόντων γίνεται από πλήθος πηγαδιών, βάθους έως 10 μέτρα, και υδρογεωτρήσεις μικρού βάθους με παροχές άντλησης της τάξης των (3-8)m³/h, ενώ η τελική εκφόρτίσή τους συντελείται στη θάλασσα. Πρόκειται για υδατικό πόρο που διαδραμάτισε και συνεχίζει έως και σήμερα να παίζει σημαντικό ρόλο στην τοπική οικονομία, τόσο για άρδευση όσο και ύδρευση (κυρίως καθαριότητα και πράσινο).

Από τους πιεζομετρικούς χάρτες των περιόδων Αυγούστου 1978 (Κουρμούλης, 1980) (Εικ.8-1), Σεπτεμβρίου 2000 (Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000) (Εικ.8-2), Ιουλίου 2005 (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010) (Εικ.8-3) και Αυγούστου 2018 (Εικ.8-4) προκύπτει συστηματική και διαχρονική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση του κοκκώδους υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην προσχωματική κοιλάδα του Μυλοπότα. Αντίστοιχα αποτελέσματα διαχρονικής ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης προκύπτουν και για τους κοκκώδεις υδροφόρους ορίζοντες Κάτω Κάμπου και Μαγγαναρίου.

Στα μάρμαρα (mr) της ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU) αναπτύσσονται καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες μικρής έως μέσης δυναμικότητας, εξαιτίας της μικρής επιφανειακής ανάπτυξης και του περιορισμένου πάχους, οι οποίοι βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα σε περισσότερες από μία πλευρές και εκφορτίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε παράκτιες, καρστικές, υφάλμυρες πηγές (Γιαννουλόπουλος & Λάππας, 2010). Η τροφοδοσία τους συντελείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις.

Χαρακτηριστικό είναι, πως αν και τα μάρμαρα (mr) εμφανίζονται σε εναλλαγές με σχιστόλιθους (sch5, sch4, sch3, sch1), αδιαπέρατοι σχηματισμοί, δεν παρατηρείται εκδήλωση πηγαίων εκφορτίσεων, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, εξαιτίας της κλίσης και γενικά της γεωμετρίας των επαφών των παραπάνω λιθολογιών και της υδραυλικής επικοινωνίας με τη θάλασσα (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005). Εξαιρέση αποτελούν οι πηγές στον Άγιο Σπυρίδωνα (S06) και στον οικισμό της Αγίας Θεοδότης (S07) (Εικόνες 4-1 & 6-2).

Υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών, τοπικής σημασίας και μικρής δυναμικότητας αναπτύσσονται στους γρανατικούς – μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους (sch.ge) και στους οφθαλμογνεύσιους (gn) της ενότητας Βάσης Κυκλάδων (Εικόνες 4-1 & 6-2). Αμφότεροι οι ανωτέρω σχηματισμοί παρουσιάζουν προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και έντονη διάρρηξη και κατατάσσονται στα σκληρά διερρηγμένα πετρώματα.

Στους γρανατικούς – μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους (sch.ge) που εμφανίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της Ίου (Εικ.4-1), στην ευρύτερη περιοχή Επάνω Κάμπου και Προφήτη Ηλία, έχει δημιουργηθεί ένας ενιαίος, μεγάλης επιφανειακής ανάπτυξης και ικανοποιητικού πάχους αποσαθρωμένος μανδύας (ανώτερη ζώνη), αργιλικής κυρίως σύστασης. Η υποκείμενη διερρηγμένη ζώνη (ενδιάμεση) παρουσιάζει το σύνολο σχεδόν των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών ικανοποιητικής δυναμικότητας (βλπ. §7.4, Εικ.7-3), όπως πυκνότητα, βαθμό διασύνδεσης, παρουσία υπερκείμενου αποσαθρωμένου μανδύα κλπ., αλλά και αυξημένη παρουσία αργιλικού υλικού, εξαιτίας της φύσης του σχηματισμού, το οποίο έχει πληρώσει σε σημαντικό βαθμό τις ασυνέχειες.

Στους οφθαλμογνεύσιους (gn), αντίθετα, παρατηρείται ανυπαρξία ή κατά θέσεις ανάπτυξη περιορισμένου πάχους και επιφανειακής εξάπλωσης αποσαθρωμένου μανδύα (ανώτερη ζώνη), γεγονός που δικαιολογεί και την απουσία καλλιεργούμενων εκτάσεων. Η υποκείμενη διερρηγμένη ζώνη (ενδιάμεση) παρουσιάζει το σύνολο σχεδόν των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη υδροφόρων οριζόντων μέσου ασυνεχειών ικανοποιητικής δυναμικότητας (βλπ. §7.4, Εικόνες 7-3 & 8-7), όπως άνοιγμα, πυκνότητα, βαθμό διασύνδεσης, καθώς και ελάχιστη παρουσία αργιλικού υλικού για την πλήρωση των ασυνεχειών.

Υπό αυτές τις συνθήκες, στους γρανατικούς – μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους (sch.ge) αναπτύσσονται πολύ μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες τόσο στον αποσαθρωμένο μανδύα όσο και στη διερρηγμένη ζώνη, ενώ στους οφθαλμογνεύσιους (gn) πολύ μικρής

δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στον αποσαθρωμένο μανδύα και μικρής δυναμικότητας υδροφόροι ορίζοντες στη διερρηγμένη ζώνη. Η τροφοδοσία του συνόλου των ανωτέρω υδροφόρων οριζόντων πραγματοποιείται αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και των οφθαλμογνευσίων (gn) συντελείται από πηγάδια στις περιοχές με σχετικά ομαλό ανάγλυφο και πλήθος μικροπηγών που εκδηλώνονται διάσπαρτα, με κυμαινόμενη παροχή της τάξης των $(2-4)m^3/24\omega\rho\omicron$ και κάλυπταν μεμονωμένες ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης των επιμέρους ιδιωτικών αγροκτημάτων. Η κατασκευή μικρών δεξαμενών χωρητικότητας $(2-3)m^3$ για την αποθήκευση ποσοτήτων νερού, δίπλα στο σημείο εκδήλωσης των μικροπηγών, ήταν κοινή τακτική στο πλαίσιο της αειφορικής διαχείρισης των έστω και ελάχιστων υδατικών πόρων. Η παροχή των μικροπηγών αποτελεί άμεση συνάρτηση της έκτασης και του πάχους του αποσαθρωμένου μανδύα που εκφορτίζουν (Εικ.8-9), καθώς και των βροχοπτώσεων. Το σύνολο σχεδόν των μικροπηγών αυτών έχουν στερέψει ή έχει περιοριστεί πάρα πολύ η παροχή τους με το πέρασμα των δεκαετιών και το συνεχή περιορισμό των βροχοπτώσεων. Η πλέον γνωστή και αξιόλογη πηγή της κατηγορίας αυτής είναι η πηγή του Κρητικού (S05) (Εικ.8-18) (Κουρμούλης, 1980; Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010) (βλπ. §8.4.4).

Η εκμετάλλευση της υδροφορίας που αναπτύσσεται στη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογνευσίων (gn) διαχρονικά γινόταν από πηγές, κυρίως υπερπλήρωσης (Εικ.8-9). Οι πλέον αξιόλογες από αυτές είναι της Επάνω Δέσης (S01) (Εικόνες 8-11, 8-12 & 8-13), Κάτω Δέσης (S02) (Εικόνες 8-12 & 8-14), Ψάθης (S03) (Εικόνες 8-15 & 8-16) και Αγίας Θεοδότης (S04) (Εικ.8-17), οι οποίες κάλυπταν τις υδρευτικές ανάγκες της Χώρας, της Ψάθης και της Αγίας Θεοδότης αντίστοιχα.

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προαναφερθέντων πηγών είναι η εκδήλωσή τους σε χαμηλό σχετικά υψόμετρο (<150m), εντός των μισογάγγειων ρεμάτων με μεγάλης έκτασης υδρολογικές λεκάνες, περιμετρικά του όρους Κάστρο ή Πύργος (714m) (Εικόνες 4-1, 6-2, 8-12, 8-15 & 8-17). Επισημαίνεται, επιπλέον, πως η τροφοδοσία τους συντελείται αποκλειστικά από τις βροχοπτώσεις.

Στην Εικόνα 9-1 παρουσιάζεται η διαχρονική διακύμανση της παροχής των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03), Αγίας Θεοδότης (S04) και Κρητικού (S05) με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Κνιθάκης 1976; Κουρμούλης, 1980; Έψιλον ΕΠΕ, 1996; Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000, Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005; Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010) και τις πρόσφατες παρατηρήσεις και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 11-12 Αυγούστου 2018.

Μελέτη / Πηγή	Πηγή S01 - Επάνω Δέση			Πηγή S02 - Κάτω Δέση		
	Παροχή		Ημερ/νία	Παροχή		Ημερ/νία
	m ³ /24ωρο	m ³ /h		m ³ /24ωρο	m ³ /h	
Κνιθάκης (1976)				(60,0-70,0)	(2,5-2,9)	Σεπ-76
Κουρμούλης (1980)	10,0	0,4	30/8/1978	132,0	5,5	22/5/1978
				96,0	4,0	24/8/1978
Έψιλον ΕΠΕ (1996)				35,0	1,5	Χειμώνας
				≤35,0	≤1,5	Καλοκαίρι
Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000)	Συνολική παροχή πηγών Επάνω (S01) και Κάτω (S02) Δέσης			72,0	3,0	Χειμώνας
				≤72,0	≤3,0	Καλοκαίρι
Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005)	48,0	2,0	Χειμώνας			
	≤48,0	≤2,0	Καλοκαίρι			
Γιαννουλόπουλος & Λάμπας (2010)				(72,0-144,0)	(3,0-6,0)	Χειμώνας
				≤(72,0-144,0)	≤(3,0-6,0)	Καλοκαίρι
Φίλης (2018)	(1,0-2,0)	(0,04-0,08)	11/8/2018	(10,0-12,0)	(0,4-0,5)	12/8/2018

Μελέτη / Πηγή	Πηγή S03 - Ψάθη			Πηγή S04 - Αγία Θεοδότη			Πηγή S05 - Κρητικού		
	Παροχή		Ημερ/νία	Παροχή		Ημερ/νία	Παροχή		Ημερ/νία
	m ³ /24ωρο	m ³ /h		m ³ /24ωρο	m ³ /h		m ³ /24ωρο	m ³ /h	
Κνιθάκης (1976)									
Κουρμούλης (1980)	120,0	5,0	21/5/1978				(72,0-96,0)	(3,0-4,0)	19/5/1978
							≈48,0	≈2,0	23/8/1978
Έψιλον ΕΠΕ (1996)									
Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος (2000)	100,0	4,1	Χειμώνας	170,0	7,1	Χειμώνας	Στεγνή		
	≤100,0	≤4,1	Καλοκαίρι	≤170,0	≤7,1	Καλοκαίρι			
Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005)	48,0	2,0	Χειμώνας						
	≤48,0	≤2,0	Καλοκαίρι						
Γιαννουλόπουλος & Λάμπας (2010)	120,0	5,0	Χειμώνας				(48,0-96,0)	(2,0-4,0)	Χειμώνας
	≤120,0	≤5,0	Καλοκαίρι				≤(48,0-96,0)	≤(2,0-4,0)	Καλοκαίρι
Φίλης (2018)	(22,0-24,0)	(0,9-1,0)	11/8/2018	(18,0-20,0)	(0,75-0,83)	11/8/2018			

Εικόνα 9-1: Διαχρονική διακύμανση της παροχής των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03), Αγίας Θεοδότης (S04) και Κρητικού (S05) με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Κνιθάκης 1976; Κουρμούλης, 1980; Έψιλον ΕΠΕ, 1996; Παπαδόπουλος & Στεργιόπουλος, 2000, Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005; Γιαννουλόπουλος & Λάμπας, 2010) και πρόσφατες παρατηρήσεις και μετρήσεις (Αύγουστος 2018). Οι παροχές των πηγών αναφέρονται σε m³/24ωρο και m³/h, εξαιτίας της περιορισμένης δυναμικότητάς τους.

Από την αξιολόγηση των παραπάνω μετρήσεων προκύπτει, συνεχής μείωση της παροχής των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04) και συνεπάγεται συστηματική και διαχρονική ποσοτική υποβάθμιση της υδροφορίας της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογενευσίων (gn) που εκφορτίζουν. Αντίστοιχη εικόνα συνεχούς μείωσης της παροχής έως και ολική στέρηση παρουσιάζει η πηγή Κρητικού (S05), η οποία υποδηλώνει συστηματική και διαχρονική ποσοτική υποβάθμιση της υδροφορίας του αποσαθρωμένου μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) που εκφορτίζει.

Για την περαιτέρω εκμετάλλευση της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογενευσίων (gn) και των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) ανορύχτηκαν υδρογεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Οι περισσότερες από τις δημοτικές υδρογεωτρήσεις έχουν ανορυχτεί και εκμεταλλεύονται την υδροφορία αυτή (B06, B07, B08, B09, B10, B11 και B12), ενώ υπάρχουν και πολλές ιδιωτικές (B01, B02 και B04) (Εικόνες 4-1, 6-2 & 8-10).

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της ειδικής ικανότητας (specific capacity) ή ειδικής παροχής των ανωτέρω υδρογεωτρήσεων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από μετρήσεις στάθμης σε ιδιωτικές και δημοτικές υδρογεωτρήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές που κατά θέσεις ξεπερνούν τα 35 μέτρα στα δυτικά και νοτιοδυτικά του Κάστρου ή Πύργου και είναι της τάξης των 15 μέτρων στο νότιο περιθώριο της προσχωσιγενούς λεκάνης του Μυλοπότα (Εικόνες 4-1 & 8-10, Πίν.8-1). Επισημαίνεται, πως η παροχή άντλησης των ανωτέρω δημοτικών υδρογεωτρήσεων ήταν της τάξης των (4,5-7,5)m³/h στις 12-08-2018.

9.2 Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι και συνεκτιμώντας όλα τα προαναφερθέντα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα στοιχεία των όμορων μετεωρολογικών σταθμών Νάξου (1955-2018) και Ίου (2009-2018) δείχνουν σαφή τάση μείωσης των βροχοπτώσεων.
2. Απόρροια της κλιματικής αλλαγής είναι η συχνή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων κατά τη διάρκεια των οποίων, οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλα ύψη βροχής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να υπερτερεί η επιφανειακή απορροή της κατείδυσης και επομένως να συντελείται περιορισμένη επανατροφοδοσία των υδροφόρων οριζόντων.
3. Στην Ίο αναπτύσσονται κοκκώδεις, καρστικοί και μέσου ασυνεχειών υδροφόροι ορίζοντες με αποκλειστική κύρια τροφοδοσία τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και πρωτίστως τις βροχοπτώσεις. Εξαιρέση αποτελούν οι κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες, οι οποίοι δέχονται εμμέσως τροφοδοσία από την επιφανειακή χειμερινή κυρίως απορροή χειμάρρων που διέρχονται από αυτές και από κατά θέσεις πλευρική τροφοδοσία, κυρίως από τους οφθαλμογενείς (gn) και λιγότερο από τους γρανατικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (sch.ge). Επισημαίνεται, πως και η έμμεση αυτή τροφοδοσία, στην πραγματικότητα εξαρτάται άμεσα από τις βροχοπτώσεις.
4. Οι κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες στις περιοχές Μυλοπότα, Μαγναναρίου, Ψάθης, Κουμπάρας και Κάτω Κάμπου αντιμετωπίζουν συστηματική και διαχρονική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση, η οποία οφείλεται τόσο στον περιορισμό των τροφοδοσιών που υφίστανται (κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες) όσο και εξαιτίας υπεράντλησης (κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες).
5. Οι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες του βόρειου τμήματος της Ίου εκφορτίζονται στη θάλασσα και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.
6. Οι υδροφόροι ορίζοντες μέσου ασυνεχειών που αναπτύσσονται στον αποσαθρωμένο μανδύα και στη διερρηγμένη ζώνη των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και των οφθαλμογενέσεων (gn) αντιμετωπίζουν συστηματική και διαχρονική ποσοτική υποβάθμιση, καθώς:
 - Το σύνολο σχεδόν των μικροπηγών που εκφόρτιζαν τον αποσαθρωμένο μανδύα των γρανατικών – μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων (sch.ge) και των οφθαλμογενέσεων (gn) έχει στερέψει ή έχει περιοριστεί πάρα πολύ η παροχή τους με το πέρασμα των δεκαετιών και το συνεχή περιορισμό των βροχοπτώσεων.
 - Από την αξιολόγηση της διαχρονικής διακύμανσης (1976 έως σήμερα) της παροχής των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04), οι οποίες εκφορτίζουν τη διερρηγμένη ζώνη των οφθαλμογενέσεων (gn), προκύπτει συνεχής μείωση (Εικ.9-1) αλλά συνεχής ροή, καλύπτοντας ακόμα και σήμερα πάγιες υδρευτικές ανάγκες οικισμών.
 - Από την αξιολόγηση της διαχρονικής διακύμανσης (2005 έως σήμερα) της στάθμης του υπόγειου νερού από την επιφάνεια του εδάφους της διερρηγμένης ζώνης των οφθαλμογενέσεων (gn) προκύπτουν διαφορές που κατά θέσεις ξεπερνούν τα 35 μέτρα στα δυτικά και νοτιοδυτικά του Κάστρου ή Πύργου και είναι της τάξης των 15 μέτρων στο νότιο περιθώριο της προσχωσιγενούς λεκάνης του Μυλοπότα (Εικόνες 4-1 & 8-10, Πίν.8-1).
7. Στις περιοχές τροφοδοσίας (υδρογεωλογικές λεκάνες) των πηγών Επάνω Δέσης (S01), Κάτω Δέσης (S02), Ψάθης (S03) και Αγίας Θεοδότης (S04) δεν υπάρχουν υδροληπτικά έργα και επομένως η συνεχής μείωση της παροχής τους οφείλεται αποκλειστικά στη μείωση των βροχοπτώσεων.

8. Καταγράφεται μια συνεχής ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδροφόρων οριζόντων της Ίου, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη συνεχώς πτωτική τάση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού προς αναπλήρωση και εμπλουτισμό των υδροφόρων οριζόντων, που οφείλεται στη μείωση των βροχοπτώσεων και στον τρόπο εκδήλωσής τους, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

10. ΛΕΞΙΚΟ

Αλλουβιακές αποθέσεις: Τα πλέον πρόσφατα υλικά που έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω στους παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Εντοπίζονται στις πεδινές περιοχές (προσχωσιγενείς κοιλάδες) και είναι ιδιαίτερα εύφορες. Συνήθως τα υλικά που τις αποτελούν είναι χαλαρά στο κέντρο των κοιλάδων και περισσότερο συγκολλημένα στα περιθώρια.

Πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί σχηματισμοί) σχηματισμοί: Σχηματισμοί περιορισμένης συνεκτικότητας στους οποίους το υπόγειο νερό κινείται εντός των πάσης φύσεως πόρων τους.

Συνεκτικοί (κυρίως ανθρακικοί) σχηματισμοί με δευτερογενή περατότητα: Συμπαγείς ανθρακικοί σχηματισμοί στους οποίους το υπόγειο νερό κινείται στις πάσης φύσεως ασυνέχειες (διακλάσεις, ρήγματα) και γενικά σπασίματα.

Πλουτώνια πετρώματα: Πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται, όταν το μάγμα ψύχεται στο εσωτερικό του φλοιού της γης.

Οφθαλμογενέσι: Είδος μεταμορφωμένων πλουτώνιων πετρωμάτων

Αποσάθρωση: Η προοδευτική και σταδιακή αποσύνθεση των υλικών του εδάφους και των γεωλογικών σχηματισμών

Μεταβασίτες: Είδος μεταμορφωμένων πλουτώνιων πετρωμάτων

Σχιστόλιθοι: Είδος μεταμορφωμένων πετρωμάτων σχετικά περιορισμένης έως μηδενικής διαπερατότητας.

Αποσαθρωμένος μανδύας: Το ανώτερο τμήμα των γεωλογικών σχηματισμών που προσομοιάζει με έδαφος.

Κοκκώδεις υδροφόροι ορίζοντες: Υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται σε πορώδεις γεωλογικούς σχηματισμούς.

Φρέατος υδροφόρος ορίζοντας: Ο πλέον επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται σε πορώδεις σχηματισμούς και η εκμετάλλευσή του γίνεται κυρίως με φρέατα (πηγάδια).

Προσχωσιγενείς κοιλάδες: Πεδινές περιοχές που δομούνται από προσχώσεις (αλλουβιακές αποθέσεις).

Γρανατικοί – μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι: Είδος μεταμορφωμένων πετρωμάτων σχετικά περιορισμένης έως μηδενικής διαπερατότητας.

Καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες: Υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται σε ανθρακικά πετρώματα και η κίνηση και αποθήκευση του νερού γίνεται στις πάσης φύσεως ασυνέχειες (διακλάσεις, ρήγματα) και γενικά σπασίματα.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Altherr, R., Henjes-Kunst, F., Matthews, A., Friedrichsen, H. & Hansen, B.T. (1988). O-Sr isotopic variations in Miocene granitoids from the Aegean: evidence for an origin by combined assimilation and fractional crystallization. *Mineralogy and Petrology*, 100, 528-541.
- Altherr, R., Kreuzer, H., Wendt, I., Lenz, H., Wagner, G.A., Keller, J., Harre, W. & Hohndorf, A. (1982). A Late Oligocene/Early Miocene high temperature belt in the anti-cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). *Geologisches Jahrbuch*, 23, 97-164.
- Andriessen, P.A.M., Banga, M.G. & Hebeda, E.H. (1987). Isotopic age study of pre-Alpine rocks in the basal units on Naxos, Sikinos and Ios, Greek Cyclades, *Geol. Mijnbouw*, 66, 3-14.
- Angelier, J., Glaçon, G. & Muller, C. (1978). Sur la présence et la position tectonique du Miocène inférieur marin dans l'archipel de Naxos (Cyclades, Grèce). *Comptes Rendus. Académie des Sciences*, 286, 21-24.
- Augier, R., Jolivet, L., Gadenne, L., Lahdif, A. & Driussi, O. (2014). Exhumation kinematics of the Cycladic Blueschists Unit and back-arc extension, insight from the southern Cyclades (Sikinos and Folegandros Islands, Greece). *Tectonics*, 34, 152-185.
- Avigad, D. & Garfunkel, Z. (1989). Low-angle faults above and below a blueschist belt: Tinos Island, Cyclades, Greece. *Terra Nova*, 1, 182-187.
- Avigad, D. & Garfunkel, Z. (1991). Uplift and exhumation of high-pressure metamorphic terranes: The example of the Cycladic blueschists belt (Aegean Sea). *Tectonophysics* 188, 357-372.
- Avigad, D. (1993). Tectonic juxtaposition of blueschists and greenschists in Sifnos Island (Aegean Sea) – implications for the structure of the Cycladic blueschist belt, *Journal of Structural Geology*, 15, No. 12.
- Avigad, D. (1998). High-pressure metamorphism and cooling on SE Naxos (Cyclades, Greece). *European J. Mineralogy*, 10, 1309-1319.
- Avigad, D., Garfunkel Z., Jolivet L. & Azañon J.M. (1997). Back-arc extension and denudation of Mediterranean eclogites, *Tectonics*, 16.
- Barton, N., Vik, G., Johansen, P.M. & Makurat, A. (1987). Rock Mechanics Investigations for Unlined Pressure Tunnels and Air Cushion Surge Chambers. *International Conference on Hydropower in Norway*.
- Beaudoin, A., Laurent, V., Augier, R., Jolivet, L., Lahfid, A., Arbaret, L., Rabillard, A. & Menant, A. (2015). The Ikaria high-temperature metamorphic core complex (Cyclades, Greece): geometry, kinematics and thermal structure. *J. Geodyn.*, 92, 18-41.
- Blake, M.C., Geysant, J., Kienast, J.R., Lepvrier, C., Maluski, H. & Papanikolaou, D. (1981). A geologic reconnaissance of the Cycladic blueschist belt, Greece. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 92(I), 247-254.
- Böger, H. (1983). Stratigraphische und tektonische Verknüpfungen kontinentaler Sedimente des Neogens im Aegais-Raum. *Geologische Rundschau*, 72:771-813.
- Bonneau, M. & Kienast, J.R. (1982). Subduction, collision et schistes bleus: exemple de l'Egée, Grèce. *Bull. Soc. géol. France*, 7, 785-791.
- Bonneau, M. (1984). Correlation of the Hellenic nappes in the south-east Aegean and their tectonic reconstruction. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.). *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Special Publication of the Geological Society of London. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 517-527.
- Bonneau, M., Blake, M.C., Geysant, J., Kienast, J.R., Lepvrier, C., Maluski, H. & Papanikolaou, D. (1980a). Sur la signification des séries métamorphiques (schistes bleus) des Cyclades (Hellénides, Grèce), L'exemple de l'île de Syros. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 290 (D), 1463-1466.
- Bonneau, M., Geysant, J., Kienast, J.R., Lepvrier, C. & Maluski, H. (1980b). Tectonique et métamorphisme Haute Pression d'âge éocène dans les Hellénides: exemple de l'île de Syros (Cyclades, Grèce). *C. R. Acad. Sci. Paris*, (D), 291, 171-174.

- Bröcker, M. & Pidgeon, R.T. (2007). Protolith ages of meta-igneous and metatuffaceous rocks from the Cycladic Blueschist Unit, Greece: results of a reconnaissance U–Pb zircon study. *Journal of Geology*, 115, 83-98.
- Bröcker, M., Kreuzer, H., Matthews, A. & Okrusch, M. (1993). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and oxygen isotope studies of polymetamorphism from Tinos Island, Cycladic blueschist belt. *J. Metamorphic Geol.*, 11, 223-40.
- Buick, I.S. & Holland, T.J.B. (1989). The P-T-t path associated with crustal extension, Naxos, Cyclades, Greece. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 43, 365-369.
- Buick, I.S. (1988). The metamorphic and structural evolution of the Barrovian overprint, Naxos, Cyclades, Greece, PhD thesis, 235 pp., Univ. of Cambridge, Cambridge, U.K.
- Buick, I.S. (1991). Mylonite fabric development on Naxos, Greece. *Journal of Structural Geology*, 13, 643-655.
- California Department of Water Resources (1990). Mountain Counties Water Management Studies, Amador County.
- Davis, S.N. & De Wiest, R.J.M. (1966). *Hydrogeology*. (New York: John Wiley & Sons).
- Denèle, Y., Lecomte, E., Jolivet, L., Lacombe, O., Labrousse, L., Huet, B. & Le Pourhiet, L. (2011). Granite intrusion in a metamorphic core complex: the example of the Mykonos laccolith (Cyclades, Greece). *Tectonophysics*, 501, 52-70.
- Dubois, R. & Bignot, G. (1979). Présence d'un 'hardground' nummulitique au de la série Cretacée d'Almyropotamos (Eubée méridionale, Grèce). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II* 289, 993-995.
- Duchene, S., Aissa, R. & Vanderhaeghe, O. (2006). Pressure-temperature-time evolution of metamorphic rocks from Naxos (Cyclades, Greece): constraints from thermobarometry and Rb/Sr dating. *Geodinamica Acta*, 19, 301-321.
- Dürr, S., Seidel, E., Kreuzer, H. & Harre, W. (1978). Temoins d'un metamorphisme d'age cretace superieur dans l'Egeide: Datations radiometriques de mineraux provenant de l'ile de Nikouria (Cyclades, Grece), *Bull. Geol. Soc. Fr.*, 20, 209-213.
- Engel, M. & Reischmann, T. (1998). Single zircon geochronology of orthogneisses from Paros, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 32/3, 91-99.
- Gautier, P. & Brun, J.P. (1994a). Crustal-scale geometry and kinematics of late-orogenic extension in the central Aegean (Cyclades and Evia Island). *Tectonophysics*, 238, 399-424.
- Gautier, P. & Brun, J.P. (1994b). Ductile crust exhumation and extensional detachments in the central Aegean (Cyclades and Evvia islands). *Geodinamica Acta*, 712, 57-85.
- Gautier, P., Brun, J.P. & Jolivet, L. (1993). Structure and kinematics of upper Cenozoic extensional detachment on Naxos and Paros (Cyclades Islands, Greece). *Tectonics* 12, 1180-1194.
- Godfiaux, I. (1962). Sur la presence de l'Eocene dans les calcaires superieurs de l'Olympe (Thessalie septentrionale, Greece), *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 4, 49-54.
- Godfiaux, I. (1968). Etude geologique de la region de l'Olympe (Grece). *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, v. 19 p. 1-280.
- Grasemann, B., Schneider, D.A., Stöckli, D.F. & Iglseder, C. (2012). Miocene bivergent crustal extension in the Aegean: evidence from the western Cyclades (Greece). *Lithosphere*, 4, 23-39.
- Huet, B. (2010). *Rhéologie de la lithosphère continentale: l'exemple de la Mer Egée*. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- Huet, B., Labrousse, L. & Jolivet, L. (2009). Thrust or detachment? Exhumation processes in the Aegean: insight from a field study on Ios (Cyclades, Greece). *Tectonics*, 28, TC3007.
- Jansen, J.B.H. & Schuiling, R.D. (1976). Metamorphism on Naxos: petrology and geothermal gradients. *Am. J. Sci.*, 276 (10), 1225-1253.
- Jansen, J.B.H. (1977). *Metamorphism on Naxos, Greece*, thesis, Utrecht Univ., Utrecht, Netherlands.

- Jolivet, L. & Brun, J.P. (2010). Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean region. *International journal of Earth Sciences*, 99, 109-138.
- Jolivet, L. & Faccenna, C. (2000). Mediterranean extension and the Africa – Eurasia collision. *Tectonics*, 19 (6), 1095-1106.
- Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Le Pourhiet, L., Lacombe, O., Lecomte, E., Burov, E., Denèle, Y., Brun, J.P., Philippon, M., Paul, A., Salaün, G., Karabulut, H., Piromallo, C., Monié, P., Gueydan, F., Okay, A.I., Oberhänsli, R., Pourteau, A., Augier, R., Gadenne, L. & Driussi, O. (2012). Aegean tectonics: strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598, 1-33, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.011>.
- Jolivet, L., Famin, V., Mehl, C., Parra, T., Aubourg, C., Hébert, R. & Philippot, P. (2004a). Strain localization during crustal-scale boudinage to form extensional metamorphic domes in the Aegean Sea. *GSA Special Papers*, 380, 185-210.
- Jolivet, L., Lecomte, E., Huet, B., Denèle, Y., Lacombe, O., Labrousse, L., Le Pourhiet, L. & Mehl, C. (2010). The North Cycladic detachment system. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 289, 87-104.
- Jolivet, L., Menant, A., Sternai, P., Rabillard, A., Arbaret, L., Augier, R., Laurent, V., Beaudoin, A., Grasemann, B., Huet, B., Labrousse, L. & Le Pourhiet, L. (2015). The geological signature of a slab tear below the Aegean. *Tectonophysics*, 659, 166-182.
- Jolivet, L., Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffe, B. & Caudan, O. (2004b). Correlation of syn-orogenic tectonic and metamorphism events in the Cyclades. The Lycian nappes and the Menderes massif, geodynamic implications. *Bull. Geol. Soc. Fr.*, 175, 217-238.
- Katzir, Y., Avigad, D., Matthews, A., Garfunkel, Z. & Evans, B.W. (1999). Origin and metamorphism of ultrabasic rocks associated with a subducted continental margin, Naxos (Cyclades, Greece), *J. Metamorph. Geol.*, 17, 301-318.
- Keay, S. & Lister, G. (2002). African provenance for the metasediments and metaigneous rocks of the Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Geology*, 30 (3), 235-238.
- Keay, S. (1998). The geological evolution of the Cyclades, Greece: constraints from SHRIMP U-Pb geochronology. PhD Thesis, Australian National University, Canberra, 341p.
- Keay, S., Lister, G. & Buick, I. (2001). The timing of partial melting, Barrovian metamorphism and granite intrusion in the Naxos metamorphic core complex Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Tectonophysics*, 342, 275-312.
- Keiter, M., Piepjohn, K., Ballhaus, C., Lagos, M. & Bode, M. (2004). Structural development of high-pressure metamorphic rocks on Syros island (Cyclades, Greece). *J. Struct. Geol.*, 26 (8), 1433-1445.
- King, L.C. (1962). *Morphology of the Earth*. Oliver and Boyd, London.
- Krasny, J. (1996). Hydrogeological Environment in Hard Rocks: An Attempt at its schematizing and terminological consideration. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, 40, pp.115-122.
- Kuhlemann, J., Frisch, W., Dunkl, I., Kázmér, M. & Schmiedl, G. (2004). Miocene siliciclastic deposits of Naxos Island: geodynamic and environmental implications for the evolution of the southern Aegean Sea (Greece). *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 378, 51-65.
- Larsson, I. (1984). Ground water in hardrocks. Project 8.6 of the IHP, UNESCO, Studies & Reports in Hydrology 33, UNESCO Publication.
- Laurent, V., Beaudoin, A., Jolivet, L., Arbaret, L., Augier, R., Rabillard, A. & Menant, A. (2015). Interrelations between extensional shear zones and synkinematic intrusions: the example of Ikaria Island (NE Cyclades, Greece). *Tectonophysics*, 651-652, 152-171.
- Le Pichon, X. & Angelier, J. (1981b). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 300, 357-372.
- Lister, G.S., Banga, G. & Feenstra, A. (1984). Metamorphic core complexes of Cordilleran type in the Cyclades Aegean Sea, Greece. *Geology*, 12, 221-225.

- Lloyd, J.M. (1999). Water resources of hard rock aquifers in arid and semi-arid zones. UNESCO Studies and Reports in Hydrology 58.
- Loewengart, S. (1961). Airborne salts – The major source of the salinity of waters in Israel. Bull. Research Council Israel, 10G:183-206.
- Maluski, H., Bonneau, M. & Kienast, J.R. (1987). Dating the metamorphic events in the Cycladic area: $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ data from metamorphic rocks of the island of Syros (Greece), Bull. Geol. Soc. Fr., 8, 833-842.
- Matthess, G. & Ubell, K. (1983). Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt. In: Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Matthews, A. & Schliestedt M. (1984). Evolution of the blueschist and greenschist facies rocks of Sifnos, Cyclades, Greece, Contrib. Mineral. Petrol., 88, 150-163.
- Melidonis, M.G. (1980). The geology of Greece: the geological structure and mineral deposits of Tinos Island (Cyclades, Greece). Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens 13, 1-80.
- Menant, A., Jolivet, L. & Vrielynck, B. (2016). Kinematic reconstructions and magmatic evolution illuminating crustal and mantle dynamics of the eastern Mediterranean region since the late Cretaceous. Tectonophysics, 675, 103-140.
- Nikas, K., Antonakos, A., Kallergis, G. & Kounis, G. (2010). International Hydrogeological Map of Europe: Sheet D6 "ATHINA". Proceedings of the 12th International Congress, Patras, 2010 Bulletin of the Geological Society of Greece, Volume XLIII No 4, pages 1821-1830.
- Okay, A.I., Xu, S.T. & Sengor, A.M.C. (1989). Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. European Journal of Mineralogy, 1, 595-598.
- Okrusch, M. & Bröcker, M. (1990). Eclogites associated with high grade blueschists in the Cyclades archipelago, Greece: A review, Eur. J. Mineral., 2, 451-478.
- Papanikolaou, D.J. (1976). The age of the metamorphics in Andros island (Aegean Sea). Prakt. Acad. Athenes, 51, 292-301.
- Papanikolaou, D.J. (1977). Contribution to the geology of the Aegean Sea: the island of Andros. Ann. Geol. Pays Hell., 29, 477-553.
- Papanikolaou, D.J. (1978). Contribution to the geology of Aegean Sea. The Island of Andros. Annales Géologiques des Pays Héliéniques, 29, 477-553.
- Papanikolaou, D.J. (1979). On the tectonic units of southern Aegean sea. Rapp. Comm. Int. Mer. Mediter., 25/26, 2a, 51-52.
- Papanikolaou, D.J. (1980). Contribution to the geology of the Aegean Sea. The island of Paros. Annales Géologiques des Pays Héliéniques, 30/1, 65-96.
- Papanikolaou, D.J. (1987). Tectonic evolution of the Cycladic Blueschist Belt (Aegean Sea, Greece). Chemical Transport in Metasomatic Processes, Reidel Publ. Co., 429-450.
- Patzak, M., Okrusch, M. & Kreuzer, H. (1994). The Akrotiri Unit on the island of Tinos, Cyclades, Greece: Witness to a lost terrane of Late Cretaceous age. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 194, 211-252.
- Philippon, M., Brun, J.P. & Gueydan, F. (2011). Tectonics of the Syros blueschists (Cyclades Greece): from subduction to Aegean extension. Tectonics, 30 (4).
- Reinecke, T., Altherr, R., Hartung, B., Hatzipanagiotou, K., Kreuzer, H., Harre, W., Klein, H., Keller, J., Geenen, E. & Böger, H. (1982). Remnants of a late Cretaceous high temperature belt on the island of Anafi (Cyclades, Greece). Neus Jahrbuch fur Mineralogie Abhandlungen, 145, 157-182.
- Ring, U. & Layer, P.W. (2003). High-pressure metamorphism in the Aegean, eastern Mediterranean: underplating and exhumation from the Late Cretaceous until the Miocene to Recent above the retreating Hellenic subduction zone. Tectonics, 22 (3).

- Ring, U., Gessner, K., Güngör, T. & Passchier, C.W. (1999a). The Menderes massif of western Turkey and the Cycladic massif in the Aegean: do they really correlate? *Journal of the Geological Society of London*, 156, 3-6.
- Ring, U., Glodny, J., Will, T. & Thomson, S. (2010). The Hellenic subduction system: high-pressure metamorphism, exhumation, normal faulting, and large-scale extension. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 38, 45-76.
- Ring, U., Laws, S. & Bernet, M. (1999b). Structural analysis of a complex nappe sequence and late-orogenic basins from the Aegean Island of Samos, Greece. *Journal of Structural Geology*, 21, 1575-1601.
- Roche, V., Laurent, V., Cardello, G.L., Jolivet, L. & Scaillet, S. (2016). Anatomy of the Cycladic Blueschist Unit on Sifnos Island (Cyclades, Greece). *J. Geodyn.*, 97, 62-87.
- Sanchez-Gomez, M., Avigad, D. & Heimann, A. (2002). Geochronology of clasts in allochthonous Miocene sedimentary sequences on Mykonos and Paros Islands: implications for back-arc extension in the Aegean Sea. *J. Geol. Soc.*, 159, 45-60.
- Singhal, B.B.S. & Gupta, R.P. (2010). *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Springer Science & Business Media.
- Soukis K. & Stockli F.D. (2013). Structural and thermochronometric evidence for multi-stage exhumation of southern Syros, Cycladic islands, Greece. *Tectonophysics*, 595, 148-164.
- Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995). *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend (Vol. 17)*. Hannover: Heise.
- Trotet, F., Vidal, O. & Jolivet, L. (2001b). Exhumation of Syros and Sifnos metamorphic rocks (Cyclades, Greece): New constraints on the P-T paths, *Eur. J. Mineral.*, 13, 901-920, doi:10.1127/0935-1221/2001/0013/0901.
- Van Der Maar, P.A. & Jansen, J.B.H. (1981). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, φύλλο «ΙΟΣ», εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Wijbrans, J.R. & McDougall, I. (1988). Metamorphic evolution of the Attic Cycladic Metamorphic belt on Naxos (Cyclades, Greece) utilizing $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum measurements. *Metamorph. Geol.*, 6 571-594.
- Γιαννουλόπουλος, Π. & Λάππας, Ι. (2010). Καταγραφή και Αποτίμηση των Υδρογεωλογικών Χαρακτήρων των Υπόγειων Νερών και των Υδροφόρων Συστημάτων της Χώρας. Απογραφή Σημείων Ύδατος. Μετρήσεις Υπαίθρου (Υδρομετρήσεις – Φυσικοχημικές). Χημικές Αναλύσεις Υπόγειων Νερών (Γενικές – Ειδικές – Ιχνοστοιχεία – Ισότοπα). Υδρογεωλογική Μελέτη. Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14). Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), 2010.
- Έψιλον ΕΠΕ (1996). Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εσωποτάμιας λιμνοδεξαμενής Μυλοποτάμου, νήσου Ίου. Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών, Τμήμα Α΄.
- Θεοδωρόπουλος, Δ. (1979). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, φύλλο «ΣΑΜΟΣ», εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου (2005). Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου. Τεύχος 19 – νήσος Ίος. Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ. (1999). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα.
- Καρράς, Σ.Γ. (1973). Κλιματική Ταξινόμηση της Ελλάδος κατά Thornthwaite. Διατριβή επί Διδακτορία, Αθήνα 1973.
- Κνιθάκης, Εμ. (1976). Έκθεση επί των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής της χώρας της νήσου Ίου Κυκλάδες. ΙΓΜΕ, Αθήνα.

- Κουρμούλης, Ν. (1980). Υδρογεωλογική έρευνα Κυκλάδων – Ίος. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, Αρ. 35, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Μαριολόπουλος Γ.Η. (1936). Η διανομή των Μετεωρολογικών στοιχείων εν Ελλάδι. Υπομνήματα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Σειρά Π. Μετεωρολογία. Αριθ. 1.
- Μπορονκάου, Κ. (1995). Γεωτεκτονική εξέλιξη των Κυκλάδων νήσων. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Παπαδόπουλος, Ν. & Στεργιόπουλος, Κ. (2000). Μελέτη ξηρασίας νήσων Σίφνου-Ίου, Ν.Α. Κυκλάδων, Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών, Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. (1986). Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Επτάλοφος Α.Β.Ε.Ε. Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. (2015). Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις Πατάκη. Αθήνα.
- ΥΠΑΠΕΝ (2015). Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14). Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ).
- ΥΠΕΝ (2017). 1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (ΕΛ014). Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ).

ΠΗΓΕΣ

<http://ios.gr/>

<http://penteli.meteo.gr/stations/ios/>

<http://www.hnms.gr/emv/el/>

<https://dppwwe.tas.gov.au/water/groundwater-/aquifers/fractured-rock-aquifer>