

Ακρωνύμιο έργου: WATER IQ

Τίτλος έργου: Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Παραδοτέο Π2.3

Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού παρακολούθησης υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων – Πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού

Ημερομηνία
25/04/2024

| | |
|-------------------------------------|---|
| ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ | Χρηματοδοτικός Μηχανισμός Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΧΜ ΕΟΧ 2014-2021) |
| ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ | Διαχείριση Υδάτων |
| ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ | Εφαρμογή ερευνητικών μέτρων των σχεδίων διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών |
| ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ ΕΡΓΟΥ | WATER IQ |
| ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΕΡΓΟΥ URL | https://wateriq-eeagrants.gr/ |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ | Π2.3 |
| ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ | Προμήθεια και εγκατάσταση εξοπλισμού παρακολούθησης υδρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων – Πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού |
| ΠΑΚΕΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | ΠΕ2: Προσαρμογή και αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της της υφαλμύρισης |
| ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ | Νικόλαος Δεπούνητης, Βασίλειος Μπουμπούλης |
| ΦΟΡΕΑΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ | ΕΛΚΕ Πανεπιστημίου Πατρών |
| ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ | Ολοκληρωμένο |
| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ | 25/04/2024 |

Ιστορικό Αναθεώρησης Κειμένου

| Έκδοση | Ημερομηνία | Υπεύθυνοι Παραδοτέου | Μεταβολές |
|--------|------------|--|---------------|
| 1 | 25/04/2024 | Νικόλαος Δεπούντης, Βασίλειος Μπουμπούλης | Αρχική έκδοση |
| 2 | 25/04/2024 | Νικόλαος Δεπούντης | Τελική έκδοση |

Αντικείμενο

Το έργο WaterIQ αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου- Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή.

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου εγκαταστάθηκε μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υδάτων του ΥΥΣ Λαρισσού και εφαρμόστηκε πιλοτικό πρόγραμμα τεχνητού εμπλουτισμού σε υφιστάμενες αδειοδοτημένες γεωτρήσεις.

Η διάδοση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου θα συνεχιστεί για τουλάχιστον 5 έτη από την τελική πληρωμή της πράξης. Επίσης, θα πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες ενέργειες που αφορούν στις εφαρμογές δράσεων, στον σχεδιασμό της επικοινωνίας και στη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου .

Στο Παραδοτέο Π2.3 παρουσιάζονται τα όργανα και οι αισθητήρες που εγκαταστάθηκαν σε δύο υφιστάμενες γεωτρήσεις, στην περιοχή των Νιφοραϊκών και του Αράξου, για τη διαρκή παρακολούθηση των μετεωρολογικών και υδρογεωλογικών παραμέτρων της παράκτιας ζώνης του ΥΥΣ Λαρισσού. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού στη γεώτρηση των Νιφοραϊκών καθώς και οι μεταβολές των υδρογεωλογικών παραμέτρων του υδροφορέα στην ίδια περιοχή, πριν και μετά τον τεχνητό εμπλουτισμό.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|----|
| 1. Εισαγωγή..... | 1 |
| 2. Παρουσίαση οργάνων και μεταφορά δεδομένων | 1 |
| 3. Καταγραφή και επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων..... | 6 |
| 4. Καταγραφή και επεξεργασία υδρογεωλογικών δεδομένων | 12 |
| 5. Πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού | 15 |
| 6. Συμπεράσματα - Προτάσεις | 20 |

1. Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο παραδοτέο παρουσιάζει:

- α) τα αισθητήρια όργανα που εγκαταστάθηκαν και την ίδρυση των σταθμών παρακολούθησης των υδρογεωλογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων της παράκτιας ζώνης του ΥΥΣ Λαρισσού,
- β) τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων των σταθμών παρακολούθησης προς τους servers του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας για τη μετέπειτα διάθεσή τους στο διαδίκτυο,
- γ) τα διαγράμματα από την επεξεργασία των δεδομένων και
- δ) τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού.

Για τους παραπάνω σκοπούς ιδρύθηκαν οι κάτωθι σταθμοί παρακολούθησης (Εικόνα 1):

- α) ο υδρογεωλογικός σταθμός **TE-1 (ΑΓ-25)** στη θέση Νιφοραίικα, ανατολικά της περιοχής έρευνας
- β) ο υδρογεωλογικός σταθμός **TE-2** στη θέση Αεροδρόμιο Αράξου, δυτικά της περιοχής έρευνας
- γ) ο μετεωρολογικός σταθμός **ΜΣ-1** στη θέση Νιφοραίικα

Περαιτέρω χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό **ΜΣ-2** στη θέση λιμνοθάλασσα Πάππα, που λειτουργεί εδώ και μία δεκαετία και βρίσκεται πλησίον της περιοχής του Αράξου.



Εικόνα 1: Σταθμοί παρακολούθησης υδρογεωλογικών και μετεωρολογικών παραμέτρων του ΥΥΣ Λαρισσού.

2. Παρουσίαση οργάνων και μεταφορά δεδομένων

Η προμήθεια των οργάνων που εγκαταστάθηκαν στους σταθμούς παρακολούθησης του ΥΥΣ Λαρισσού έγινε με τη διαδικασία του Ν.4412/2016, με τα όργανα να διαθέτουν τα κάτωθι τεχνικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 1: Όργανα σταθμών παρακολούθησης ΥΥΣ Λαρισσού

| Σταθμοί παρακολούθησης υδρογεωλογικών παραμέτρων (TE-1 και TE-2) | TEM |
|--|----------|
| Όργανα μέτρησης ποιότητας και στάθμης νερού | 2 |
| <p>Aqua TROLL 200 Level Sensor Vented, Range 70m.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Διαθέτει αυτόματη αντιστάθμιση της βαρομετρικής πίεσης. ✓ Διαθέτει δική του μνήμη ανεξάρτητη της μονάδας τηλεμετρίας και καταγράφει τη θερμοκρασία και την αγωγιμότητα. ✓ Ο αισθητήρας στάθμης, ο καταγραφέας (Data Logger) και η μπαταρία είναι όλα τοποθετημένα σε ενιαίο μεταλλικό φορέα κατασκευασμένο από Τιτάνιο. ✓ Η μπαταρία του πολυαισθητήρα είναι ικανή για συνεχόμενη λειτουργία τουλάχιστον για 5 χρόνια. ✓ Μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική τροφοδοσία στο εύρος 8-36 VDC. ✓ Κατανάλωση ρεύματος, σε μέτρηση : 15 mA, σε ύπνωση 40 μA ✓ Μπορεί να καταγράψει > 100.000 μετρήσεις. ✓ Διαθέτει επιλογή του τρόπου καταγραφής ανάμεσα σε Linear, Linear Average, και Event. ✓ Βαθμός προστασίας IP 68. ✓ Η διάμετρος του συστήματος είναι < 2 cm και το μήκος του < 32 cm. ✓ Διαθέτει αισθητήρα θερμοκρασίας νερού τύπου ημιαγωγού. ✓ Αντισταθμίζει αυτόματα τις μεταβολές της θερμοκρασίας. ✓ Η περιοχή μέτρησης της θερμοκρασίας είναι -5°C έως +50°C. ✓ Το όργανο συνοδεύεται από καλώδια με ενσωματωμένο αεραγωγό (κατάλληλο για την αυτόματη αντιστάθμιση της πίεσης) μήκους 64m και 57m. ✓ Διαθέτει εξόδους Modbus/RS485, SDI-12, και 4-20 mA. ✓ <u>Αγωγιμότητα</u> Μέθοδος EPA Method 120.1; Standard Methods 2510. Εύρος μέτρησης 0 - 100.000μS/cm. Ακρίβεια μέτρησης της αγωγιμότητας \pm 0.5% επί της ένδειξης + 1 μS/cm, για μετρήσεις < 80.000 μS/cm. Μετρά την πραγματική αγωγιμότητα. Μετρά την ειδική αγωγιμότητα. Μετρά την αλατότητα στο εύρος 0 με 42 PSU. Μετρά τα TDS στο εύρος 0 με 82 ppt. ✓ <u>Στάθμη</u> Εύρος μέτρησης 0-70m. Αντιστάθμιση της βαρομετρικής πίεσης με αεραγωγό. Ακρίβεια μέτρησης \pm0.05%FS. Ανάλυση μέτρησης \pm0.01%FS. ✓ <u>Θερμοκρασία</u> Μέθοδος μέτρησης EPA Method 170.1. Ακρίβεια μέτρησης \pm0.1° C. Ανάλυση μέτρησης 0.01° C. | |
| Rugged Twist-Lock Cable, Rugged Cable, 6 Wire, Vented, TPU. Καλώδιο μήκους 64m (TE-1) | 1 |
| Rugged Twist-Lock Cable, Rugged Cable, 6 Wire, Vented, TPU. Καλώδιο μήκους 57m (TE-2) | 1 |

| Σταθμοί παρακολούθησης υδρογεωλογικών παραμέτρων (TE-1 και TE-2) | TEM |
|--|----------|
| Σύστημα τηλεμετρίας | 2 |
| <p>VuLink CI</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Λειτουργούν με απλές αλκαλικές μπαταρίες D cell ή με Li-MnO₂ [Lithium Manganese Dioxide]. Διάρκεια αλκαλικών μπαταριών (με ημερήσια αποστολή των καταγεγραμμένων δεδομένων) έως τρία (3) χρόνια. ✓ Διαθέτει ρολόι πραγματικού χρόνου με ακρίβεια καλύτερη από 1min ανά έτος με δυνατότητα συγχρονισμού στο δίκτυο και ακρίβεια 1sec. ✓ Διαθέτει ενσωματωμένο Modem κατάλληλο για 4G LTE Category M1 (LTE-M) / NB-IoT (Narrow Band) με 2G fallback. ✓ Διαθέτει Cellular Antenna με 1.5m καλώδιο. ✓ Υποστηρίζει τα πρωτοκολλά HTTPS, SMS, FTP ✓ Δυνατότητα ταυτόχρονης αποστολή των μετρήσεων στο cloud του κατασκευαστή και σε δεύτερο FTP server που επιθυμεί ο χρήστης. ✓ Μορφή δεδομένων CSV. ✓ Διαθέτει δυνατότητα απομακρυσμένου (τηλεμετρικού) προγραμματισμού του. ✓ Διαθέτει ενσωματωμένο GPS. ✓ Διάμετρος < 50 mm. ✓ Μήκος < 490 mm. ✓ Βάρος 1 Kg. ✓ Θερμοκρασία λειτουργίας -20°C με 50°C. ✓ Βαθμός προστασίας IP68. ✓ Επικοινωνία με αισθητήρες μέσω Modbus over RS-485. ✓ Διαθέτει είσοδο παλμών. ✓ Μπορεί να δεχθεί ταυτόχρονα έως και 8 όργανα (αισθητήρια, πολυαισθητήρια). ✓ Διαθέτει ενσωματωμένο αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης για την αυτόματη αντιστάθμιση της βαρομετρικής πίεσης των αισθητήριων στάθμης. ✓ Διαθέτει δυνατότητα προγραμματισμού συναγερμού βάση των λαμβανόμενων μετρήσεων ✓ Διαθέτει ενσωματωμένη δυνατότητα επικοινωνίας για προγραμματισμό με low power Bluetooth. ✓ Ρυθμιζόμενος ρυθμός καταγραφής μετρήσεων έως 7 ημέρες. ✓ Ρυθμιζόμενος ρυθμός αποστολής των μετρήσεων έως 7 ημέρες. ✓ Διαθέτει οπτική ένδειξη στάθμη μπαταρίας (με led στο καπάκι του συστήματος). ✓ Διαθέτει οπτική ένδειξη σύνδεσης ,με τον αισθητήρα (με led στο καπάκι του συστήματος). ✓ Διαθέτει οπτική ένδειξη σύνδεση στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (με led στο καπάκι του συστήματος). ✓ Διαθέτει οπτική ένδειξη σύνδεσης στο cloud (με led στο καπάκι του συστήματος). | |
| Μετεωρολογικός σταθμός (ΜΣ-1) | 1 |
| <p>Μετεωρολογικός σταθμός που μετράει:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία-υγρασίας αέρα • Διεύθυνση και ταχύτητα αέρα • Ηλ. Ακτινοβολία • Βαρομετρική πίεση • Αισθητήρα βροχής <p>Διαθέτει καταγραφικό με GSM κατάλληλο για τον μετεωρολογικό σταθμό, με αποστολή των μετρήσεων με FTP σε στον server του εργαστηρίου και τροφοδοσία από ηλιακό συλλέκτη 20W.</p> | |



Φωτό 1: Σύστημα καταγραφής υδρογεωλογικών παραμέτρων που περιλαμβάνει: α) αισθητήριο όργανο Aqua TROLL 200, β) σύστημα τηλεμετρίας VuLink CI και γ) καλώδιο Rugged Twist-Locke.



Φωτό 2: Εγκατάσταση συστήματος υδρογεωλογικών παραμέτρων στον σταθμό TE-1 (Νιφοραίικα)



Φωτό 3: Εγκατάσταση συστήματος υδρογεωλογικών παραμέτρων στον σταθμό ΤΕ-2 (Αραξος)

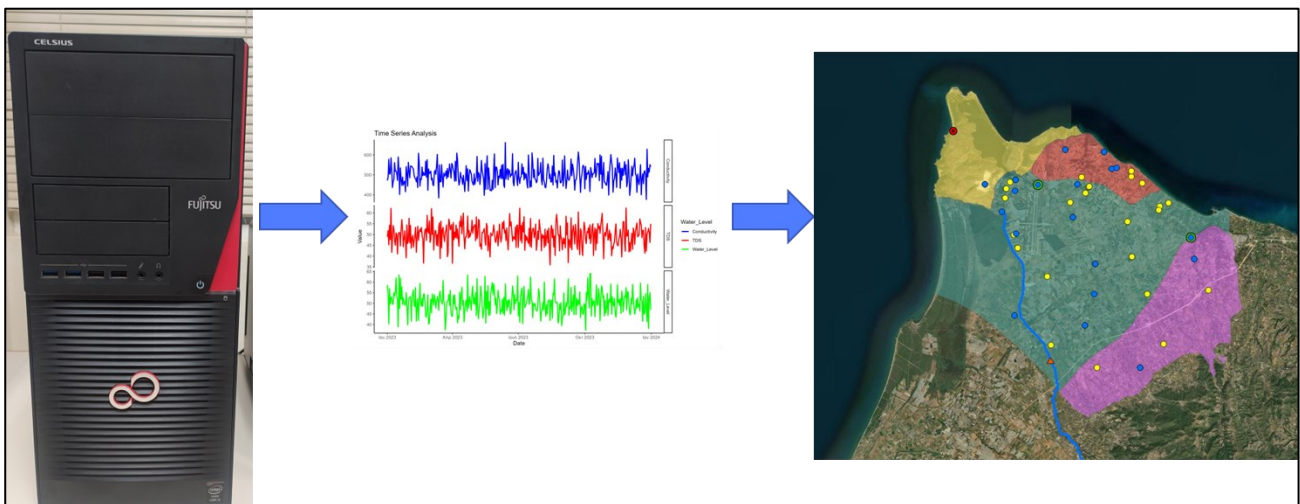


Φωτό 4: Μετεωρολογικός σταθμός ΜΣ-1 (Νιφοραίικα)



Φωτό 5: Μετεωρολογικός σταθμός ΜΣ-2 (Λιμνοθάλασσα Πάππα)

Όλα τα δεδομένα/μετρήσεις που καταγράφονται από τα παραπάνω όργανα αποθηκεύονται στα αντίστοιχα καταγραφικά πεδίου και μεταφέρονται μια φορά την ημέρα (ανά 24ώρο), στους servers του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας. Οι δύο (2) servers του εργαστηρίου διαθέτουν την απαραίτητη μνήμη, επεξεργαστή και από 4 δίσκους αποθήκευσης (4 TB), λειτουργικό σύστημα Linux και αποθηκεύουν τα δεδομένα που λαμβάνουν μέσω κινητής τηλεφωνίας με FTP. Ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων με τη μορφή γραφημάτων/διαγραμμάτων και η διάθεσή τους στην ανοικτή πλατφόρμα WebGIS που έχει συσταθεί γι' αυτό τον σκοπό (Εικόνα 2).



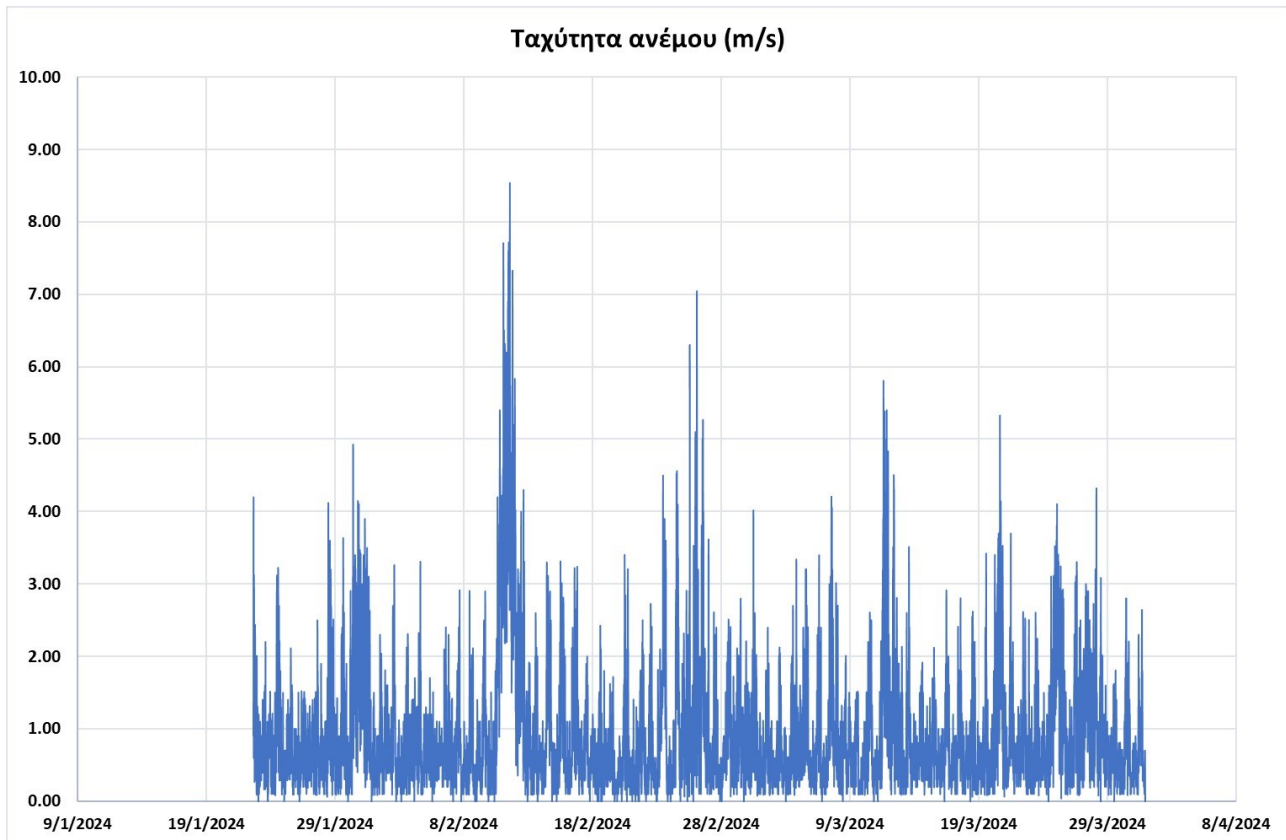
Εικόνα 2: Διαδικασία μεταφοράς δεδομένων στους servers του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και διάθεσής τους με τη μορφή διαγραμμάτων σε ανοικτή πλατφόρμα WebGIS.

3. Καταγραφή και επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων

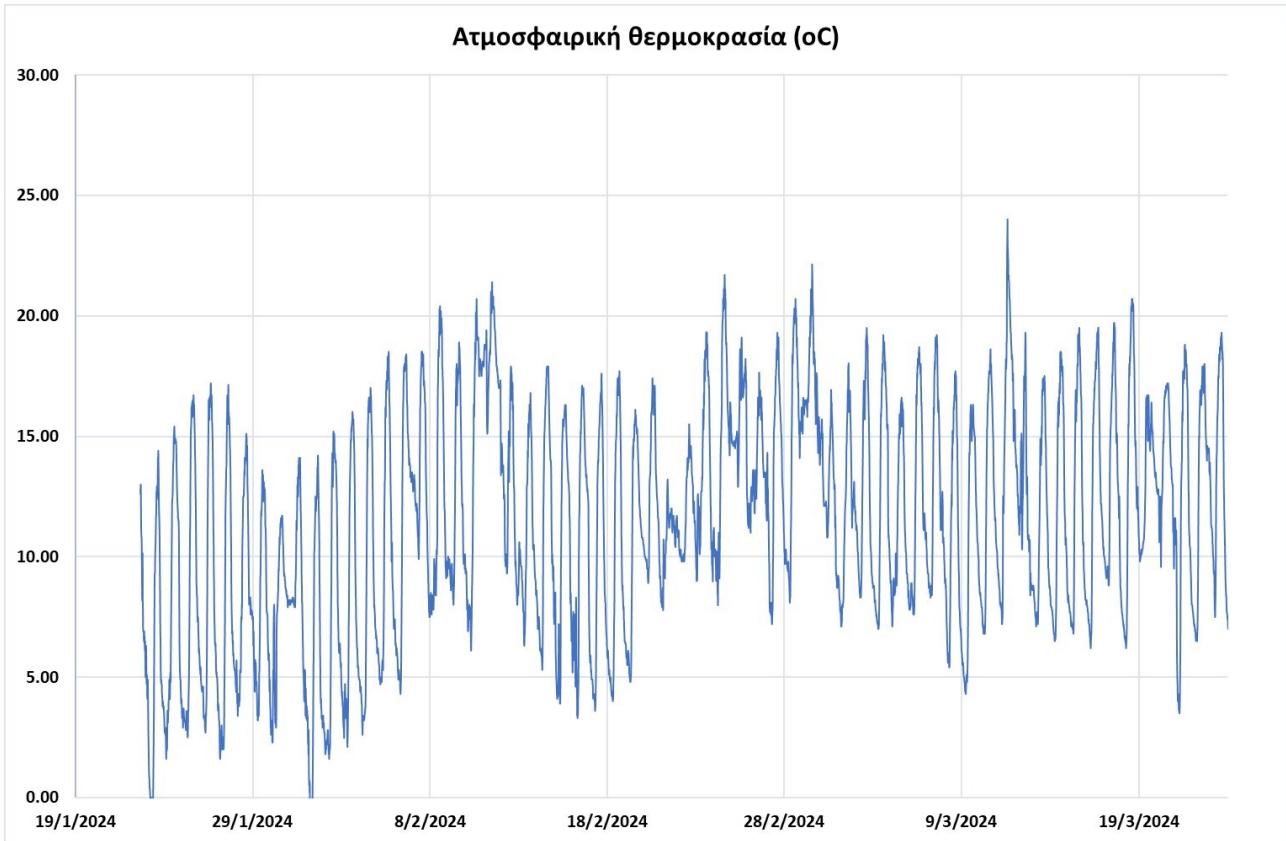
Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω στην περιοχή έρευνας έχουν εγκατασταθεί δύο Μετεωρολογικοί Σταθμοί. Ο ΜΣ-1 στη θέση Νιφοραίικα, ανατολικά, που εγκαταστάθηκε στο πλαίσιο του παρόντος έργου και ο ΜΣ-2, δυτικά, στη θέση λιμνοθάλασσα Πάππα, που λειτουργεί εδώ και μία δεκαετία (Εικόνα 1).

Τα δεδομένα που καταγράφηκαν για το έτος 2024 από τον ΜΣ-1 των Νιφοραίικων (από 21/01/2024 έως 31/03/2024) παρουσιάζονται στις παρακάτω Εικόνες επεξεργασμένα με τη μορφή γραφημάτων και αφορούν ταχύτητα ανέμου (Εικόνα 3), ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Εικόνα 4), βαρομετρική πίεση (Εικόνα 5), σχετική υγρασία (Εικόνα 6) και βροχόπτωση (Εικόνα 7).

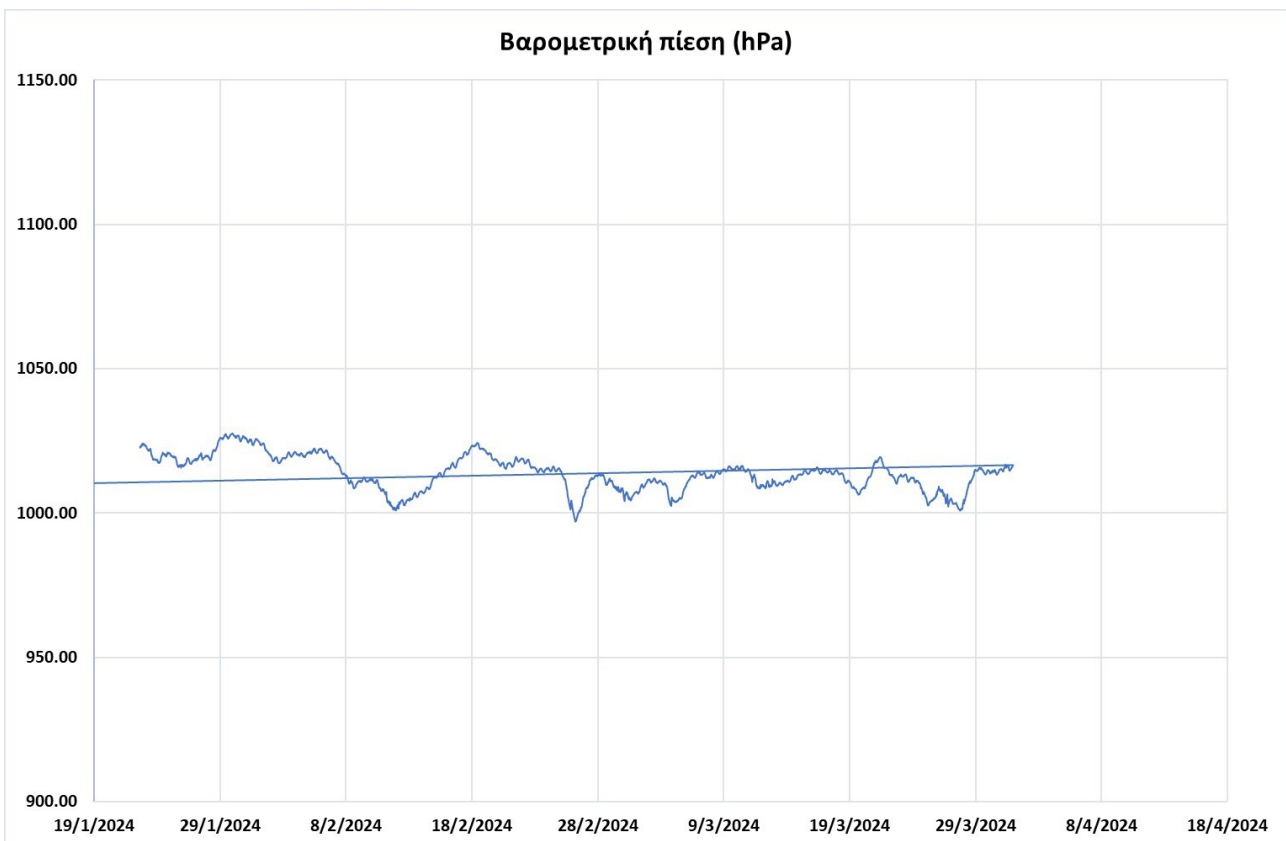
Τα δεδομένα αυτά θα αξιολογηθούν σε βάθος πενταετίας για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου του ανατολικού τμήματος της περιοχής έρευνας και την επίδραση που θα έχει στην τροφοδοσία του υδροφορέα με βρόχινο νερό.



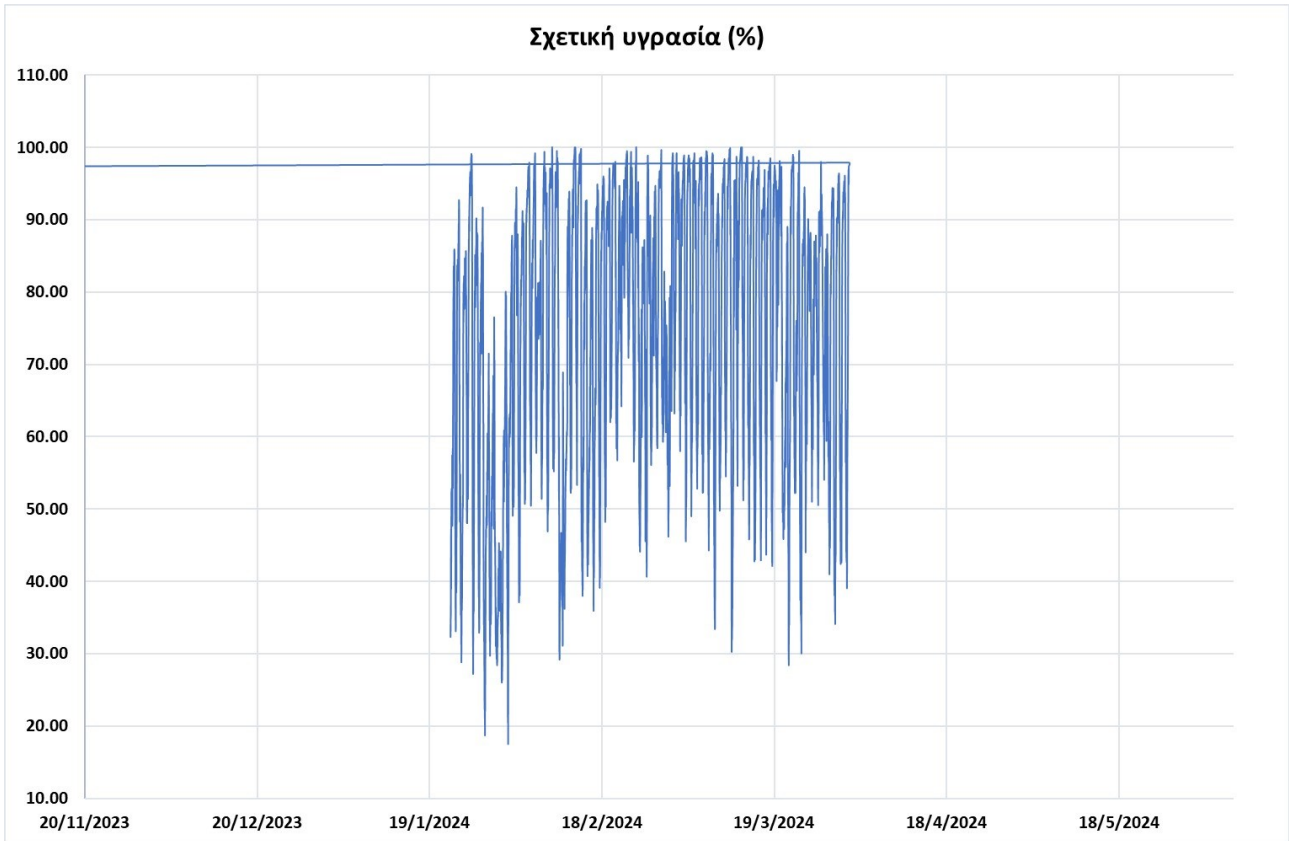
Εικόνα 3: Ταχύτητα ανέμου στον ΜΣ-1 Νιφοραίικων για την περίοδο 21/01/2024-31/03/2024



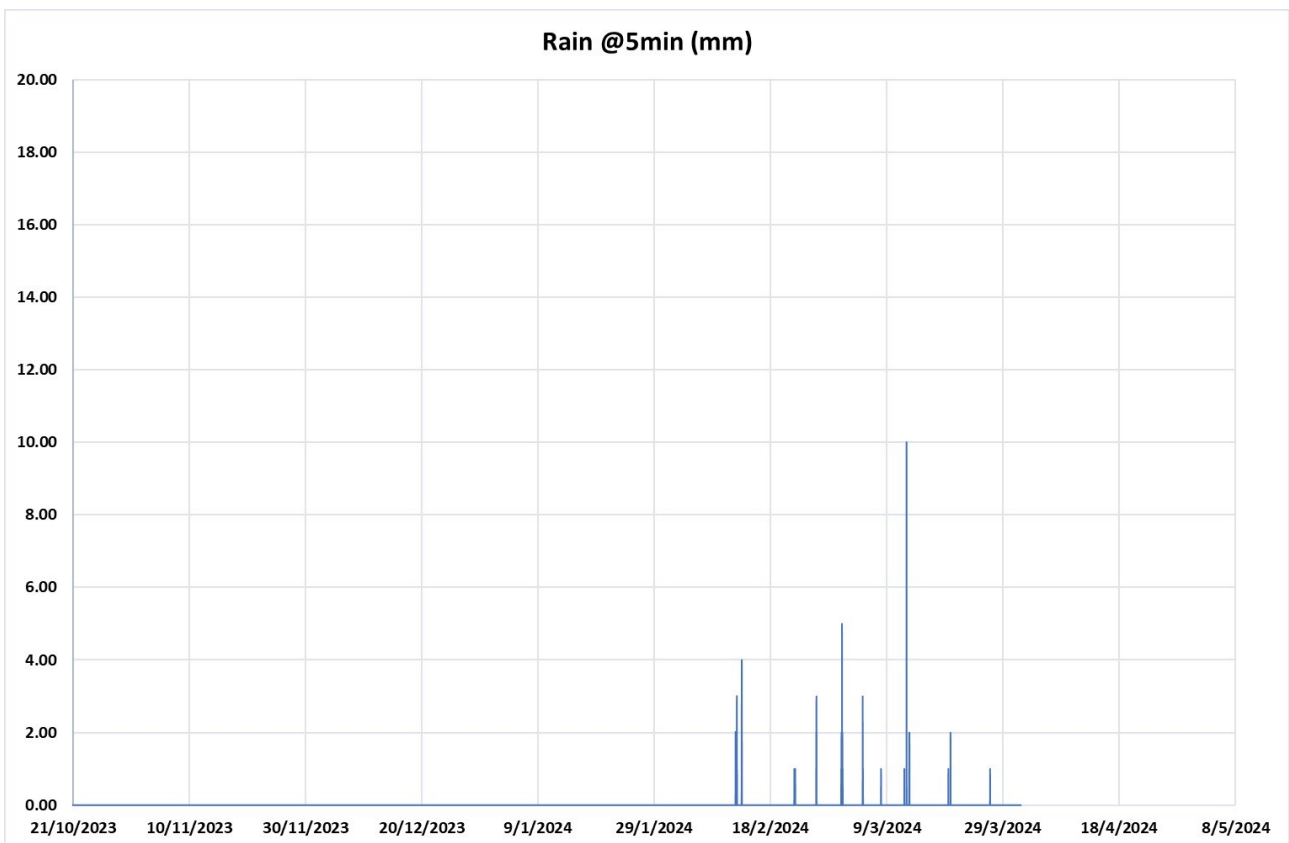
Εικόνα 4: Ατμοσφαιρική θερμοκρασία στον ΜΣ-1 Νιφοραϊκών για την περίοδο 21/01/2024-31/03/2024



Εικόνα 5: Βαρομετρική πίεση στον ΜΣ-1 Νιφοραϊκών για την περίοδο 21/01/2024-31/03/2024



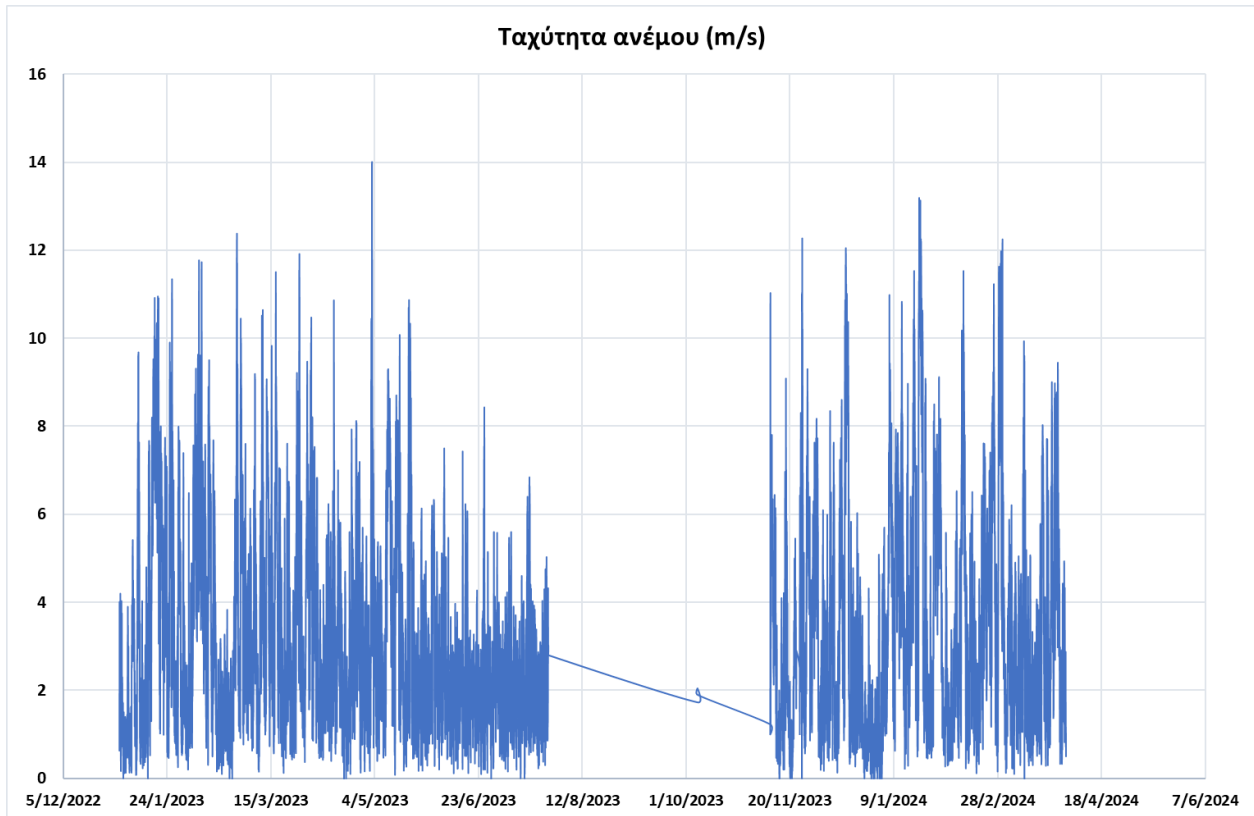
Εικόνα 6: Σχετική υγρασία στον ΜΣ-1 Νιφοραϊκών για την περίοδο 21/01/2024-31/03/2024



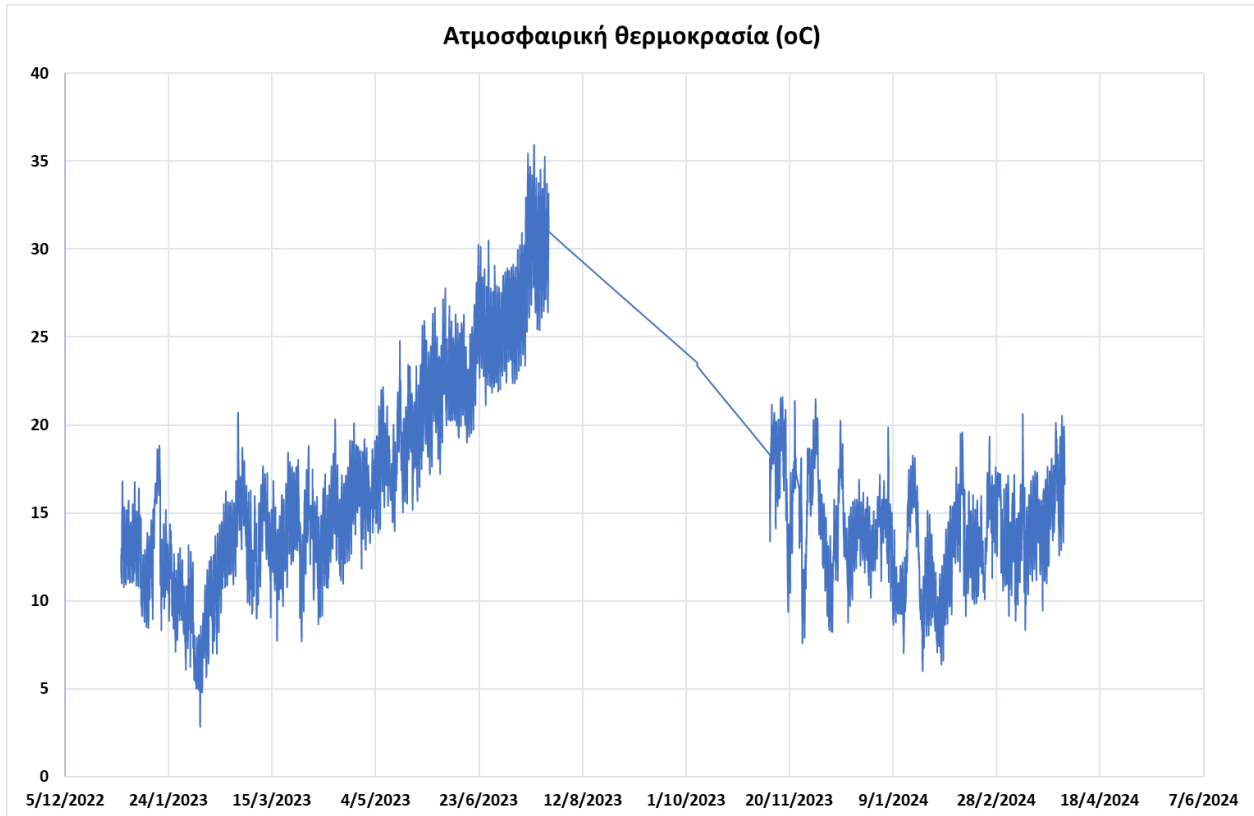
Εικόνα 7: Βροχόπτωση στον ΜΣ-1 Νιφοραϊκών για την περίοδο 21/01/2024-31/03/2024

Τα δεδομένα που καταγράφηκαν για το έτη 2023 και 2024 από τον ΜΣ-2 της λιμνοθάλασσας Πάππα (από 01/01/2023 έως 31/03/2024) παρουσιάζονται στις παρακάτω Εικόνες επεξεργασμένα με τη μορφή γραφημάτων και αφορούν ταχύτητα ανέμου (Εικόνα 8), ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Εικόνα 9), βαρομετρική πίεση (Εικόνα 10), σχετική υγρασία (Εικόνα 11) και βροχόπτωση (Εικόνα 12).

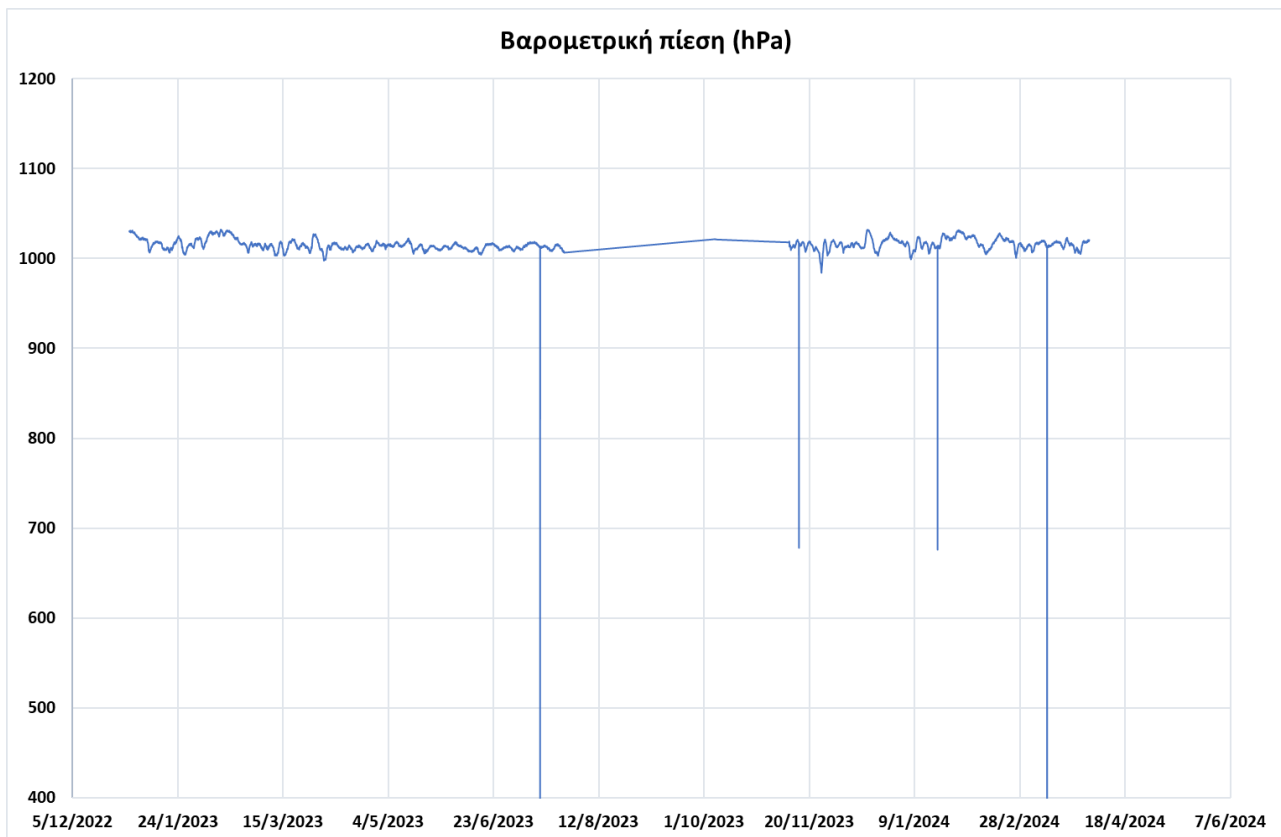
Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν σε βάθος πενταετίας για τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου του δυτικού τμήματος της περιοχής έρευνας και την επίδραση που θα έχει στην τροφοδοσία του υδροφορέα με βρόχινο νερό.



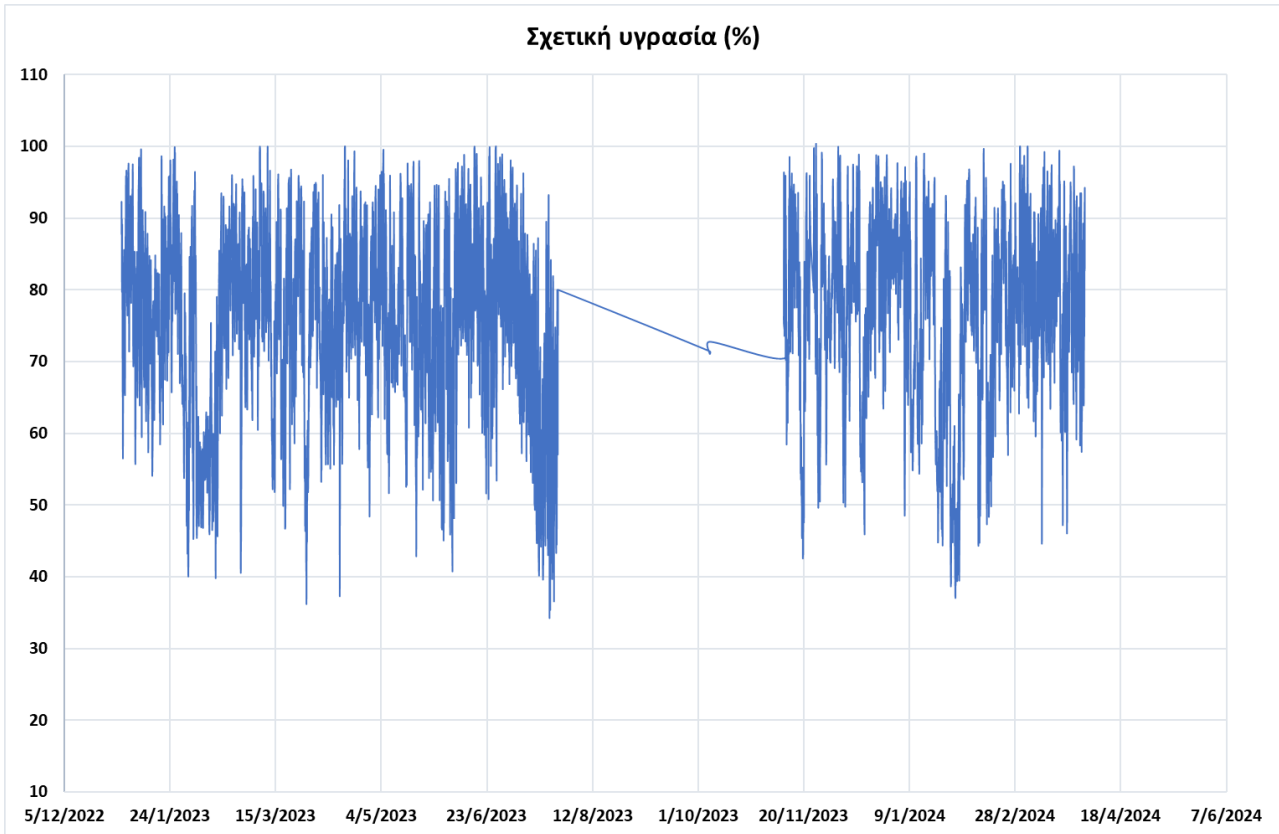
Εικόνα 8: Ταχύτητα ανέμου στον ΜΣ-2 Πάππα για την περίοδο 01/01/2023-31/03/2024



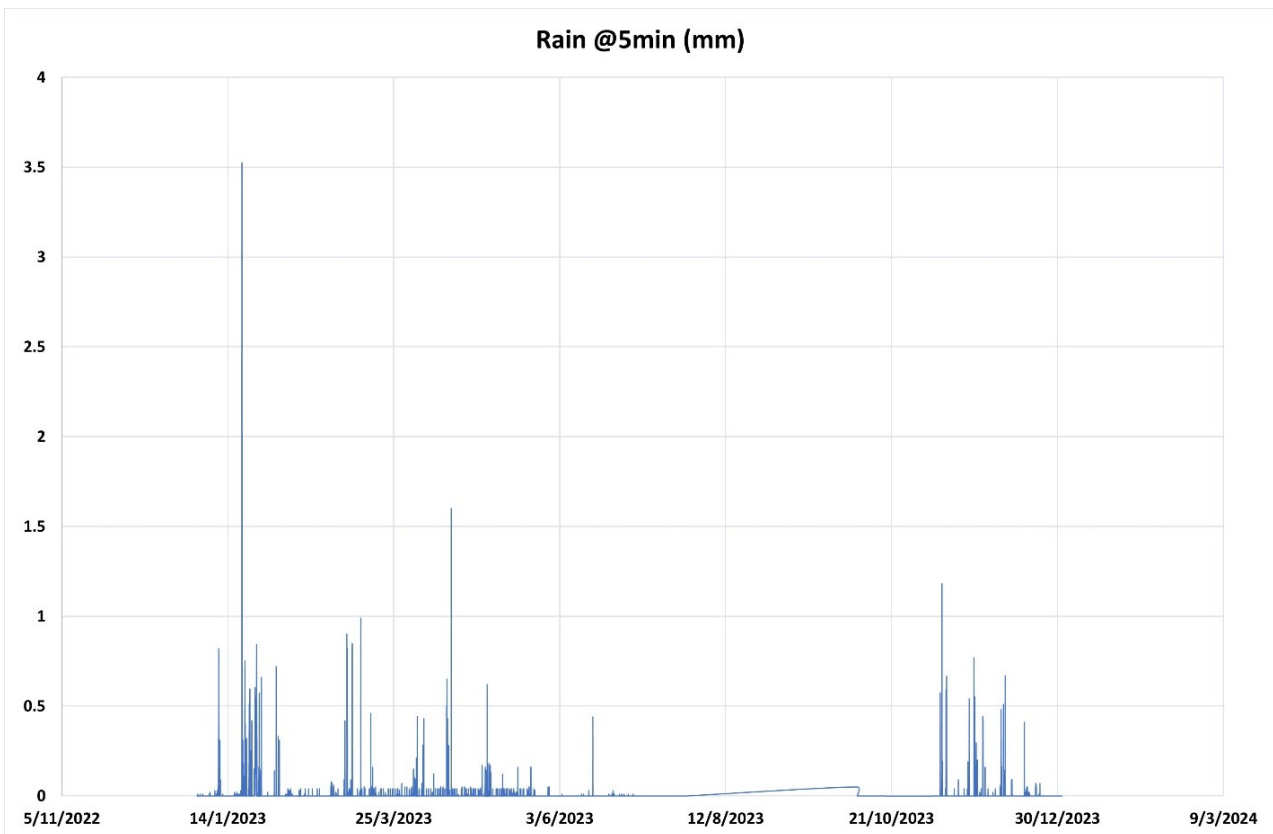
Εικόνα 9: Ατμοσφαιρική θερμοκρασία στον ΜΣ-2 Πάππα για την περίοδο 01/01/2023-31/03/2024



Εικόνα 10: Βαρομετρική πίεση στον ΜΣ-2 Πάππα για την περίοδο 01/01/2023-31/03/2024



Εικόνα 112: Σχετική υγρασία στον ΜΣ-2 Πάππα για την περίοδο 01/01/2023-31/03/2024



Εικόνα 12: Βροχόπτωση στον ΜΣ-2 Πάππα για την περίοδο 01/01/2023-31/03/2024

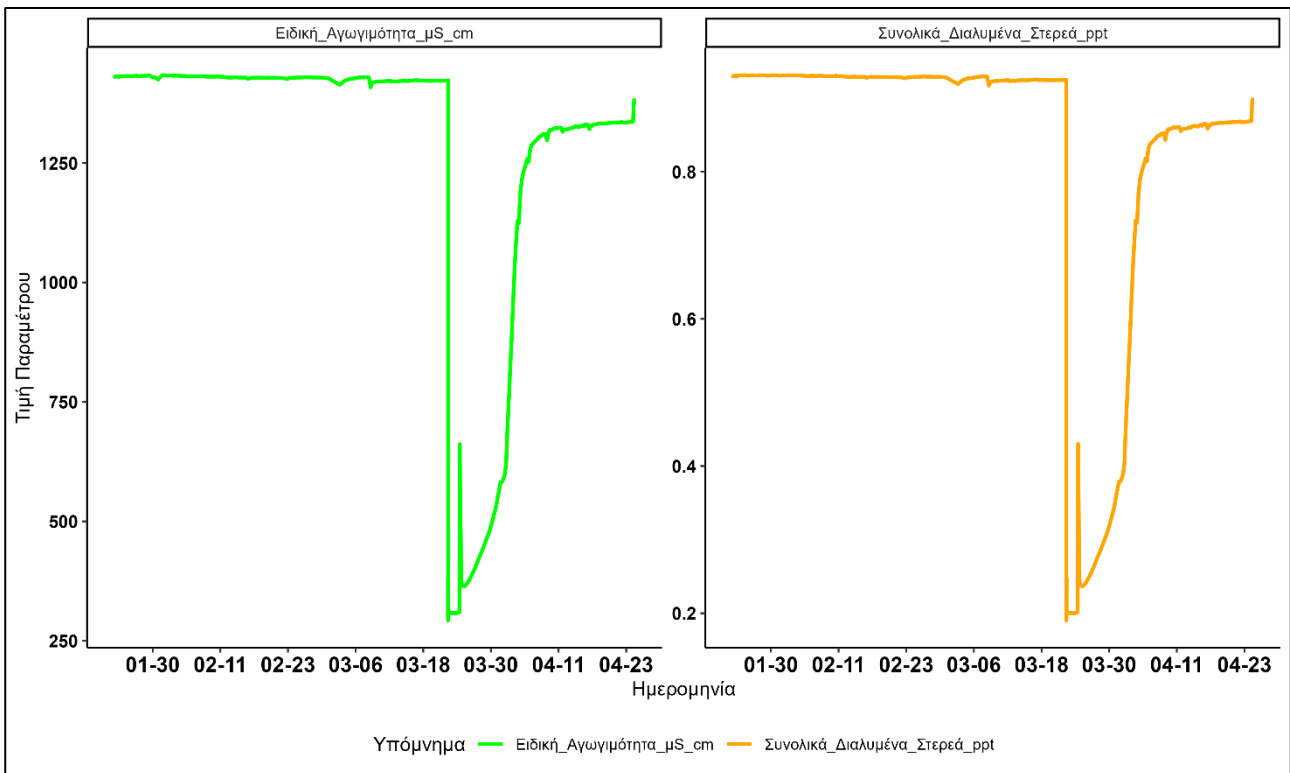
4. Καταγραφή και επεξεργασία υδρογεωλογικών δεδομένων

Τα σημαντικότερα υδρογεωλογικά δεδομένα που συλλέγονται από τα όργανα μέτρησης ποιότητας και στάθμης νερού είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (m), η ειδική αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$) και τα ολικά διαλυμένα στερεά (ppt). Οι εγκατεστημένοι αισθητήρες βρίσκονται σε βάθος 54,36m στη γεώτρηση TE-1 και 30,5m στη γεώτρηση TE-2 (Εικόνα 1).

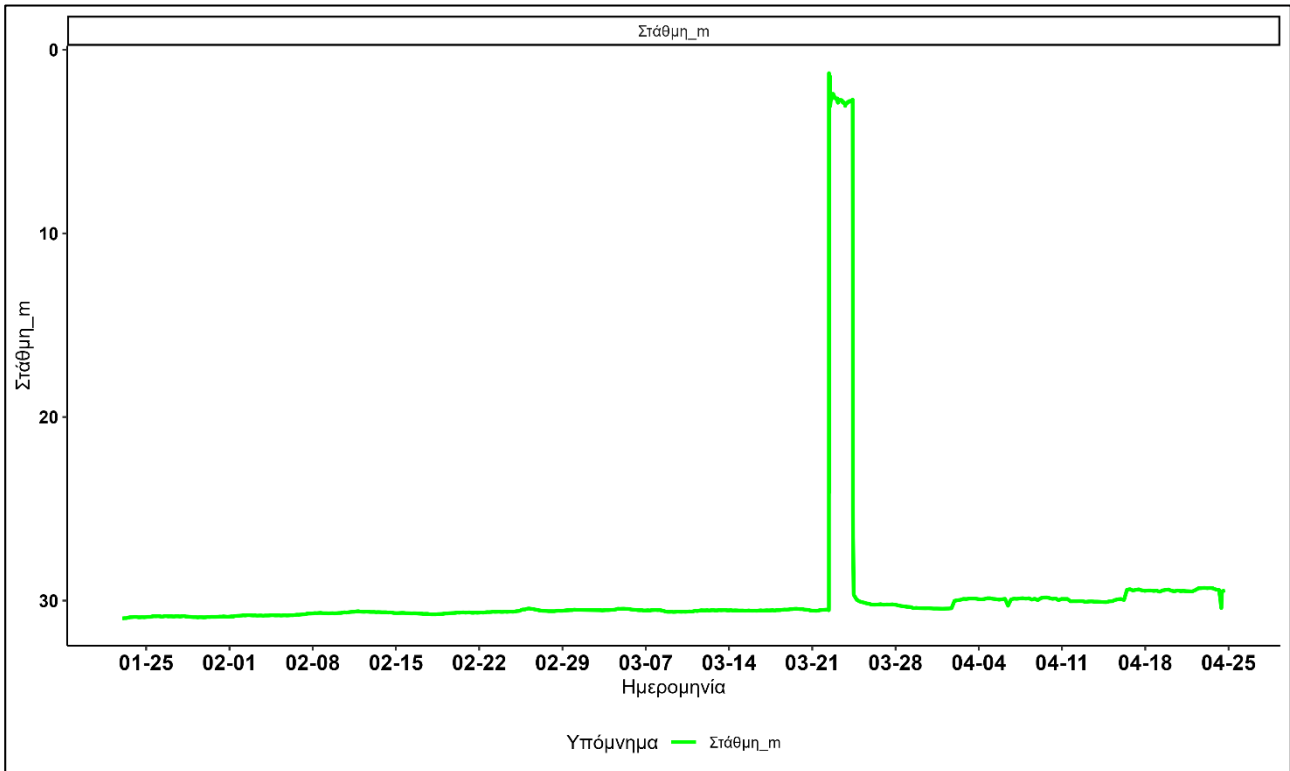
Η γεώτρηση TE-1, έχει υψόμετρο κεφαλής $Z=30,60\text{m}$ και ο αισθητήρας που έχει εγκατασταθεί σε αυτήν μετράει το ύψος της στήλης νερού που υπάρχει από πάνω του. Για παράδειγμα, αν η καταγραφή του αισθητήρα είναι 23,86m σημαίνει βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα από την κεφαλή της γεώτρησης ίση με $54,36-23,86=30,50\text{m}$, οπότε η στάθμη νερού σε απόλυτο υψόμετρο είναι $30,60-30,50=0,10\text{m}$.

Ο αισθητήρας στη γεώτρηση TE-1 (Νιφοραϊκά) καταγράφει, από την στιγμή της εγκατάστασής του, σταθερή τιμή ειδικής αγωγιμότητας νερού περίπου 1430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και σταθερή τιμή ολικών διαλυμένων στερεών περίπου 0.93 ppt (Εικόνα 13), πλην του διαστήματος που πραγματοποιήθηκε το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού (22 έως 24 Μαρτίου 2024) και του χρονικού διαστήματος επαναφοράς στις αρχικές τιμές μετά την 24^η Μαρτίου 2024.

Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με το χρόνο, η οποία κυμαίνεται σε βάθη από την κεφαλή της γεώτρησης 30,50m έως 30,90m, πλην του διαστήματος που πραγματοποιήθηκε το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού (22 έως 24 Μαρτίου 2024).



Εικόνα 133: Διαγράμματα διακύμανσης της ειδικής αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων στερεών με το χρόνο στη γεώτρηση TE-1



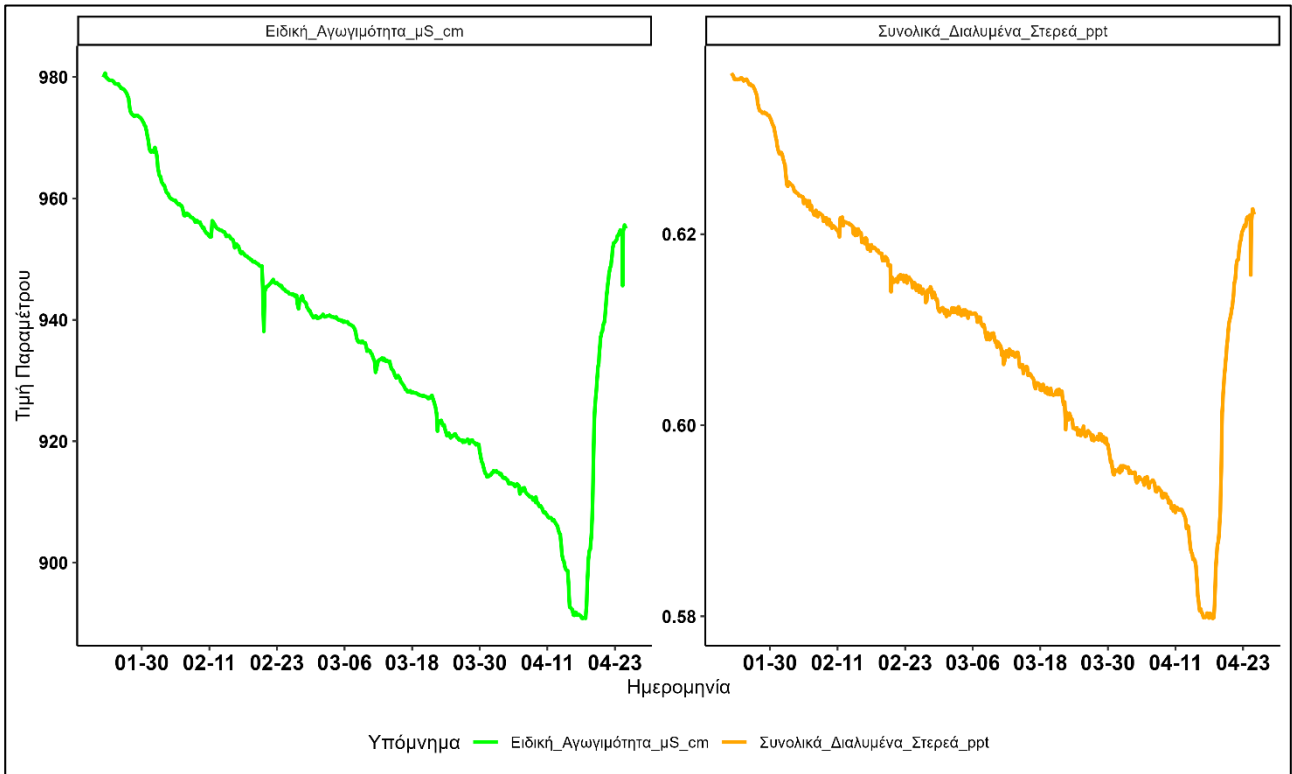
Εικόνα 144: Διάγραμμα διακύμανσης του βάθους της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με το χρόνο στη γεώτρηση TE-1

Η γεώτρηση TE-2, έχει υψόμετρο κεφαλής $Z=6,76\text{m}$ και ο αισθητήρας μετράει το ύψος της στήλης νερού που υπάρχει από πάνω του. Για παράδειγμα, αν η καταγραφή του αισθητήρα είναι $27,3\text{m}$ σημαίνει βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα από την κεφαλή της γεώτρησης ίση με $30,50-27,30=3,20\text{m}$, οπότε η στάθμη νερού σε απόλυτο υψόμετρο είναι $6,76-3,20=3,56\text{m}$.

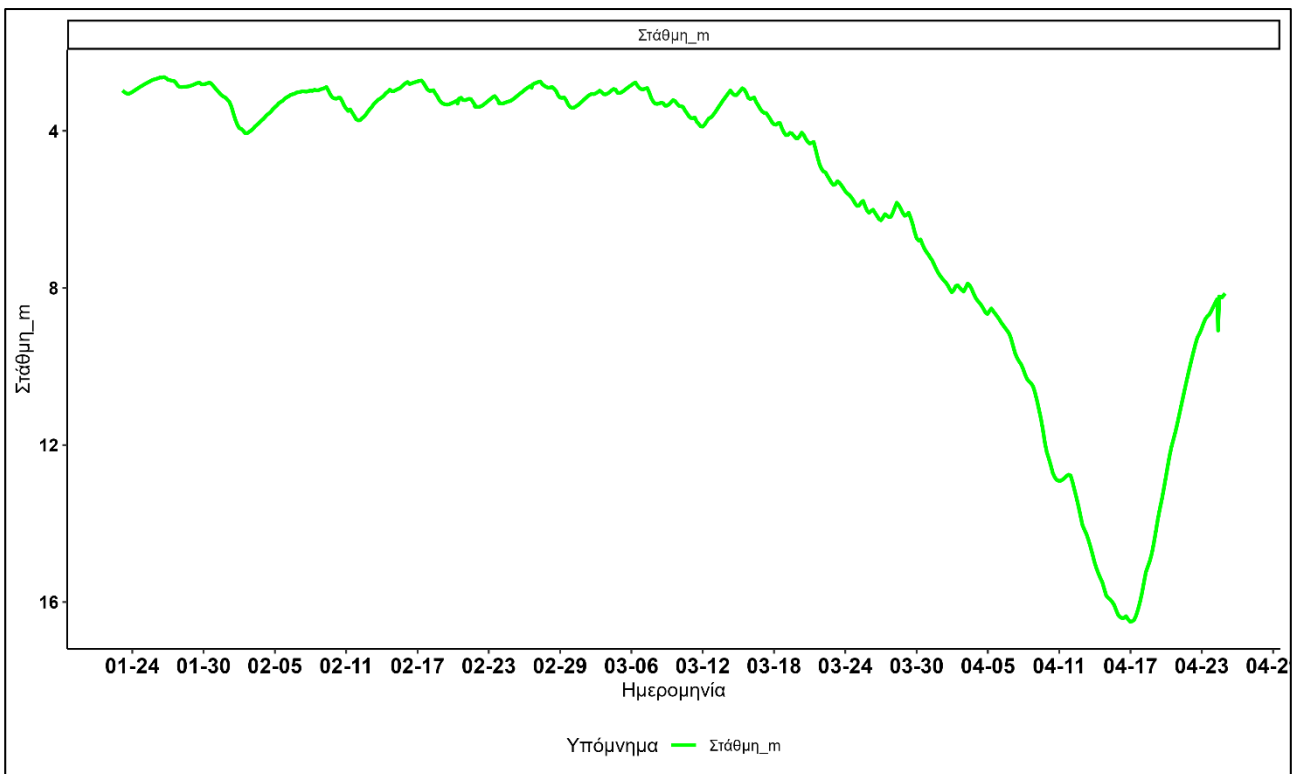
Ο αισθητήρας στη γεώτρηση TE-2 (Άραξος) καταγράφει, από την στιγμή της εγκατάστασής του, σταθερή πτώση της τιμής της ειδικής αγωγιμότητας νερού από 980 σε $890 \mu\text{S}/\text{cm}$ περίπου και σταθερή πτώση της τιμής των ολικών διαλυμένων στερεών από 0.64 σε 0.57ppt περίπου (Εικόνα 15). Μικρή αύξηση των δύο παραμέτρων παρατηρείται ξανά από τις 17 Απριλίου 2024 και μετά.

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται η διακύμανση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε σχέση με τον χρόνο, η οποία κυμαίνεται σε βάθη από την κεφαλή της γεώτρησης 3m έως $3,80\text{m}$, ενώ πτώση της στάθμης παρατηρείται από 17 Μαρτίου έως 17 Απριλίου και άνοδος μετά την 17^η Απριλίου 2024.

Αυτές οι διακυμάνσεις της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και των τιμών της ειδικής αγωγιμότητας και των ολικών στερεών κατά πάσα πιθανότητα οφείλονται σε αντλήσεις νερού κοντινών γεωτρήσεων, που σταμάτησαν την 17^η Απριλίου 2024.



Εικόνα 155: Διαγράμματα διακύμανσης της ειδικής αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων στερεών με το χρόνο στη γεώτρηση TE-1



Εικόνα 166: Διάγραμμα διακύμανσης του βάθους της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με το χρόνο στη γεώτρηση TE-2

5. Πιλοτική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού

Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι μία αποτελεσματική μέθοδος που συμβάλλει στην προστασία, διατήρηση και αύξηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η εφαρμογή του συντελεί στην αξιοποίηση των επιφανειακών νερών με υπόγεια αποθήκευση τους κατά την χειμερινή περίοδο με αναμενόμενο αποτέλεσμα την διατήρηση και αύξηση των υπόγειων νερών και ενίσχυση της υπόγειας αποθήκευσης. Στα πλαίσια αυτά επιτυγχάνεται η δημιουργία συνθηκών συνδυασμένης χρήσης και ορθολογική διαχείρισης των διαθέσιμων επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή έρευνας του ΥΥΣ Λαρισσού, περιλάμβανε τα ακόλουθα διακριτά στάδια εργασιών.

- Επιλογή της βέλτιστης μεθόδου εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με την εισροή κατάλληλης ποιότητας νερού σε υφιστάμενες εγκαταλεημένες υδρογεωτρήσεις.
- Εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού σε πειραματικό στάδιο και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του.

Οι δύο γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν για τα πειράματα του τεχνητού εμπλουτισμού χωροθετήθηκαν με τη λογική να είναι κοντά στο παράκτιο τμήμα της περιοχής έρευνας (μια ανατολικά -ΤΕ-1 και μια δυτικά - ΤΕ-2), να είναι ανενεργές και να έχουν διαπιστωμένο πρόβλημα υφαλμύρισης. Τα στοιχεία αυτών των γεωτρήσεων είναι τα εξής:

Πίνακας 1: Πληροφορικά στοιχεία γεωτρήσεων εμπλουτισμού

| Υδρογεώτρηση ΤΕ-1 (ΑΓ-25) | |
|---|------------------------------|
| Θέση | Υδατόπυργος Νιφοραϊκών |
| Ιδιοκτησία | ΔΕΥΑ Δυτικής Αχαΐας |
| Αρ. πρωτ. για ΕΜΣΥ | 277/10.01.2024 |
| Συντεταγμένες (X, Y) | 282949, 4224419 |
| Απόλυτο Υψόμετρο Γεώτρησης (m) | 30,60 |
| Βάθος Γεώτρησης (m) | 87,00 |
| Διάμετρος Γεώτρησης (εσ/εξ) (cm) | 21,20/23,10 |
| Βάθος Στάθμης Νερού (22.03.2024) (m) | 30,50 (+0,10) |
| Βάθος Δειγματοληψίας Νερού (m) | 55,10 (-24,50) |
| Βάθος φίλτρων (m) | 52,50-56,50 |
| Ειδική αγωγιμότητα στο βάθος των φίλτρων (μS/cm) | 1422 μS/cm |
| Νερό εμπλουτισμού (NE-1) | Υδρευσης Πείρου-Παραπεύρου |
| Υδρογεώτρηση ΤΕ-2 | |
| Θέση | Αεροδρόμιο Αράξου |
| Ιδιοκτησία | Μπαλαλάς |
| Αρ. πρωτ. για ΕΜΣΥ | 278/10.01.2024 |
| Συντεταγμένες (X, Y) | 274618, 4227515 |
| Απόλυτο Υψόμετρο Γεώτρησης (m) | 6,80 |
| Βάθος Γεώτρησης (m) | 38,00 |
| Διάμετρος Γεώτρησης (εσ/εξ) (cm) | 26,30/29,20 |
| Βάθος Στάθμης Νερού (22.03.2024) (m) | 4,70 (+2,10) |
| Βάθος Δειγματοληψίας Νερού (m) | 30,00 (-23,20) |
| Βάθος φίλτρων (m) | 24,50-34,50 |
| Ειδική αγωγιμότητα στο βάθος των φίλτρων (μS/cm) | 927 |
| Νερό εμπλουτισμού (NE-2) | Επιφανειακό ποταμού Λαρισσού |

Πριν την εκτέλεση των πειραμάτων εμπλουτισμού στις δύο γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού, στο βάθος που βρίσκονταν τα φίλτρα και οι αισθητήρες μέτρησης των υδρογεωλογικών παραμέτρων. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες νερού από τις υδροληψίες που είχε αποφασιστεί να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό των γεωτρήσεων, εκ των οποίων η μία αφορούσε το νερό του φράγματος Πείρου-Παραπείρου που χρησιμοποιείται για την ύδρευση του οικισμού των Νιφοραϊκών και η άλλη τα επιφανειακά νερά του ποταμού Λαρισσού, κοντά στις εκβολές του, στον αρχαιολογικό χώρο Δυμαίων.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού που ελήφθησαν δίνονται στον **Πίνακα 2**.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων υδάτων για εμπλουτισμό

| Θέση | Δείγμα | Ημ/νια | pH | cond (25°C) μS/cm | Alkalinity mg/l CaCO ₃ | Ca Hardness mg/l CaCO ₃ | Total Hardnes mg/l CaCO ₃ | TDS mg/l | Ca mg/l | Mg mg/l | |
|-----------|---------------------|-----------|--------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Νιφοραϊκά | Υδροληψία | 15/1/2024 | 6,46 | 310 | 131 | 115 | 164 | | 46 | 12 | |
| Νιφοραϊκά | Γεώτρηση TE-1 (55m) | 15/1/2024 | 6,10 | 1030 | 390 | 317 | 470 | | 127 | 37 | |
| Αράξος | Λαρισσός | 20/2/2024 | 7,90 | 923 | 215 | 313 | 375 | 452 | 125 | 15 | |
| Αράξος | Γεώτρηση TE-2 (30m) | 20/2/2024 | 8,20 | 856 | 145 | 213 | 225 | 418 | 85 | 3 | |
| | | | | HCO ₃ mg/l | SO ₄ mg/l | Cl mg/l | Na mg/l | NO ₃ mg/l | NO ₂ mg/l | NH ₄ mg/l | PO ₄ mg/l |
| Νιφοραϊκά | Υδροληψία | 15/1/2024 | 159,82 | 10 | 12 | | 3,0 | 0,009 | 0 | 0,24 | |
| Νιφοραϊκά | Γεώτρηση TE-1 (55m) | 15/1/2024 | 475,80 | 180 | 84 | | 78,1 | 0,014 | 0,041 | 0,18 | |
| Αράξος | Λαρισσός | 20/2/2024 | 262,30 | 200 | 70 | 80 | 86,0 | 0,037 | 0,080 | 0,66 | |
| Αράξος | Γεώτρηση TE-2 (30m) | 20/2/2024 | 176,90 | 2 | 200 | 110 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | |

Στην εκτέλεση έργων τεχνητού εμπλουτισμού με τη χρήση πηγαίων ή επιφανειακών υδάτων η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υδάτων πρέπει να είναι ίση ή ανώτερη αυτής του υδροφόρου. Στη γεώτρηση TE-1 (υδατόπυργος Νιφοραϊκών) τα προς χρήση ύδατα για εμπλουτισμό, καθότι προέρχονταν από την υδροληψία του φράγματος Πείρου-Παραπείρου, βρέθηκαν να είναι ανώτερης ποιότητας από αυτά του υδροφόρου στρώματος της γεώτρησης TE-1 (στο βάθος των 55m) και επομένως το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού στη γεώτρηση TE-1 εκτελέστηκε κανονικά.

Αντιθέτως, στη γεώτρηση TE-2 (αεροδρόμιο Αράξου) τα προς χρήση ύδατα για εμπλουτισμό, καθότι προέρχονταν από επιφανειακά ύδατα του ποταμού Λαρισσού, βρέθηκαν να είναι κατώτερης ποιότητας από αυτά του υδροφόρου στρώματος της γεώτρησης TE-2 (στο βάθος των 30m) και επομένως το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού στη γεώτρηση TE-2 δεν εκτελέστηκε. Πιο συγκεκριμένα τα νερά του ποταμού Λαρισσού, κοντά στις εκβολές του βρέθηκαν επιβαρυμένα με νιτρικά και ασβέστιο, λόγω της συχνής χρησιμοποίησης τους ως νερά άρδευσης των καλλιεργειών της πεδινής περιοχής του Αράξου και της επαναλαμβανόμενης αποστράγγισης τους μέσω της ακόρεστης ζώνης των καλλιεργούμενων εκτάσεων προς το κανάλι του Λαρισσού. Οπότε αποφασίστηκε να μην εκτελεστεί το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού στη γεώτρηση TE-2, λόγω έλλειψης καλής ποιότητας διαθέσιμων για εμπλουτισμό νερών.

Οι εργασίες εγκατάστασης της σύνδεσης μεταξύ υδροληψίας και γεώτρησης εμπλουτισμού TE-1 περιλάμβαναν την εγκατάσταση παροχής και υδρομέτρου στην υδροληψία και πλαστικού εύκαμπτου αγωγού από την υδροληψία έως τη γεώτρηση TE-1 (Φωτό 6, 7, 8).



Φωτό 6: Άποψη της υδροληψίας



Φωτό 7: Μη μηδενιζόμενο υδρόμετρο

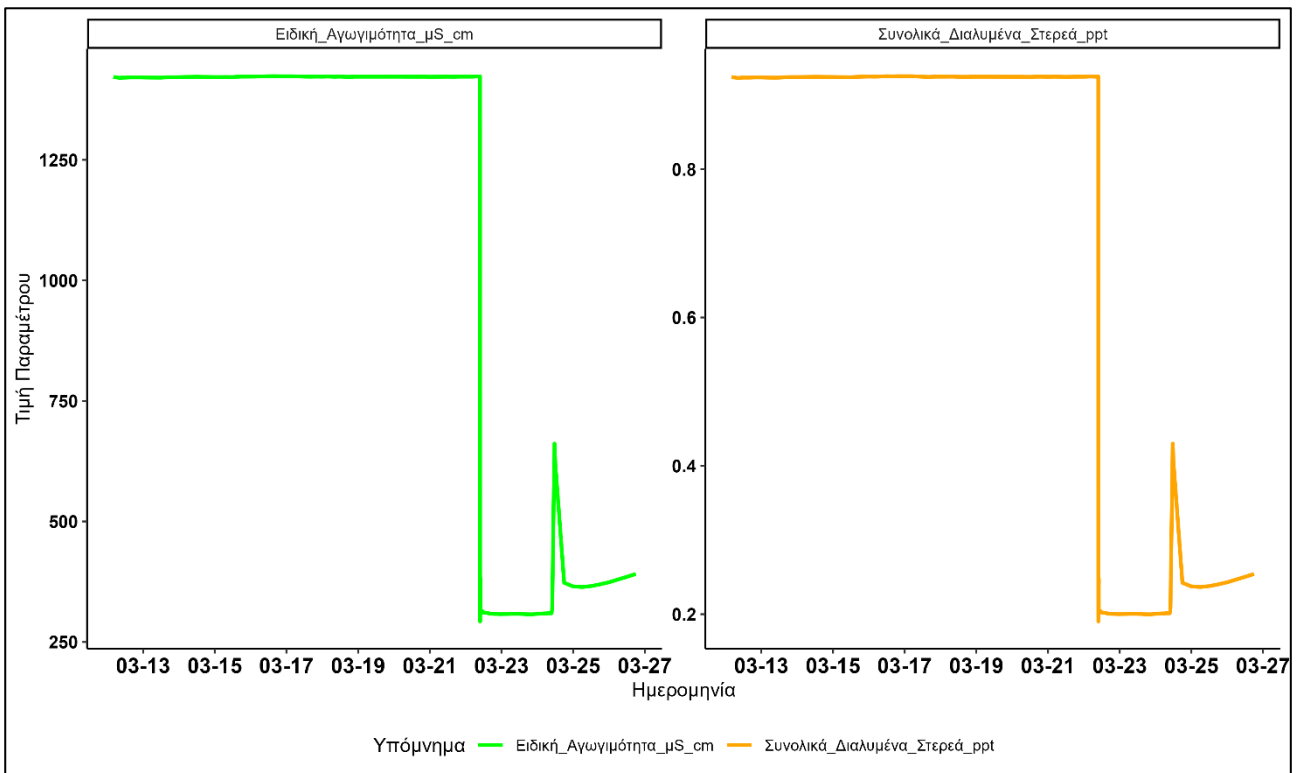


Φωτό 8: Τοποθέτηση του αγωγού εμπλουτισμού μεταξύ υδροληψίας και γεώτρησης TE-1

Μετά τον καθαρισμό των φίλτρων της γεώτρησης TE-1 εκτελέστηκε το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού με την εισπίεση νερού με τη μορφή σταθερού φορτίου, βάσει της οποίας μετρίεται η ποσότητα του νερού που διοχετεύεται στο υδροφόρο στρώμα, ώστε να διατηρείται σταθερή η στάθμη του νερού πάνω από το τμήμα της γεώτρησης που γίνεται η δοκιμή. Το πείραμα εκτελέστηκε σε βάθος 52,50-56,50m στο οποίο υπήρχε το υδροφόρο στρώμα.

Από το πείραμα ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίστηκε $k=2,53 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec} = 2,19\text{m/day}$ και η μεταφορικότητα του υδροφόρου στρώματος $T = K \cdot b = 8,76\text{m}^2/\text{day}$

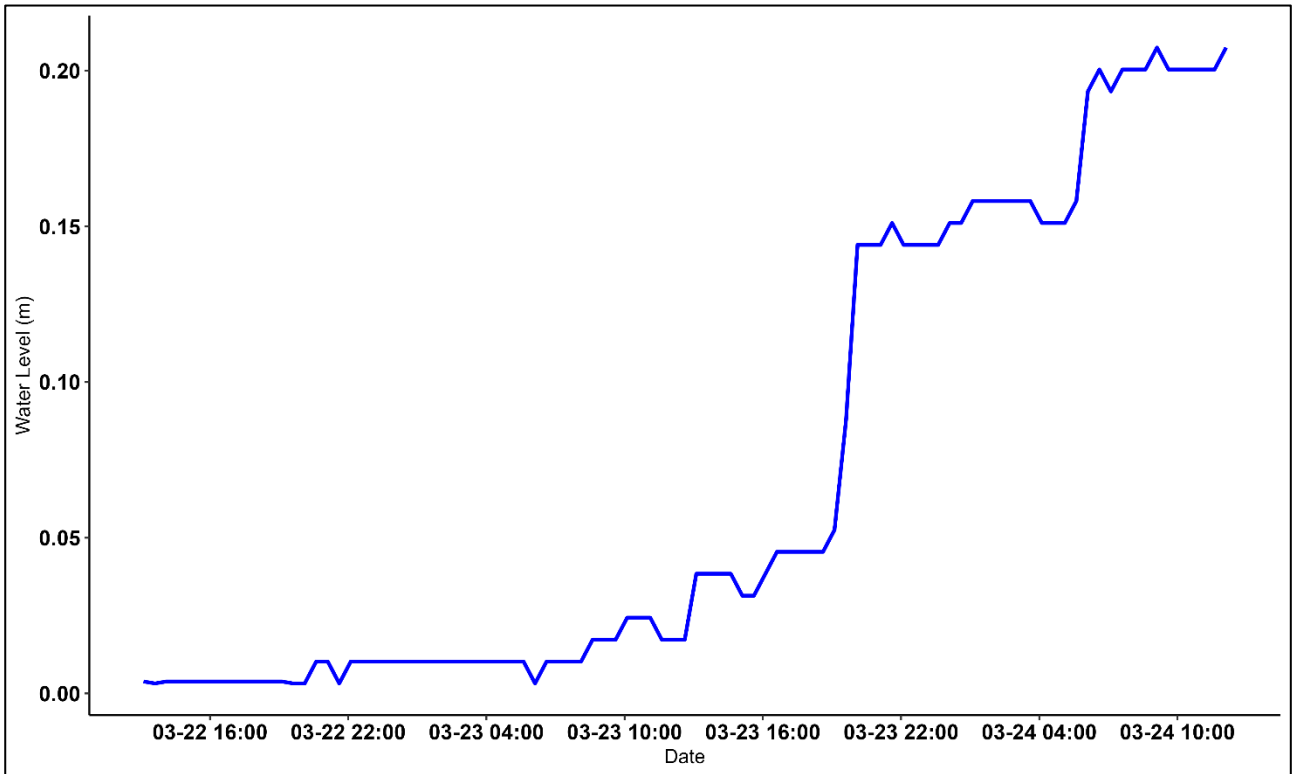
Το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού πραγματοποιήθηκε στη γεώτρηση TE-1 κατά την περίοδο 22-24 Μαρτίου 2024. Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών ειδικής αγωγιμότητας νερού και των ολικών διαλυμένων στερεών για το χρονικό διάστημα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού. Πριν την πραγματοποίηση του πειράματος οι τιμές των δύο μεταβλητών παρέμεναν σταθερές, ενώ κατά την διάρκεια του πειράματος και έως την ολοκλήρωση του οι τιμές μειώθηκαν δραματικά, καθώς έφτασαν τιμές 290-310 $\mu\text{S/cm}$ ως προς την ειδική αγωγιμότητα και 0,14-0,16 ppt, ως προς τα ολικά διαλυμένα στερεά.



Εικόνα 177: Διαγράμματα διακύμανσης της ειδικής αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων στερεών με το χρόνο στη γεώτρηση TE-1, πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τον τεχνητό εμπλουτισμό

Για να επιτευχθεί η παραπάνω διακύμανση η μέση παροχή του εισερχόμενου νερού και το μέσο βάθος της στάθμης του νερού εντός της γεώτρησης ήταν $15\text{m}^3/\text{h}$ και 2,75m, αντιστοίχως, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ταυτόχρονα με την εκτέλεση του πειράματος μετριόταν και η διακύμανση της στάθμης του νερού σε μια δορυφορική γεώτρηση που βρίσκεται σε απόσταση 300m περίπου από τη γεώτρηση TE-1. Από τις μετρήσεις που διενεργήθηκαν παρατηρήθηκε αύξηση της στάθμης του νερού στη δορυφορική γεώτρηση κατά 0.20m, 48 ώρες μετά την έναρξη του πειράματος (Εικόνα 18), που σημαίνει ότι η ακτίνα επίδρασης του τεχνητού εμπλουτισμού περιμετρικά της γεώτρησης TE-1 είναι 300m περίπου.

Οι τιμές της ειδικής αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων στερεών του νερού επανήλθαν στα σε ελαφρώς χαμηλότερες τιμές από τις αρχικές, 14 ημέρες μετά την πραγματοποίηση του πειράματος.



Εικόνα 188: Διάγραμμα διακύμανσης του βάθους της στάθμης του νερού με το χρόνο στη δορυφορική γεώτρηση, σε ακτίνα 300m από τη γεώτρηση TE-1

6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η 1η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) Πείρου - Βέργα - Πηνειού (ΕΛ0228) ολοκληρώθηκε το 2017 και εγκρίθηκε με την υπ' αριθμ. οικ. 894/21.12.2017 (ΦΕΚ Β'4665/2017) Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων: «Έγκριση της 1ης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων». Σήμερα βρισκόμαστε στο στάδιο της 2^{ης} Αναθεώρησης του ΣΔΛΑΠ. Στο πρόγραμμα μέτρων του προαναφερθέντος ΣΔΛΑΠ, περιλαμβάνεται το βασικό μέτρο με κωδικό Μ02Β0601, το οποίο έχουν ως αντικείμενο τη «Διερεύνηση των συνθηκών εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδατικών συστημάτων (ΥΥΣ) ως μέσο ποσοτικής ενίσχυσης και ποιοτικής προστασίας των ΥΥΣ, με προτεραιότητα στα ΥΥΣ με κακή κατάσταση και αντιμετώπιση της υφαλμύρινσης».

Στην περιγραφή του βασικού μέτρου Μ02Β0601 αναφέρεται ότι ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων αποτελεί βασικό εργαλείο για την αντιμετώπιση προβλημάτων ποσοτικής ή ποιοτικής υποβάθμισης των ΥΥΣ που προκαλούνται από πιέσεις στα υπόγεια ύδατα. Επιπλέον η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό και τη σταδιακή απώθηση του μετώπου θαλάσσιας διείσδυσης σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

Από την εκτέλεση του πειράματος του τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή έρευνας, προκύπτει ότι είναι δυνατή η υλοποίηση και εκτέλεση έργων τεχνητού εμπλουτισμού σε ευρύτερη κλίμακα, με σκοπό την ποσοτική και ποιοτική αναβάθμιση του ΥΥΣ Λαρισσού και την ανάσχεση του φαινομένου της υφαλμύρινσης. Η αποτελεσματικότητα του καθορίζεται από σειρά παραγόντων όπως ο προσδιορισμός της αποθηκευτικής ικανότητας των υδροφορέων, η διαθεσιμότητα ύδατος σε ικανή ποσότητα και σε ποιότητα καλύτερη από την ποιότητα του νερού του εμπλουτιζόμενου υπόγειου υδατικού συστήματος.

Προς αυτή την κατεύθυνση η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή έρευνας απαιτεί την εκπόνηση ειδικής υδρογεωλογικής μελέτης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν δημοσιοποιηθεί από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΝ στο τεύχος «Προδιαγραφές Ειδικών Υδρογεωλογικών μελετών», Αθήνα Δεκ 2017 (<http://wfdver.ypeka.gr/el/management-plans-gr/methodologies-gr/>).

Τα προτεινόμενα έργα τεχνητού εμπλουτισμού στην περιοχή έρευνας θα πρέπει να περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστο τα εξής:

- Προγραμματισμό και επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στο ΥΥΣ.
- Αξιολόγηση της ποσοτικής επάρκειας και της ποιοτικής καταλληλότητας του νερού εμπλουτισμού και της ζώνης επιρροής της εφαρμογής του.
- Καθορισμό της θέσης κατασκευής έργων για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού που περιλαμβάνουν εκσκαφές, διαμόρφωση πεδίων, γεωτρήσεις, πιεζόμετρα παρακολούθησης, κλπ.
- Καθορισμό των θέσεων υδροληψίας, μεταφοράς νερού και βοηθητικών έργων (π.χ. λεκανών καθίζησης αιωρούμενων) για την πραγματοποίηση του τεχνητού εμπλουτισμού.