

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Επιβάρυνση σε βαρέα μέταλλα των επιφανειακών υδάτων των  
κύριων παραποτάμων του Πηνειού ποταμού»**

**Ουρανία Πιτσογιάννη**

**ΒΟΛΟΣ 2022**

**UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC  
ENVIRONMENT**

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**«Heavy metal load of surface water in the main tributaries of Pinios  
river»**

**Ourania Pitsogianni**

**VOLOS 2022**

**«Επιβάρυνση σε βαρέα μέταλλα των επιφανειακών υδάτων των  
κύριων παραποτάμων του Πηνειού ποταμού»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

**1) Κωνσταντίνος Σκόρδας**, Αναπληρωτής Καθηγητής - Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,

**2) Νικόλαος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής Καθηγητής – Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,

**3) Ευστράτιος Κελεπερτζής**, Επίκουρος Καθηγητής – Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, ΕΚΠΑ, ***Μέλος***.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Κωνσταντίνο Σκόρδα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους Νικόλαο Νεοφύτου και Ευστράτιο Κελεπερτζή για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί η παρουσία βαρέων μετάλλων στους παραπόταμους του Πηνειού και να αξιολογηθεί αν υπερβαίνουν τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2020. Συλλέχθηκαν δείγματα επιφανειακών υδάτων σε ορισμένα σημεία κατά μήκος των κύριων παραποτάμων του ποταμού Πηνειού. Παράλληλα, με την δειγματοληψία έγιναν και επιτόπιες μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, ολικά διαλυμένα στερεά). Τα βαρέα μέταλλα που μετρήθηκαν ήταν τα Cr, Co, Cd, Ni, Mn, Pb, Fe, Cu, As και Zn. Οι συγκεντρώσεις τους προσδιορίστηκαν με Φασματοφωτομετρία Ατομικής Απορρόφησης. Οι συγκεντρώσεις των διαλυτών μετάλλων δεν παρουσίασαν υπερβάσεις από τα επιτρεπόμενα νομοθετικά και βιβλιογραφικά όρια.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Γενικά .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2.1 Θερμοκρασία .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2.2 Οξύτητα (pH) .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2.3 Αλκαλικότητα.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2.4 Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2.5 Σκληρότητα.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2.6 Αιωρούμενα στερεά.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2.7 Οσμύ και γεύση .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2.8 Θολότητα.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2.9 Χρώμα .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Ιχνοστοιχεία στο νερό .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Βαρέα μέταλλα στο νερό .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Περιοχή μελέτης .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Γεωλογία και γεωμορφολογία .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Υδρογεωλογία .....</b>	<b>14</b>

<b>2.4 Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1 Θερμοκρασία.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Βροχόπτωση-Υετός.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Υλικά και μέθοδοι.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.1 Δειγματοληψίες νερού .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.2 Προκατεργασία των δειγμάτων .....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.2.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με χρήση φλόγας (FAAS).....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2.2 Ατομική απορρόφηση σε φούρνο γραφίτη (Graphite Furnace AAS, GFAAS) .....</b>	<b>22</b>
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1 Θερμοκρασία.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS).....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3 Οξύτητα (pH).....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.4 Αγωγιμότητα.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Βαρέα μέταλλα.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Σίδηρος (Fe) .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2 Μαγγάνιο (Mn) .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3. Χαλκός (Cu) .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.4 . Νικέλιο (Ni) .....</b>	<b>30</b>



<b>3.2.5 Χρώμιο (Cr)</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.6 Μόλυβδος (Pb)</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.7 Ψευδάργυρος (Zn)</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.8 Κοβάλτιο (Co)</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.9 Κάδμιο (Cd)</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.10 Αρσενικό (As)</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.11 Υδράργυρος (Hg)</b> .....	<b>36</b>
<b>4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>36</b>
<b>5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>38</b>
<b>6. ABSTRACT</b> .....	<b>40</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Η προέλευση του νερού συνδέεται στενά με τους μηχανισμούς και τις διεργασίες που διαμόρφωσαν την γη, κυρίως όμως με αυτούς που οδήγησαν στη διαμόρφωση της εξωτερικής στιβάδας, του εσωτερικού φλοιού της (Στουρνάρας 2007). Το νερό κινείται διαρκώς στον υδρολογικό κύκλο και ενώ η ποσότητα του στη γη (ισοζύγιο) παραμένει σταθερή, η ποιότητα και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού μεταβάλλεται. Μόνο το 0,003% του παγκόσμιου όγκου του νερού είναι διαθέσιμο προς εκμετάλλευση (Μήτρακας 2001, Μιμίκου & Μπαλτάς 2006 Τσέζος & Χατζηκιοσεγιάν 2012). Ο υδρολογικός κύκλος επηρεάζει και επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη γη (Εικόνα 1). Απόρροια της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, είναι το λιώσιμο των χιονιών και των πάγων, γεγονός που οδηγεί το νερό που είναι αποθηκευμένο σε αυτούς, να απορρέει και να αποθηκεύεται στα επιφανειακά αλλά και στα υπόγεια ύδατα.



Εικόνα 1: Υδρολογικός κύκλος του νερού (τροποποιημένο από USGS, 2021)

Στο έδαφος συναντάμε πληθώρα μεταλλικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά διαλυμένα μέσα στο νερό προσλαμβάνονται από τα φυτά και μέσω της τροφής από τα ζώα και τους ανθρώπους. Πολλά από αυτά τα στοιχεία (ψευδάργυρος, χαλκός, σελήνιο, νικέλιο, χρώμιο) παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών αλλά και όλων και των ζωντανών οργανισμών. Σε υψηλές όμως συγκεντρώσεις μπορεί να γίνουν τοξικά. Μια πληθώρα παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τη βιοδιαθεσιμότητα τους. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται το δυναμικό οξειδοαναγωγής, το pH, η θερμοκρασία, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής της στερεάς φάσης, ο ανταγωνισμός με άλλα μεταλλικά ιόντα, η σύσταση και ποιότητα του εδαφικού διαλύματος και δύναται να ποικίλει κάτω από φυσιολογικές συνθήκες (Merian & Clarkson 1991).

Δύο είναι οι συνήθεις οδοί μέσω των οποίων τα βαρέα μέταλλα γίνονται διαθέσιμα στους οργανισμούς. Η μία αφορά τη σύνδεσή τους τόσο με τους υδατάνθρακες, τις πρωτεΐνες αλλά και τα λιπίδια της μεμβράνης, και η δεύτερη μέσω της διαδικασίας της ενδοκύττωσης (Hawkins et al. 2002).

## **Σκοπός**

Σκοπός της συγκεκριμένης διατριβής είναι να διερευνηθεί η παρουσία βαρέων μετάλλων στους παραπόταμους του Πηνειού και να αξιολογηθεί αν υπερβαίνουν τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.

## **1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση**

### **1.2.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων**

Τα φυσικοχημικά, βιοχημικά και τα μικροβιολογικά αποτελούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού. Στη συνέχεια αναλύονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.

## 1.2.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

### 1.2.2.1 Θερμοκρασία

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη δομή και τη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων είναι η θερμοκρασία. Η θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα ή έμμεσα με τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό (σε υψηλές θερμοκρασίες μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου), τη σύνθεση της βιομάζας, το μεταβολισμό των υδρόβιων οργανισμών (ο ρυθμός μεταβολισμού μειώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες ενώ σε υψηλές αυξάνεται), τις απαιτήσεις τους σε θρεπτικά συστατικά, τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων ανόργανων αλάτων αλλά και τις διαδικασίες με τις οποίες οι οργανικές ενώσεις που είναι διαλυμένες στο νερό διασπώνται σε απλούστερες. Έτσι η μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού καθίσταται ιδιαίτερος σημαντική για την αξιολόγηση του.

Η θερμοκρασία του πόσιμου νερού κυμαίνεται μεταξύ 5 και 12°C. Θερμοκρασίες νερού πάνω από τους 12°C το καθιστούν ακατάλληλο για συγκεκριμένες χρήσεις (Νταράκας 2014).

### 1.2.2.2 Οξύτητα (pH)

Η οξύτητα (pH) ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου και οι τιμές που παίρνει είναι 0 έως 14. Τα διαλύματα ανάλογα με την τιμή του pH χαρακτηρίζονται ως όξινα ( $0 < \text{pH} < 7$ ), αλκαλικά ( $7 < \text{pH} < 14$ ) ή ουδέτερα ( $\text{pH} = 7$ ). Το pH επηρεάζει τις φυσιολογικές διεργασίες των υδρόβιων οργανισμών (ρυθμός μεταβολισμού, ενεργότητα ενζύμων, δράση ετερότροφων βακτηρίων, πρόσληψη θρεπτικών ουσιών, κ.ά.), η τιμή του δε εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η θερμοκρασία, η συγκέντρωση διαλυμένων στο νερό αερίων κυρίως οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, η αποσύνθεση οργανικών ουσιών καθώς και η μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών.

Τα φυσικά νερά αποτελούν υδατικά διαλύματα, αφού περιέχουν διαλυμένα σε αυτά οργανικά και ανόργανα συστατικά και είναι ελαφρώς όξινα ή αλκαλικά ( $4 < \text{pH} < 9$ ) με τα τελευταία να είναι κατάλληλα για κατανάλωση (Στουρνάρας 2007). Τιμές δε pH μεταξύ 6 και 8 ευνοούν την ανάπτυξη φυτικών και ζωικών υδρόβιων οργανισμών.

### 1.2.2.3 Αλκαλικότητα

Ως αλκαλικότητα ορίζεται η ικανότητά του νερού να εξουδετερώνει μια ορισμένη ποσότητα κατιόντων υδρογόνου και εκφράζεται από το άθροισμα στο νερό των ανθρακικών ιόντων ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), των όξινων ανθρακικών ιόντων ( $\text{HCO}_3^-$ ) καθώς και των ανιόντων υδροξυλίου ( $\text{OH}^-$ ) (Νταράκας 2014).

### 1.2.2.4 Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Ο όρος ηλεκτρική αγωγιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα του νερού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και έχει άμεση σχέση με τη συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων σε αυτό. Μονάδα μέτρησης της στο SI αποτελεί Siemen (S) ενώ πιο συνηθισμένη μονάδα είναι το microSiemens ανά cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Μητρόπουλος & Κελεπερτζής 2012). Ειδικότερα, ως ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα χαρακτηρίζεται η αγωγιμότητα του νερού, στους  $25^\circ\text{C}$ .

Υψηλές τιμές αγωγιμότητας σε ένα ποτάμιο οικοσύστημα αποτελούν ένδειξη επιβάρυνσης του ποταμού με αυξημένο ρυπαντικό φορτίο, τιμές δε πάνω από τα  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  καταστούν το νερό ακατάλληλο για άρδευση.

### 1.2.2.5 Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα κυρίως του ασβεστίου ( $\text{Ca}^{+2}$ ) και του μαγνησίου ( $\text{Mg}^{+2}$ ) και σχετίζεται τόσο με τη φύση όσο και τη σύσταση των πετρωμάτων διαμέσου των οποίων κινήθηκε το νερό. Διακρίνεται σε ολική η οποία αναφέρεται σε νερά που κατά κανόνα περιέχουν σημαντικές ποσότητες  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{Mg}^{+2}$  με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου και ανθρακικού μαγνησίου, σε παροδική (ανθρακική) η οποία οφείλεται στα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και μαγνησίου, και σε μόνιμη

(μη ανθρακική) η οποία οφείλεται στα ανθρακικά, θειούχα, χλωριούχα και νιτρικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου (Κουιμτζής et al. 2004, Κελεπερτζής 2007, Νταράκας 2014).

Στην περίπτωση που στο νερό υπάρχουν και άλλα κατιόντα εκτός του ασβεστίου και του μαγνησίου όπως του ψευδαργύρου, του σιδήρου, του βαρίου, του μαγγανίου, του στροντίου, και του αργιλίου, τότε αυτά συμπεριλαμβάνονται στην ολική σκληρότητα.

#### **1.2.2.6 Αιωρούμενα στερεά**

Τα ολικά στερεά ανήκουν στα φυσικά συστατικά του νερού (Total Solids, TS) και διακρίνονται σε διαλυμένα (Total Diluted Solids, TDS) και σε αιωρούμενα (Total Suspended Solids, TSS). Ως στερεές, θεωρούνται οι ουσίες που παραμένουν μετά από εξέταση ενός δείγματος νερού σε θερμοκρασία 105 °C, ενώ ως αιωρούμενα θεωρούνται τα σωματίδια που το ειδικό τους βάρος είναι μικρότερο από αυτό του νερού.

Γενικά, ο όρος «στερεά» αναφέρεται στην περιεκτικότητα του νερού σε σωματίδια και επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του νερού και συγκεκριμένα αλλοιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του (θολότητα και γεύση). Κύρια πηγή προέλευσής των στερεών στο νερό αποτελεί η αποσάθρωση των πετρωμάτων (κυρίως ορυκτών αργίλου) και οι βιολογικές διαδικασίες (μικροφύκια, βακτήρια και άλλοι ανώτεροι μικροοργανισμοί).

Οι στερεές ουσίες του νερού διακρίνονται σε διαλυμένες (δεν είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού), σε κολλοειδείς (λόγω μεγέθους και αυτές δεν είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού) και σε αδιάλυτες (είναι ορατές δια γυμνού οφθαλμού), οι οποίες ανάλογα με το ειδικό τους βάρος είτε θα αιωρούνται στο νερό, είτε θα επιπλέουν είτε θα καθιζάνουν. Στερεά που αιωρούνται, έχουν συνήθως μέγεθος μεγαλύτερο από 1 μm και είναι το κύριο αίτιο της θολότητας του νερού, ενώ τα διαλυμένα στερεά είναι μικρά μόρια και ιόντα με μέγεθος μικρότερο από 1 nm. Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων συστατικών στο πόσιμο νερό, είναι συνήθως ελάχιστη. Ενδιαφέρον δε παρουσιάζει, η συγκέντρωση των κολλοειδών η οποία κατά κύριο λόγο σχετίζεται με τη θολότητα του νερού. Τα στερεά που καθιζάνουν σε συνθήκες

ηρεμίας είναι αδιάλυτες στερεές ουσίες η μέτρησή των οποίων γίνεται με τον κώνο του Imhoff, στον οποίο υπολογίζεται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ο όγκος (mL/L) των ουσιών που καθιζάνουν (Νταράκας 2010). Επίσης τα στερεά στο νερό μπορεί να είναι οργανικής προέλευσης (Total Volatile Solids, TVS), που είναι εξαερώσιμα, δηλαδή πτητικά και ανόργανης προέλευσης (Total Fixed Solids, TFS) που είναι αδρανή μη εξαερώσιμα, στερεά.

#### 1.2.2.7 Οσμή και γεύση

Η οσμή και η γεύση του νερού σχετίζονται συνήθως με την πηγή προέλευσης του νερού και τον τρόπο επεξεργασίας του και μπορεί να οφείλονται σε χημικές ουσίες και αέρια (ανόργανες ή οργανικές), που είναι διαλυμένες ή αιωρούνται στο νερό ή σε μικροοργανισμούς. Τα προβλήματα γεύσης στο νερό αποδίδονται συνήθως στα διαλυμένα σε αυτό άλατα μετάλλων κυρίως του χαλκού, του σιδήρου, του ψευδαργύρου, του μαγνησίου (προκαλεί μεγαλύτερα προβλήματα γεύσης, κυρίως το χλωριούχο μαγνήσιο) και του μαγγανίου αλλά και σε ουσίες όπως είναι οι φαινόλες και οι χλωροφαινόλες.

Η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων αλάτων στο νερό πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 500 mg/L και 1200 mg/L. Συνήθως τιμές ολικά διαλυμένων στερεών μικρότερες των 500 mg/L να θεωρούνται πιο αποδεκτές.

Στα επιφανειακά νερά προβλήματα στην οσμή και τη γεύση προκαλούν η αποικοδόμηση των φυτικών οργανισμών, αλλά και τα προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών (συνήθως ακτινομύκητες, νηματοειδή βακτήρια, πράσινο-μπλε φύκια). Δύο προϊόντα μεταβολισμού ακτινομυκήτων και κυανοπράσινων φυκιών που είναι ιδιαίτερα δυσάρεστα στην όσφρηση και προσδίδουν στο νερό οσμή γαιώδους μούχλας είναι η γεωσμίνη και η μεθυλοϊσοβορνεόλη. Επίσης οσμές και γεύσεις έλους – ιχθύος μπορεί να οφείλονται σε θειούχες ενώσεις, όπως τα μεθυλοπολυσουλφίδια και η μεθυλομερκαπτάνη. Στα υπόγεια νερά δυσάρεστη οσμή και γεύση προσδίδει το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S).

Παρότι η οσμή και η γεύση είναι οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και άρα υποκειμενικά, μπορεί όμως να αποτελέσουν κριτήριο για την ταξινόμηση των νερών σε διάφορες κατηγορίες χρήσεων. Υπάρχουν και συγκεκριμένες τεχνικές με τις οποίες μπορούμε να προσδιορίσουμε ποιοτικά αλλά και ποσοτικά την οσμή των υδάτων. Η μέθοδος των διαδοχικών αραιώσεων είναι αυτή που χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποσοτικό προσδιορισμό της οσμής. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη σταδιακή αραιώση των δειγμάτων του νερού μέχρι του σημείου που η οσμή είναι η ελάχιστη αντιληπτή (Νταράκας 2010). Ποιοτικά η κατάταξη γίνεται βάση κάποιων ουσιών που έχουν χαρακτηριστική οσμή. Κάποιες από τις ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι τα απόβλητα βιομηχανιών και διυλιστηρίων, το υδρόθειο, η αμμωνία, το χλώριο, φυτά σε αποσύνθεση κ.λπ.

#### 1.2.2.8 Θολότητα

Με τον όρο θολότητα εννοείται η απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα. Γενικά, ορίζεται ως η αντίσταση του νερού στην διέλευση του φωτός. Αιτία της θολότητας των νερών αποτελεί η παρουσία λεπτόκοκκων σωματιδίων οργανικής ή ανόργανης φύσης, τα οποία μπορεί να είναι διαλυμένα στο νερό, να αιωρούνται ή βρίσκονται στην κολλοειδή φάση.

Το πόσιμο νερό που προορίζεται για κατανάλωση, πρέπει να είναι διαυγές. Τα θολά νερά εκτός από το αρνητικό αισθητικό αποτέλεσμα, μπορεί να είναι και επικίνδυνα για την υγεία γι' αυτό νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί για την ύπαρξη ρυπαντικού φορτίου. Η θολότητα μετρείται σε μονάδες θολότητας Nephelometric Turbidity Units, NTU ή σε mg/L διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), δηλαδή θολότητα που οφείλεται στην περιεκτικότητα 1 mg  $\text{SiO}_2$  σε 1 L νερού (Νταράκας 2010). Η θολότητα καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου με την οποία θα γίνει η επεξεργασία του νερού, κι αυτό γιατί αποτελεί την παράμετρο ποιότητας του νερού που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακύμανση. Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει όταν το νερό είναι θολό είναι ότι η απολύμανση του που προορίζεται για πόσιμο,



δεν είναι αποτελεσματική εξαιτίας των παθογόνων μικροοργανισμών που εγκλωβίζονται στα αιωρούμενα σωματίδια και με τον τρόπο αυτό προστατεύονται από το απολυμαντικό.

### 1.2.2.9 Χρώμα

Το χρώμα ενός υδάτινου αποδέκτη δεν σχετίζεται με την τοξικότητα του νερού ή τη μόλυνση του. Παράγοντες όπως το μήκος κύματος της ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει στο νερό, η παρουσία ανόργανων ή οργανικών χημικών ουσιών, το είδος των φυτοπλαγκτονικών και ζωοπλαγκτονικών μικροοργανισμών και η βιολογική τους δραστηριότητα, το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται στο νερό, το χρώμα των ιζημάτων, αλλά και το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής καθορίζουν το χρώμα του νερού, αφού επηρεάζουν την απορρόφηση του φωτός στο νερό προσδίδοντάς του έτσι χαρακτηριστικό χρώμα (πράσινο-γαλάζιο έως σκούρο καφετί).

Το έντονο χρώμα στο νερό μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων, όπως του σιδήρου ( $\text{Fe}^{2+}$ ) και του μαγγανίου ( $\text{Mn}^{2+}$ ) που βρίσκονται σε αυτό, αλλά και σε άλλες χημικές ουσίες, στην τύρφη, στο πλαγκτόν τα οποία μεταφέρονται με τη ροή των υδάτων και σε βιομηχανικά απόβλητα (π.χ. απόβλητα βαφείων κ.α.).

Φυσικά νερά στα οποία παρατηρείται έντονη βιολογική δραστηριότητα έχουν πράσινο χρώμα, ενώ αυτά στα οποία η βιολογική δραστηριότητα είναι περιορισμένη έχουν πρασινογάλαζο χρώμα. Επίσης, το φαιό χρώμα στο νερό αποδίδεται στη μεταφορά φερτών υλών από τη λεκάνη απορροής, ενώ το κίτρινο χρώμα στην παρουσία χουμικών ενώσεων. Το χρώμα του νερού αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά που μπορεί να αλλάζει ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Έτσι, κατά τη φθινοπωρινή και εαρινή αναστροφή παρατηρείται υπερβολική ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα το νερό να παρουσιάζει ένα έντονο πράσινο χρώμα.

Το πόσιμο νερό αισθητικά είναι επιθυμητό να είναι άχρωμο και διαυγές, γι' αυτό νερό που προορίζεται για κατανάλωση και βλέπουμε χρώμα πρέπει να εξετάζεται χημικά. Η χημική

ανάλυση μπορεί να πιστοποιήσει την προέλευση του, αποτελώντας έτσι έναν έμμεσο δείκτη ρύπανσης (Νταράκας 2010).

### 1.3 Ιχνοστοιχεία στο νερό

Ως ιχνοστοιχεία χαρακτηρίζονται τα χημικά στοιχεία των οποίων η συγκέντρωση στη λιθόσφαιρα είναι μικρότερη του 0,1 % (Forstner & Wittman 1983), στο θαλασσινό νερό μικρότερη του 1 ppm (pg/mL) (Riley Chester 1971, Millero & Sohn 1992).

Στα υδάτινα οικοσυστήματα τα μέταλλα απαντούν με τη μορφή είτε διαλυτών αλάτων είτε αιωρούμενων σωματιδίων τα οποία με την πάροδο του χρόνου συσσωρεύονται στα ιζήματα λιμνών, ποταμών και παράκτιων περιοχών, στα οποία κατά καιρούς έχουν μετρηθεί σημαντικές συγκεντρώσεις μετάλλων (Nriagu & Pacyna 1988). Εμπλουτισμός των υδάτων σε βαρέα μέταλλα και μεταλλοειδή γίνεται με τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, την έκπλυση επιφανειακών εδαφών, τη διάβρωση εδαφών και τη διάσπαση ορυκτών και τις γεωθερμικές διεργασίες. Η ρύπανση του περιβάλλοντος από μέταλλα και τις ενώσεις τους δεν αφορά μόνο στις περιοχές στις οποίες δραστηριοποιείται ο άνθρωπος αλλά και περιοχές χωρίς ανθρωπογενείς επιδράσεις λόγω της ικανότητας τους να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις.

### 1.4 Βαρέα μέταλλα στο νερό

Ως βαρέα μέταλλα χαρακτηρίζονται χημικά στοιχεία με ατομικό αριθμό (Z) μεγαλύτερο από 20 (Mason 1991), ενώ κατά άλλους συγγραφείς αυτά με πυκνότητα μεγαλύτερη από 5,0 g/cm<sup>3</sup> (Forstner & Wittman 1983). Εξαιρέση αποτελούν τα αλκάλια, οι αλκαλικές γαίες, οι λανθανίδες και οι ακτινίδες (Duffus 2002). Κοινό στοιχείο της επίδρασης βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον είναι ότι δε μπορούν να διασπαστούν (μη βιοδιασπώμενες ουσίες) από τους οργανισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ακόμη και αν απαντούν σε πάρα πολύ μικρές συγκεντρώσεις, να συσσωρεύονται στους κορυφαίους καταναλωτές, όπως περνούν από τον έναν κρίκο της τροφικής αλυσίδας στον επόμενο, καθιστώντας τα ιδιαίτερα τοξικά. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βιομεγένθυνση και αφορά και τον άνθρωπο, αφού

συνήθως και αποτελεί τον τελευταίο κρίκο σε πολλές τροφικές αλυσίδες (Γιαννοπούλου & Εταιρίδου 2005).

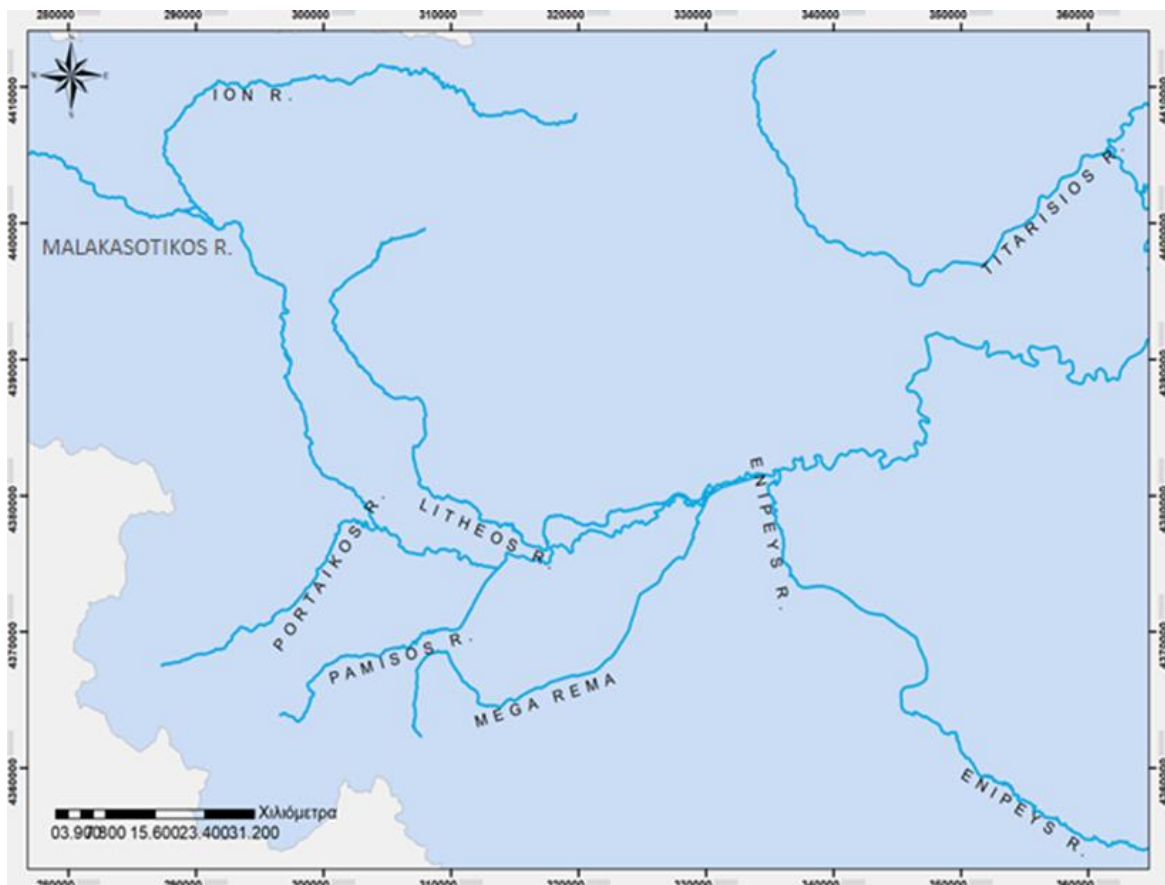
Ο μόλυβδος, το κάδμιο, ο υδράργυρος, ο ψευδάργυρος και το αρσενικό λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους αλλά και της τοξικότητάς που παρουσιάζουν θεωρούνται τα πιο επικίνδυνα μέταλλα για την υγεία του ανθρώπου. Τα βαρέα μέταλλα δε διαλύονται στο νερό και μπορούν να περάσουν στον άνθρωπο μέσω των τροφικών αλυσίδων, επηρεάζοντας την υγεία του. Ο βιοχημικός μηχανισμός της τοξικής δράσης τους σχετίζεται με την ισχυρή συγγένεια των ιόντων αυτών των μετάλλων με το θείο.

Πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος με βαρέα μέταλλα αποτελούν η αποσάθρωση των πετρωμάτων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, τα ορυκτά και οι πυρκαγιές. Η βιομηχανική δραστηριότητα (μεταλλουργία, διωλιστήρια, βυρσοδεψία, εργοστάσια πετροχημείας, λιπασμάτων, παραγωγής ενέργειας και μπαταριών) αποτελεί μια από τις σοβαρότερες πηγές ρύπανσης σε βαρέα μέταλλα ανθρωπογενούς προέλευσης. Στα απόβλητά των βιομηχανιών περιέχεται ένα πλήθος από μέταλλα, οργανικούς διαλύτες και πετρελαιοειδή τα οποία, με την εισαγωγή τους στα υδάτινα οικοσυστήματα, διαταράσσουν την ισορροπία τους και θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Επίσης επιβαρυντικά δρουν και οι αγροτικές δραστηριότητες (φυτοφάρμακα, λιπάσματα). Η οξείδωση των πυριτικών υλικών οδηγεί σε αύξηση της οξύτητας των επιφανειακών υδάτων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της χλωρίδας και πανίδας του οικοσυστήματος του υδάτινου αποδέκτη αφού παρεμποδίζει την αναπαραγωγή των οργανισμών καθώς και θανάτωση των ψαριών. Επιπλέον, η μείωση του pH οδηγεί σε διαλυτοποίηση μετάλλων στο νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη πρόσληψη των μετάλλων από τους υδρόβιους οργανισμούς και συνεπακόλουθα την αύξηση της τοξικότητάς τους (Γιαννοπούλου & Εταιρίδου 2005).

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται κατά μήκος του Πηνειού ποταμού και περιλαμβάνει τους συγκεκριμένους παραπόταμους που απεικονίζονται στο χάρτη (Εικόνα 2). Η πεδιάδα της Θεσσαλίας, αποτελεί την μεγαλύτερη πεδινή έκταση της Ελλάδας και παρουσιάζει μια σχετικά απλή εικόνα από γεωμορφολογική άποψη. Αποτελεί μία κλειστή λεκάνη, που περιβάλλεται από ψηλά βουνά. Συγκεκριμένα, στα βόρεια συναντάμε τα Αντιχάσια, την οροσειρά της Πίνδου δυτικά, νότια το όρος Όθρυς, τον Όλυμπο και την Όσσα ανατολικά. Διαμέσου των βουνών αυτών κυλάει ο ποταμός Πηνειός (μήκους 217 χιλιομέτρων) βρίσκοντας διέξοδο προς το Αιγαίο.



Εικόνα 2: Αποτύπωση της περιοχής μελέτης

Το υψόμετρο κυμαίνεται από 0 έως 2800 μέτρα, με μέσο υψόμετρο τα 589 μέτρα. Στο σύνολο της θεσσαλικής πεδιάδας τα 5.139,9 km<sup>2</sup> αποτελούν πεδινές εκτάσεις, τα 2.395,2 km<sup>2</sup> ημιορεινές ενώ τα ορεινό τμήμα καταλαμβάνει έκταση 6.535,9 km<sup>2</sup>. Παρατηρούνται όλα τα είδη υδατικών καταναλώσεων, όπως ύδρευση, άρδευση τόσο για αστική όσο και βιομηχανική χρήση.

Στο Ανατολικό τμήμα της κεντρικής Ελλάδας αναπτύσσεται ο Πηνειός ο οποίος αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο ποταμό της Ελλάδας. Διέρχεται από την κοιλάδα των Τεμπών, οι βόρειες παρυφές της Όσσας (Κίτσαβος) και οι νότιες-νοτιοανατολικές παρυφές του Ολύμπου οριοθετούν το δελταϊκό σύστημα του ποταμού. Οι σύγχρονες εκβολές του έχουν διαμορφωθεί από ανθρώπινες παρεμβάσεις και βρίσκονται στις νότιες ακτές του Θερμαϊκού κόλπου (Βασιλάκης, 2014). Ο Brunn (1956) υποστηρίζει ότι οι ορεινοί όγκοι στη περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλίας οφείλονται σε συμπιεστικά τεκτονικά γεγονότα τα οποία έλαβαν μέρος κατά το Ηώκαινο έως το Μέσο Μειόκαινο.

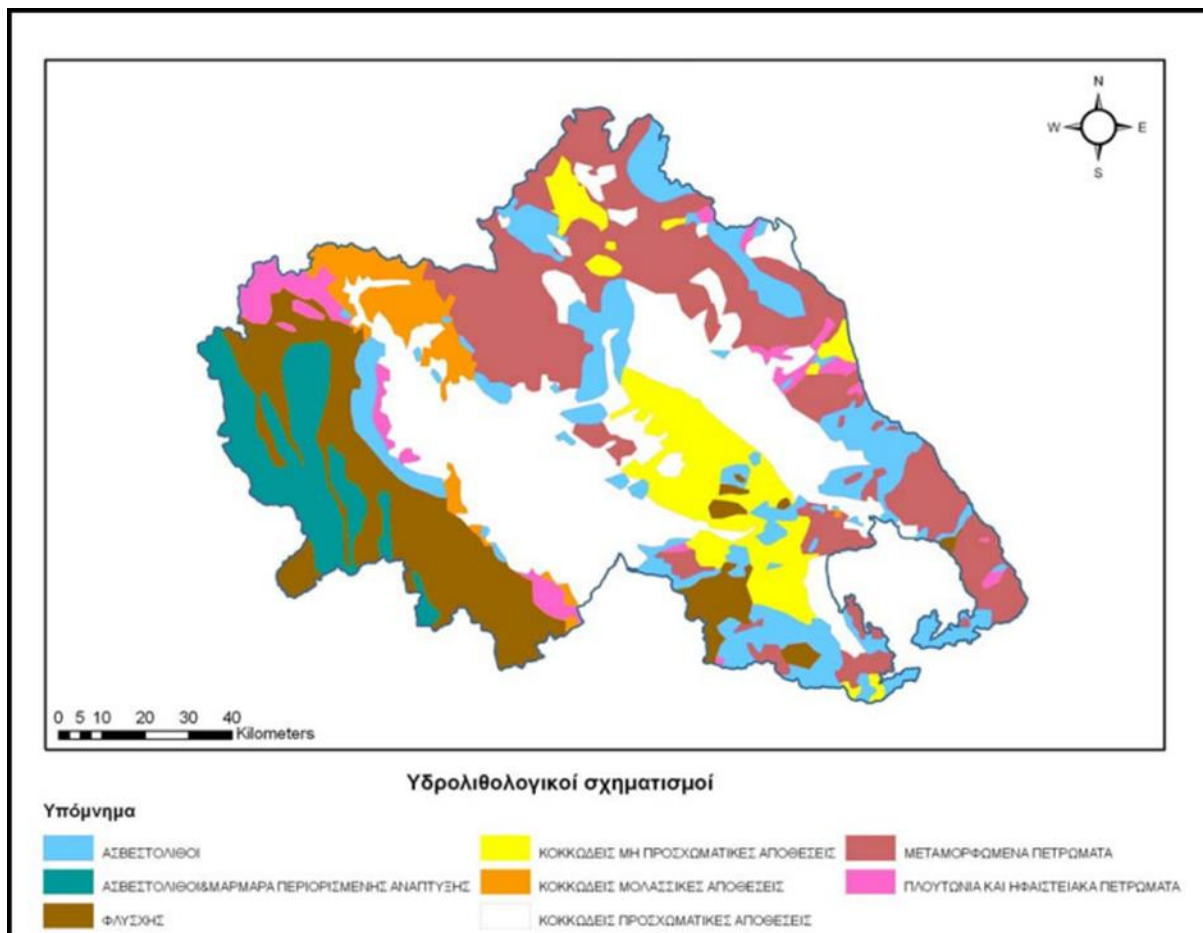
## 2.2 Γεωλογία και γεωμορφολογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του Πηνειού διακρίνονται σε αλπικούς και μεταλπικούς (Εικόνα 3). Οι αλπικοί σχηματισμοί εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ενότητες (α) Όσσας – Ολύμπου, (β) Αμπελακίων, (γ) Πελαγονικής και εμφανίζονται στις παρυφές των ορεινών όγκων Ολύμπου και Όσσας (Μιγκίρος 1983, Κατσιακάτσος & Μιγκίρος 1987).

Αυτόχθονη έως παρααυτόχθονη χαρακτηρίζεται η ενότητα Ολύμπου - Όσσας αφού είναι υποκείμενη όλων των σχηματισμών των ενοτήτων των Αμπελακίων και της Πελαγονικής. Περιλαμβάνει δε κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους περιόδου Ιουρασικής-Μέσου Ηωκαίνου μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται φυλλίτες και επιζωνικά μεταμορφωμένος φλύσχης της περιόδου Μέσου Ηωκαίνου με σχιστόλιθους, σχιστοψαμμίτες, και φυλλίτες με επιπλέον στρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων αλλά και ολισθολίθους ανθρακικής σειράς της ίδιας περιόδου. Η ενότητα της Πελαγονικής αποτελείται από σχηματισμούς που είναι

παλαιότεροι, μεταμορφωμένοι και ιδιαίτερα έντονα πτυχωμένοι (κρητιδικά μάρμαρα και μεταμορφωμένα βασικά οφιολιθικά πετρώματα του προ Άνω Κρητιδικού) (Κατσιατάσος & Μιγκίρος 1987).

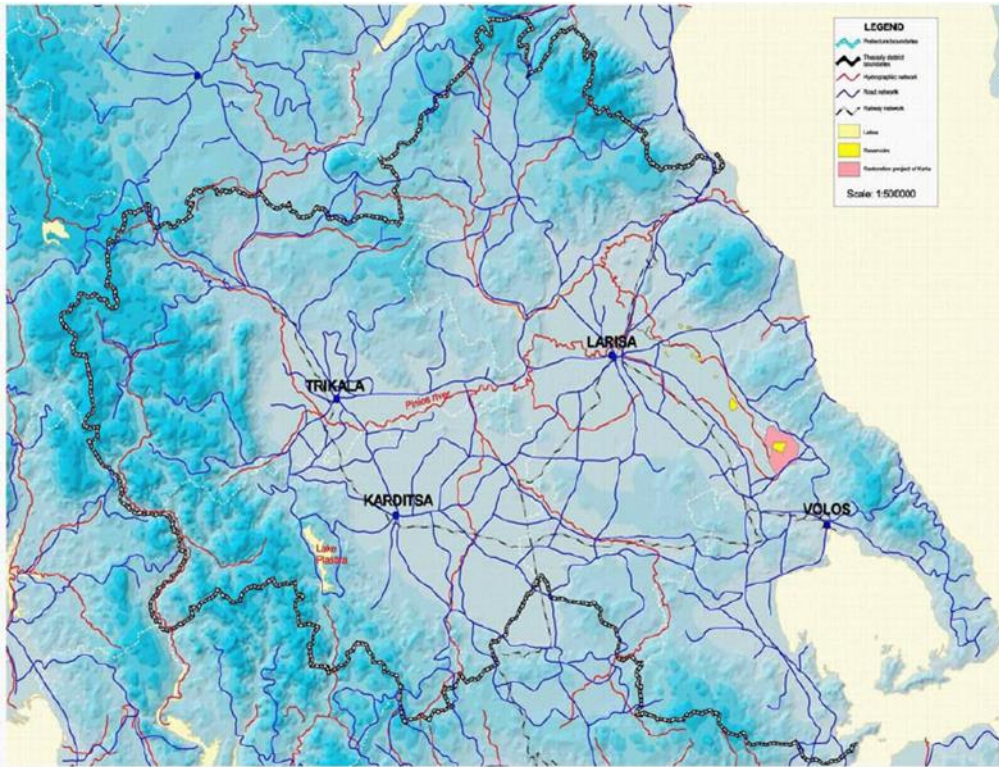
Στους μεταλλικούς σχηματισμούς εντάσσονται αποθέσεις του Νεογενούς, του Πλειστόκαινου και του Ολόκαινου (Κατσιατάσος & Μιγκίρος 1987), με τους Νεογενείς σχηματισμούς, να εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή του Πυργετού και της Αιγάνης. Οι νεογενείς σχηματισμοί, αποτελούνται από μάργες στη βάση τους. Οι μάργες στη συνέχεια μεταβαίνουν σε ψαμμίτες προς τα ανώτερα μέλη και σε κροκαλοπαγή που παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία λιθολογικής σύστασης, με εμφανής τις στρώσεις και στη συνέχεια σε ερυθροχώματα.



**Εικόνα 3:** Υδρολιθολογικός χάρτης ΛΑΠ Πηνειού ποταμού

### 2.3 Υδρογεωλογία

Σύμφωνα με τον Μπέλο (2004) η περιοχή του Πηνειού λόγω κυρίως της καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων που απαντούν στην περιοχή καθώς και της υψηλής διαπερατότητας τόσο των επιφανειακών χαλαρών σχηματισμών του κάμπου όσο και των υπόγειων αδιαπέραστων σχηματισμών στο βάθος του κάμπου της Θεσσαλίας, που δρουν ευνοϊκά, στην αποθήκευση πολύ μεγάλων όγκων υπόγειου νερού, χαρακτηρίζεται από μια πολύ πλούσια υδροφορία υπόγειων αλλά και επιφανειακών υδάτων. Ένας άλλος παράγοντας, που βοηθά την επιφανειακή απορροή, είναι η σύσταση των πετρωμάτων του κρυσταλλικού υποβάθρου. Ο προσχωματικός υδροφορέας, εμπλουτίζεται από τα νερά της βροχής και από την πλευρική τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα. Οι προσχηματικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν αλλουβιακές αποθέσεις και τους πλευρικούς κώνους κορημάτων που δημιουργήθηκαν στις παρυφές των πεδινών περιοχών και στην έξοδο των ποταμών σε αυτό. Η συμβολή των ποταμών Πηνειού και Τιταρήσιου, στην τροφοδοσία της λεκάνης είναι σημαντική, ενώ τα πετρώματα του κρυσταλλικού υποβάθρου με επιφανειακή απορροή συμβάλλουν σε μικρότερο ποσοστό. Στην περιοχή αυτών των σχηματισμών, συναντάμε τις περισσότερες γεωτρήσεις για άρδευση αφού η κύρια υδροφορία της Θεσσαλικής πεδιάδας αναπτύσσεται εκεί.



**Εικόνα 4:** Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (Tsouni et al. 2003)

Η υδρολογία της Θεσσαλίας αποτελείται κυρίως από τις επιφανειακές απορροές του υδρογραφικού δικτύου, με τον Πηνειό και τους παραποτάμους του να αποτελεί τον κύριο αποδέκτη. Η τροφοδοσία στη δυτική Θεσσαλία κατανέμεται ομοιόμορφα, και το υδρογραφικό της δίκτυο είναι πυκνότερο, εξαιτίας και των εντονότερων βροχοπτώσεων. Στην περιοχή δε του Τυρνάβου ο ποταμός Τιταρήσιος αποτελεί τον κύριο επιφανειακό αποδέκτη. Ο Τιταρήσιος πηγάζει από τις πλαγιές του Ολύμπου (δυτικές) και τις πλαγιές των Καμβουνίων όρων (ανατολικές) και διαρρέει την επαρχία Τυρνάβου και Ελασσόνας και χύνεται στην περιοχή της κοινότητας Ροδιάς, στον Πηνειό ποταμό. Ο Τιταρήσιος έχει σχηματιστεί από την συμβολή πολλών ορεινών χειμάρρων και μικρών ρεμάτων κυριότερα από τα οποία είναι ο ποταμός Ελασσωνίτικος, Ξεριάς, Σαραντάπορος και τα ρέματα Βουλγάρα, Ποταμιά και Παλιομάντανο (Γκόφας 1996).



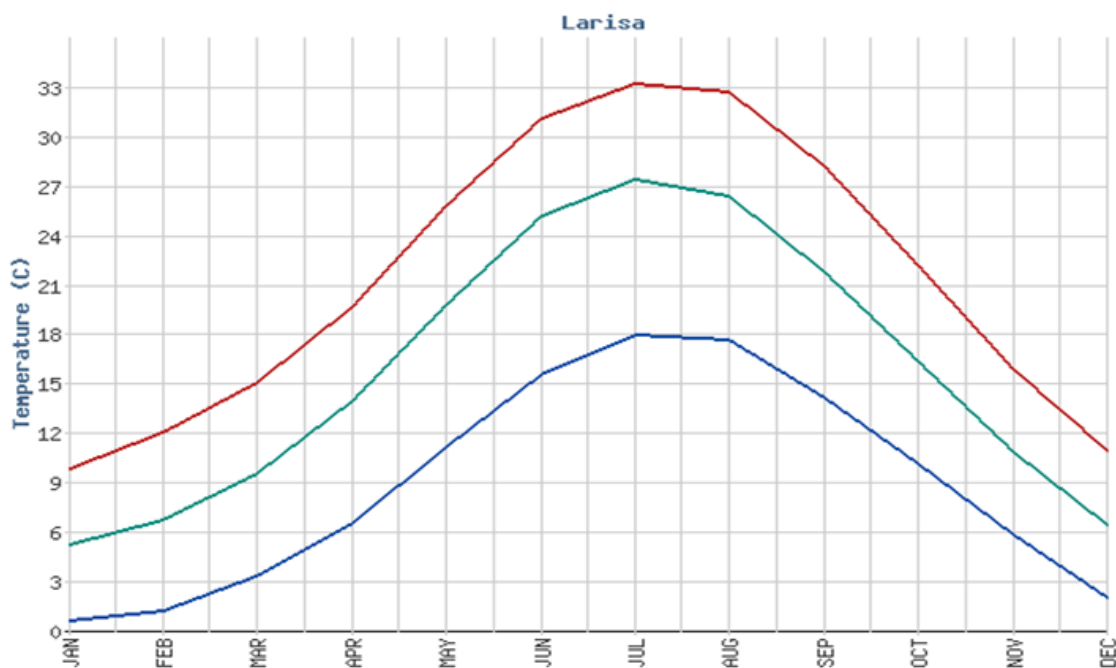
## 2.4 Μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία

Για τον προσδιορισμό του κλίματος ενός τόπου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα μετεωρολογικά του στοιχεία (τη διακύμανση της θερμοκρασίας, την ποσότητα και την κατανομή των βροχοπτώσεων, την ηλιοφάνεια, τους άνεμους, την υγρασία και την εξάτμιση).

Με βάση τον τύπο κλίματος, το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας διαιρείται, σε τρεις περιοχές. Οι περιοχές αυτές είναι: η κεντρική πεδινή, η οποία χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικό κλίμα, η ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα και τέλος η δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα (YBET 1996).

Ειδικότερα το κλίμα της πεδιάδας χαρακτηρίζεται σε γενικές γραμμές εύκρατο με ηπειρωτικές περιόδους. Ο χειμώνας είναι ήπιος θερμοκρασιακά και βροχερός. Τον Οκτώβριο δε, παρατηρείται ύφεση των φαινομένων, η οποία οδηγεί σε ιδιαίτερα αυξημένη υγρασία, ομίχλη και έντονη βροχόπτωση, φαινόμενα που διαρκούν μέχρι τον Απρίλιο. Το καλοκαίρι είναι ξηρό και ιδιαίτερα θερμό αφού παρατηρείται απουσία βαροβαθμίδας που εντείνει την ξηρασία εξαιτίας της ομοιόμορφης κατανομής της πίεσης η οποία ευθύνεται και για τις αυξημένες θερμοκρασίες της περιοχής.

### 2.4.1 Θερμοκρασία



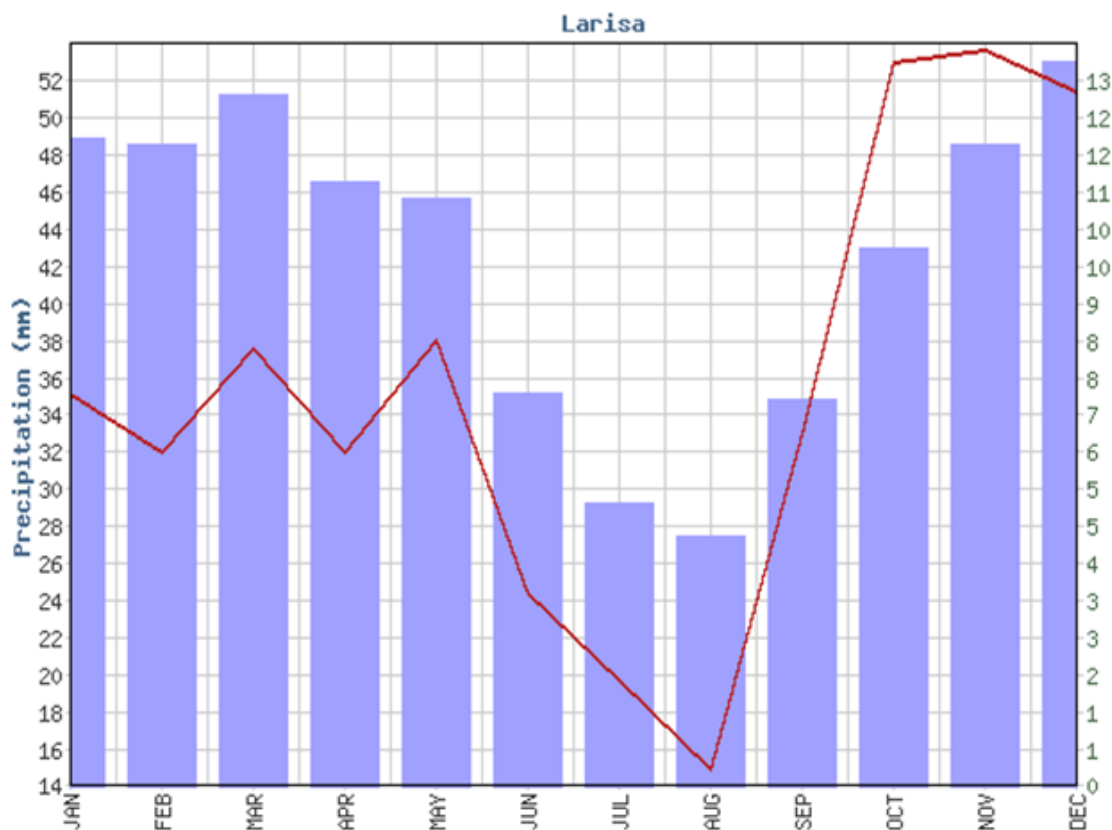
**Εικόνα 5:** Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας (μετεωρολογικός σταθμός Λάρισας)

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16°C και 17°C, με το ετήσιο θερμομετρικό εύρος να ξεπερνά τους 22°C. Τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο παρατηρούνται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι υψηλότερες, την περίοδο δε Νοεμβρίου - Απριλίου εμφανίζεται παγετός. Σε μέση ετήσια βάση, οι ημέρες παγετού κυμαίνονται από 35,5 στη Λάρισα και 33,8 στα Τρίκαλα.

**2.4.2 Βροχόπτωση-Υετός**

Σε κάθε περιοχή οι μηνιαίες βροχοπτώσεις μεταβάλλονται σταθερά σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις γεγονός που αποδίδεται σε ποικίλους μετεωρολογικούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η επικράτηση των ανέμων, η απόσταση από την θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο, τους υγρούς μήνες, όταν το ύψος των βροχοπτώσεων είναι πολύ μεγάλο. Πιο ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ στο διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου και Ιανουαρίου παρατηρούνται οι περισσότερες βροχοπτώσεις.

Σε ολόκληρη τη Θεσσαλία η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 700 mm. Η κατανομή των βροχοπτώσεων δεν είναι ομοιόμορφη χωρικά και χρονικά. Για παράδειγμα, η μέση ετήσια βροχόπτωση στο κεντρικό τμήμα της Θεσσαλίας είναι περίπου 400 mm, ενώ στις δυτικές ορεινές περιοχές ξεπερνά τα 1850 mm.

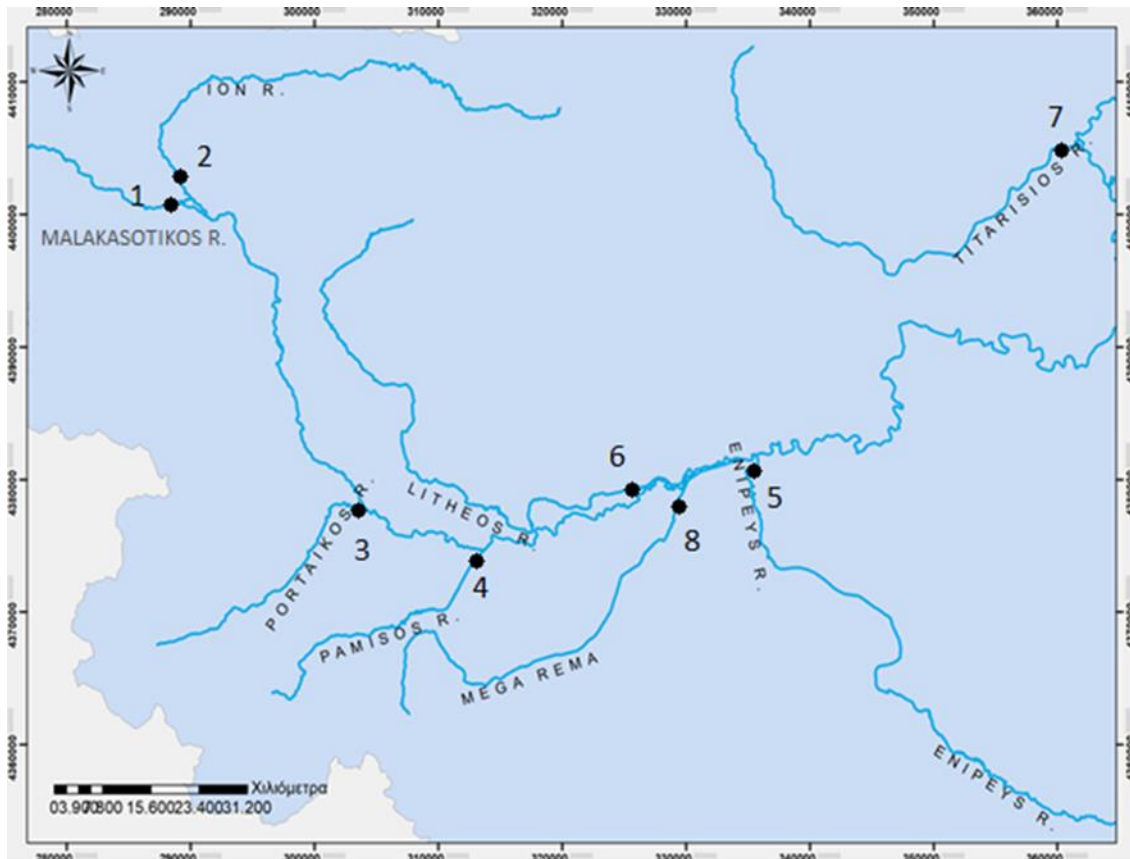


**Εικόνα 6:** Μέσες μηνιαίες αθροιστικές τιμές βροχόπτωσης (μετεωρολογικός σταθμός Λάρισας)

## 2.5 Υλικά και μέθοδοι

### 2.5.1 Δειγματοληψίες νερού

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2020. Επιλέχθηκαν οκτώ δειγματοληπτικοί σταθμοί κατά μήκος των κύριων παραποτάμων του ποταμού Πηνειού (Εικόνα 7). Στα δείγματα που συλλέχθηκαν προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα με απώτερο σκοπό τη διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης εικόνας, όσον αφορά την κατάσταση που επικρατεί στα ύδατα των παραποτάμων.



**Εικόνα 7:** Χάρτης της περιοχής μελέτης όπου σημειώνονται τα σημεία δειγματοληψίας

Αρχικά τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές φιάλες χωρητικότητας ενός λίτρου (1 L). Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά τη συλλογή των δειγμάτων στην αποφυγή λήψης οργανικής ύλης (υλικά φυτικής προέλευσης, έντομα, κ.α.). Αμέσως μετά τη συλλογή, για την αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών κατά τη μεταφορά των δειγμάτων και μέχρι την ανάλυσή τους στο εργαστήριο, προστέθηκαν σε κάθε φιάλη, 3 mL διαλύματος νιτρικού οξέος ( $\text{HNO}_3$ ) 1:1 σε  $\text{pH} < 2$ . Η παρουσία μικροοργανισμών περιορίζει την απορρόφηση και καθίζηση των ιχνοστοιχείων που απαντούν στο νερό. Στα διάφορα σημεία δειγματοληψίας λήφθηκαν συντεταγμένες με τη χρήση GPS χειρός προκειμένου να αποτυπωθούν χαρτογραφικά. Οι σταθμοί δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον πίνακα (Πίνακας 1).

Σε όλες τις δειγματοληψίες μετρήθηκαν in situ οι φυσικοχημικές παράμετροι του νερού, όπως είναι: το pH, η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα και τα ολικά διαλυμένα στερεά (Πίνακας 2).

**Πίνακας 1:** Σταθμοί δειγματοληψίας

Σταθμοί Δειγματοληψίας	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος
Μαλακασώτικος	39,736364°N	21,545580°E
Ίων	39,739369°N	21,547813°E
Πορταϊκός	39,527392°N	21,723558°E
Πάμισος	39,501625°N	21,831977°E
Ενιπέας	39,34268°N	22,53569°E
Ληθαίος	39,515599°N	21,782658°E
Τιταρήσιος	39,791909°N	22,385263°E
Μεγάλο Ρέμα	39,570164°N	22,069343°E

**Πίνακας 2:** Τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων νερού στα σημεία δειγματοληψίας των παραποτάμων του Πηνειού.

Σταθμοί Δειγματοληψίας	Θερμοκρασία (°C)	pH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	Ολικά Διαλυμένα Στερεά (mg/L)
Μαλακασώτικος	22,1	8,1	520	420
Ίων	22,4	7,8	360	290
Πορταϊκός	20,1	7,6	500	410
Πάμισος	21,4	7,1	590	500
Ενιπέας	22,3	7,9	590	470
Ληθαίος	20,3	7,8	650	530
Τιταρήσιος	22,3	7,9	480	410
Μεγάλο Ρέμα	24,9	8,1	800	640

### 2.5.2 Προκατεργασία των δειγμάτων

Τα δείγματα πριν τη χημική ανάλυση διηθούνται με τη βοήθεια φίλτρου οπής 0,45 μm

και τοποθετούνται ανάλογα με την παράμετρο που προσδιορίζεται σε δοχείο διαφορετικού όγκου.

Ο τελικός αναλυτικός προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων στα δείγματα νερού γίνεται με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectrometry, AAS) είτε με χρήση φλόγας είτε σε φούρνο γραφίτη (Graphite Furnace AAS, GFAAS), ανάλογα με τα επίπεδα συγκεντρώσεων των υπό μέτρηση μετάλλων.

### **2.5.2.1 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με χρήση φλόγας (FAAS)**

Η ατομική φασματοσκοπία στηρίζεται στην αλληλεπίδραση των ατόμων της ύλης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και βασίζεται στην ατομοποίηση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες του δείγματος. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ατόμων γίνεται με μέτρηση είτε της εκπομπής, είτε της απορρόφησης, είτε του φθορισμού στο χαρακτηριστικό μήκος κύματος κάθε στοιχείου.



**Εικόνα 8:** Ατομική απορρόφηση με φλόγα (FAAS).

Η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS) συγκεκριμένα, βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ορισμένου μήκους κύματος από τα άτομα, ιόντα ή μόρια των στοιχείων του δείγματος. Έχει πολλές εφαρμογές (πετροχημεία, μεταλλουργία, γεωλογία, περιβαλλοντική χημική ανάλυση, έλεγχος τροφίμων, ανάλυση βιομηχανικών προϊόντων), αφού αποτελεί μια εύχρηστη τεχνική

με την οποία μπορούμε να προσδιορίσουμε στοιχεία σε μεγάλη ποικιλία δειγμάτων ακόμη κι αν βρίσκονται πολύ μικρές συγκεντρώσεις σε αυτό.

Ένα φασματοόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από μια πηγή ακτινοβολίας έναν χώρο στον οποίο τοποθετείται το δείγμα (είναι η κυψελίδα του ατομοποιητή η οποία περιέχει το ατομοποιημένο αέριο δείγμα), έναν επιλογέα μήκους κύματος, έναν ανιχνευτή και έναν επεξεργαστή σήματος με μονάδα αναγνώρισης.

Η πηγή εκπέμπει ακτινοβολία με σταθερή ένταση. Η ακτινοβολία που είναι χαρακτηριστική του μετάλλου που ανιχνεύεται, διέρχεται από φλόγα όπου υφίσταται απορρόφηση, η οποία είναι ανάλογη του αριθμού των ατόμων του μετάλλου. Για να συμβεί αυτό το προς ανάλυση δείγμα αναρροφάται και εισάγεται με τη μορφή διαλύματος στη φλόγα, όπου εξατμίζεται ο διαλύτης και τα ιόντα ατομοποιούνται. Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου γίνεται συνήθως με φλόγα ή σε φούρνο με γραφίτη. Η θερμοκρασία της φλόγας εξαρτάται και από το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται αλλά και του οξειδωτικού και ο συνδυασμός που χρησιμοποιείται συχνότερα, είναι ακετυλένιο και αέρας, ώστε να επιτυγχάνεται θερμοκρασία μέχρι 2550 °C. Η εισαγωγή του δείγματος στη φλόγα πρέπει να γίνεται με σταθερό και ομοιόμορφο τρόπο. Η απορρόφησή των ατόμων του στοιχείου καταγράφεται με τη βοήθεια του συστήματος μονοχρωμάτορα και ανιχνευτή και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του στοιχείου που προσδιορίζουμε.

#### **2.5.2.2 Ατομική απορρόφηση σε φούρνο γραφίτη (Graphite Furnace AAS, GFAAS)**

Η τεχνική της ατομικής απορρόφησης σε φούρνο γραφίτη, αποτελεί μετεξέλιξη της φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με χρήση φλόγας. Εδώ το δείγμα τοποθετείται στο φούρνο με τη βοήθεια αυτόματου δειγματολήπτη. Με τη θέρμανση στο φούρνο γίνεται διαχωρισμός του προς ανάλυση στοιχείου από τα υπόλοιπα. Ο προσδιορισμός του

περιεχομένου του φούρνου εξασφαλίζεται από τη δέσμη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που περνά μέσα από τον αυτόν.



**Εικόνα 9:** Ατομική απορρόφηση με φούρνο γραφίτη (Graphite Furnace AAS, GFAAS)

Η μέθοδος περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: το στάδιο ξήρανσης, το στάδιο πυρόλυσης, το στάδιο ατομοποίησης και το στάδιο καθαρισμού. Συγκεκριμένα στο στάδιο ξήρανσης το δείγμα τοποθετείται στο φούρνο γραφίτη όπου επικρατούν θερμοκρασίες 100 – 120 °C για να απομακρυνθεί ο διαλύτης. Η διαδικασία της ξήρανσης πρέπει να γίνει αργά και να είναι ομοιόμορφη, για να έχουμε εκτίναξη του δείγματος εκτός του φούρνου. Ακολουθεί το στάδιο της πυρόλυσης όπου τα ανόργανα και οργανικά συστατικά του δείγματος εξαερώνονται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται διαχωρισμός του στοιχείου που θέλουμε να προσδιορίσουμε από τα υπόλοιπα συστατικά του δείγματος. Για να μην απομακρυνθούν τα στοιχεία που θέλουμε να προσδιορίσουμε το στάδιο αυτό δεν πραγματοποιείται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (η θερμοκρασία που εφαρμόζεται εξαρτάται από την πτητικότητα του στοιχείου που ανιχνεύεται) και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στο στάδιο της ατομοποίησης έχουμε παραγωγή των ατόμων του προσδιοριζόμενου στοιχείου με την μορφή ατμού, έτσι ώστε να



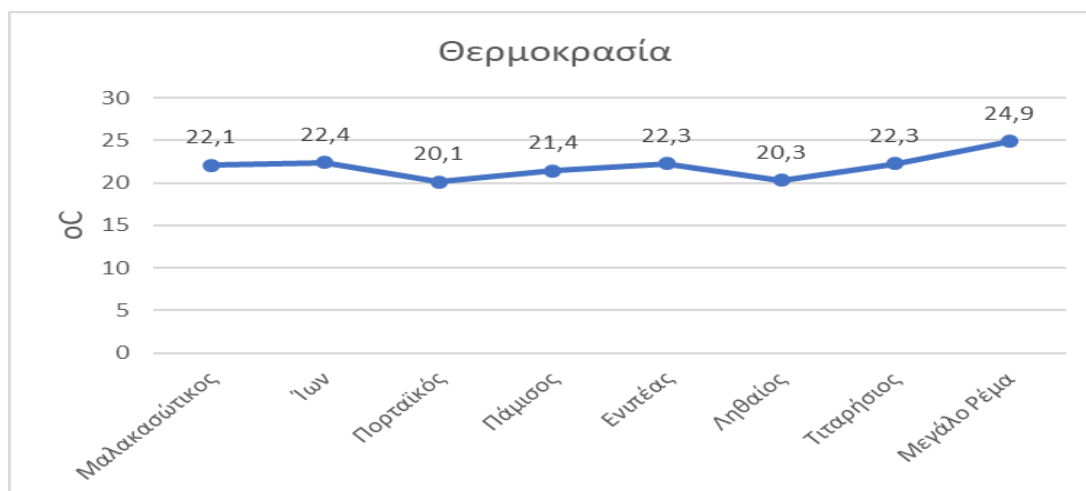
επιτευχθεί η ατομική απορρόφηση. Η θερμοκρασία αυξάνει προοδευτικά (χωρίς να ξεπερνά κάποια όρια της διάχυσης ή της διαστολής του αερίου, που θα οδηγούσαν σε απώλεια ατόμων) μέχρις ότου τα εξαερούμενα στοιχεία να διασπαστούν. Στο τελευταίο στάδιο αυτό του καθαρισμού αυξάνεται η θερμοκρασία του φούρνου στο μέγιστο και ταυτόχρονα διοχετεύεται το προστατευτικό αέριο ώστε να απομακρυνθούν τα εναπομείναντα σωματίδια. Το στάδιο αυτό συνήθως ακολουθείται από ένα στάδιο ψύξης σε θερμοκρασία.

### 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο πίνακα (Πίνακα 2) παρουσιάζονται οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν. Στον πίνακα αυτό έχουν συμπεριληφθεί και οι παραμετρικές τιμές (Οδηγία 98/83 της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Οι παραμετρικές τιμές μας βοηθούν να εκτιμήσουμε το ρίσκο του πόσιμου νερού αλλά και τα υπερβαίνοντα βάση των κριτηρίων χαρακτηρισμού, ποσοστά υπόγειων υδάτων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων. Σε αντίστοιχες μελέτες (Τέου 2014) διερευνήθηκε η ρύπανση του Πηνειού ποταμού από βαρέα μέταλλα κατά μήκος του κατώτερου ρου του ποταμού όπως επίσης και στην περιοχή εκβολής του.

#### 3.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

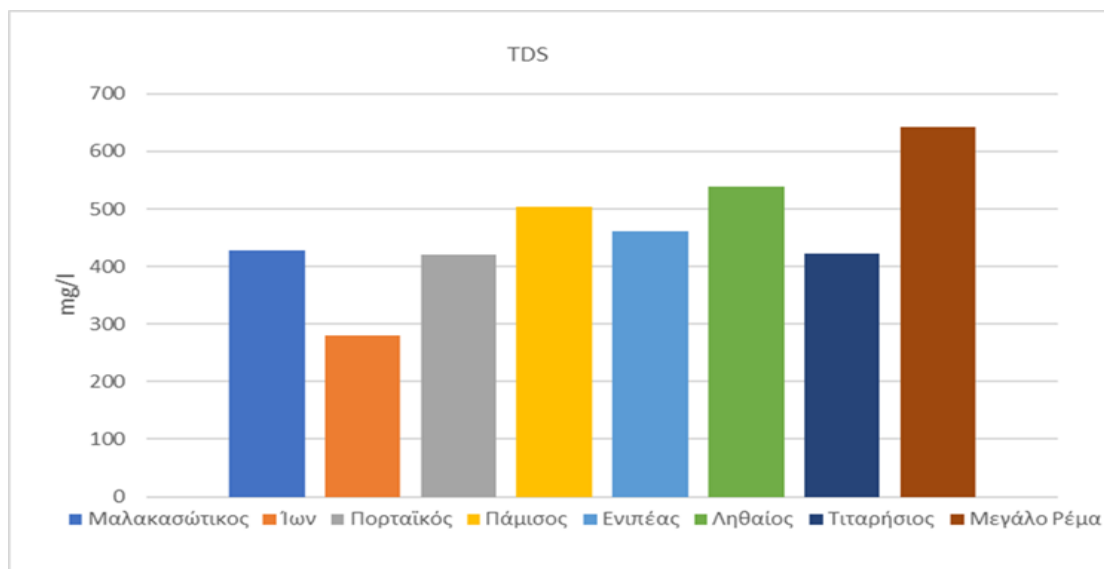
##### 3.1.1 Θερμοκρασία



Σχήμα 1: Θερμοκρασία νερού των ποταμών

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 1) παρουσιάζεται η θερμοκρασία νερού των ποταμών. Από το Σχήμα προκύπτει ότι το Μεγάλο Ρέμα παρουσίασε υψηλότερη θερμοκρασία νερού (24,9 °C) ενώ ο Πορταϊκός την χαμηλότερη (20,1 °C).

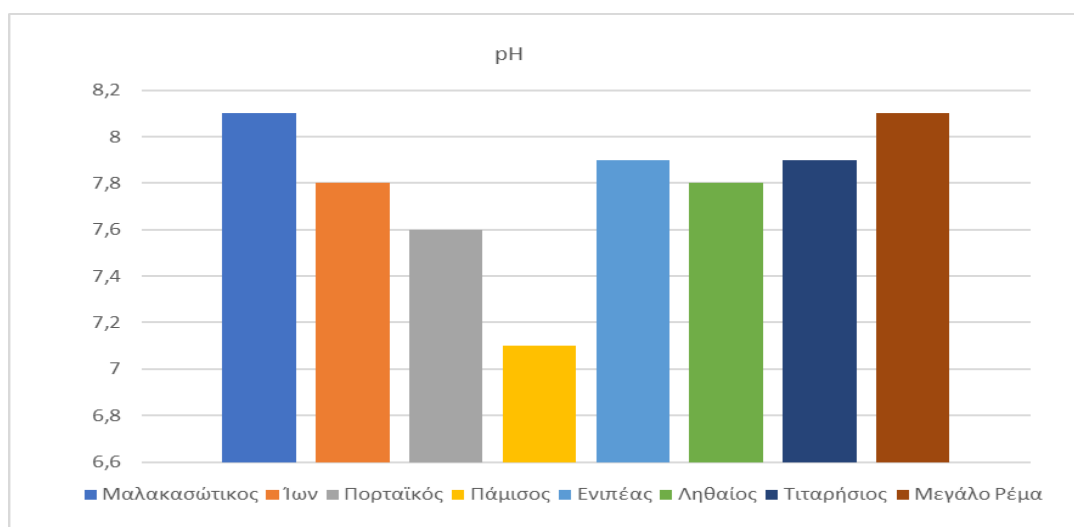
### 3.1.2 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)



**Σχήμα 1:** Ραβδόγραμμα συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών

Σύμφωνα με το Σχήμα 2 ο παραπόταμος με τη υψηλότερη συγκέντρωση ολικά διαλυμένων στερεών είναι το Μεγάλο Ρέμα με συγκέντρωση μεγαλύτερη των 600 mg/L ενώ την χαμηλότερη παρουσίασε ο Ίων ποταμός.

### 3.1.3 Οξύτητα (pH)

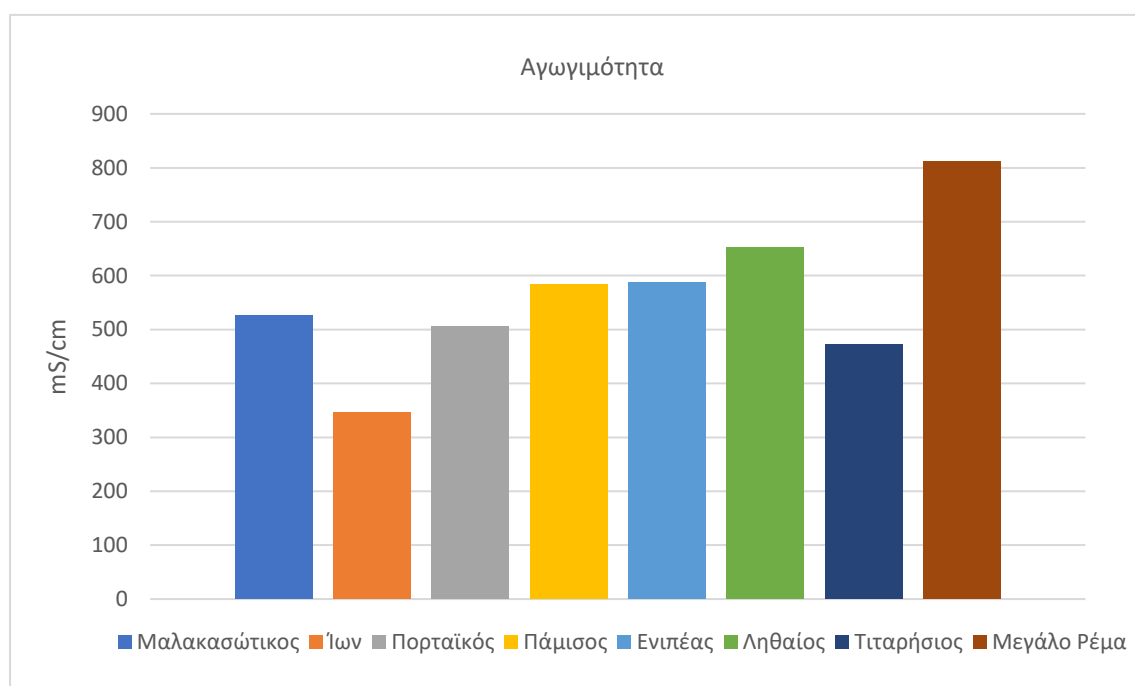


**Σχήμα 2:** Τιμές οξύτητας (pH) στο νερό των ποταμών

Ο Μαλακασώτικος παρουσίασε την υψηλότερη τιμή οξύτητας ( $\text{pH} > 8$ ) το οποίο σημαίνει ότι το νερό του είναι βασικό ενώ την χαμηλότερη τιμή ( $\text{pH}$  κοντά στο 7) παρουσίασε ο Πάμισος.

### 3.1.4 Αγωγιμότητα

Σύμφωνα με το Σχήμα 4 την υψηλότερη τιμή αγωγιμότητας παρουσίασε το Μεγάλο Ρέμα ενώ τη χαμηλότερη ο Ίων. Υψηλή αγωγιμότητα νερού συνεπάγεται υψηλή συγκέντρωση κατιόντων-ανιόντων. Όσον αφορά την αγωγιμότητα, σύμφωνα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, η ανώτερη επιτρεπτή τιμή της αγωγιμότητας είναι  $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ ενδεικτική τιμή είναι τα  $400\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Σχήμα 3: Τιμές αγωγιμότητας

## 3.2 Βαρέα μέταλλα

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στους παραποτάμους του Πηνειού ποταμού.

### 3.2.1 Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος στα διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζει διαφοροποιήσεις. Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 5) παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του σιδήρου (Fe)

στους παραπόταμους του Πηνειού. Συγκεκριμένα, στον Μαλακασώτικο ποταμό εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις 14 µg/L, στον Ίων ποταμό 19 µg/L, στο Πορταϊκό 35 µg/L, κοντινή συγκέντρωση εντοπίστηκε και στην δειγματοληψία του Πάμισου 37 µg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση εντοπίστηκε στο Ληθαίο ποταμό η οποία ανέρχεται στα 67 µg/L και ακολουθεί ο Εννιπέας με 51 µg/L.

**Πίνακας 3:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων από σημεία δειγματοληψίας παραποτάμων του Πηνειού (µg/L)

	Fe	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd	Co	Zn	As	Hg
<i>Ανώτατα αποδεκτά όρια (Οδηγία 98/83)</i>	<b>200</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>-</b>	<b>300</b>	<b>10</b>	<b>0,5</b>

*Σημεία*

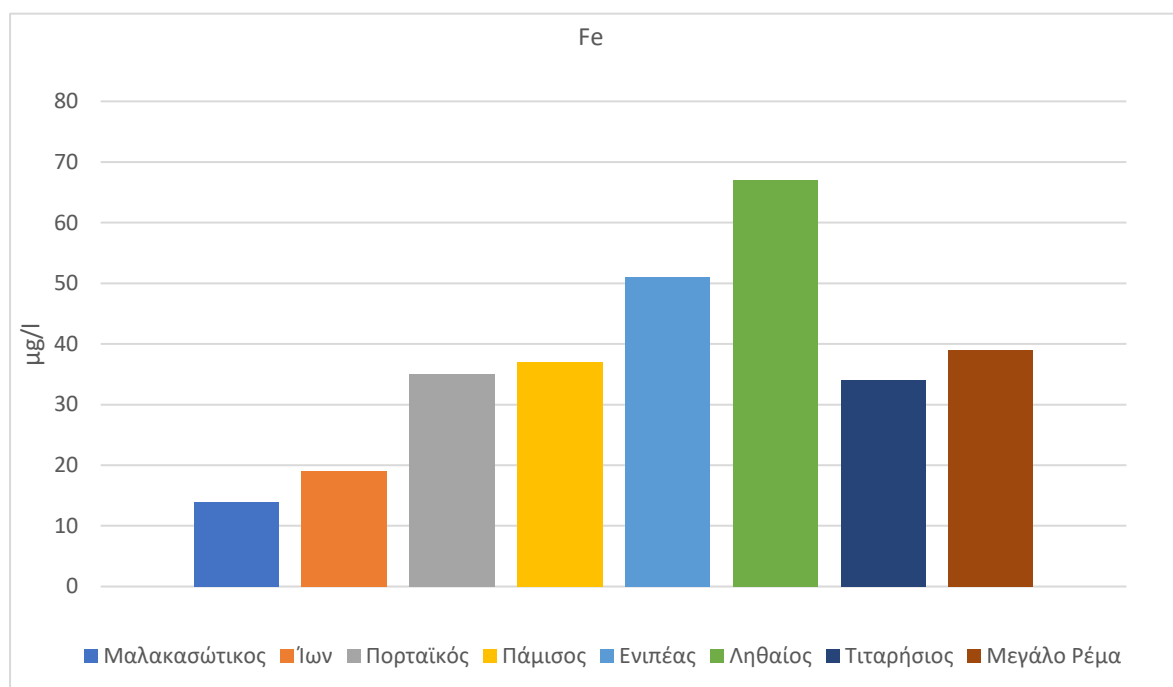
*δειγματοληψίας*

1.Μαλακασώτικος	14	11	2.5	4	10	2	0.5	1.3	3.5	0.003	nd
2.Ίων	19	15	3.3	6	7	0.7	0.7	2.1	4.3	0.004	nd
3.Πορταϊκός	35	23	5.2	7	13	0.5	0.9	3.5	5.4	0.010	nd
4.Πάμισος	37	21	6.44	9	15	2	0.3	4.6	3.8	0.006	nd
5.Εννιπέας	51	19	7.04	16	17	4	0.7	10.5	6.5	0.018	nd
6.Ληθαίος	67	16	5.3	11	12	3.5	0.5	8	8	0.020	nd
7.Τιταρήσιος	34	18	4.6	4	6	4	0.3	6.3	11	0.007	nd
8.Μεγάλο Ρέμα	39	22	9	12	14	6	0.8	9	9	0.028	nd

Οι τιμές στα σημεία δειγματοληψίας δεν υπερβαίνουν το όριο των 200 µg/L που έχει οριστεί ως παραμετρική τιμή από την Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με την συγκέντρωση εντοπίστηκε και στην δειγματοληψία του Πάμισου 37 µg/L. Η υψηλότερη συγκέντρωση εντοπίστηκε στο Ληθαίο ποταμό η οποία ανέρχεται στα 67 µg/L και ακολουθεί στους παραπόταμους του

Πηνειού. Συγκεκριμένα, στον Μαλακασώτικο ποταμό εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις 14 µg/L, στον Ίων ποταμό 19 µg/L, στο Πορταϊκό 35 µg/L, κοντινή

Ο σίδηρος αποτελεί απαραίτητο χημικό στοιχείο για τον άνθρωπο, αφού συμμετέχει σε πληθώρα μεταβολικών διεργασιών. Η ελάχιστη ημερήσια δόση καθορίζεται από παράγοντες, όπως η ηλικία, το φύλο και την κατάσταση της υγείας του ανθρώπου, γενικότερα και κυμαίνεται από 7 έως 14 mg. Δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια γνωστή επίπτωση του σιδήρου, στην υγεία του ανθρώπου, ενώ η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων του στο νερό που προορίζεται για κατανάλωση δεν είναι ανεπιθύμητη κυρίως για λόγους αισθητικής, αφού σε τιμές  $pH \geq 7$ , παίρνει τη μορφή ενός καφετιού ιζήματος.



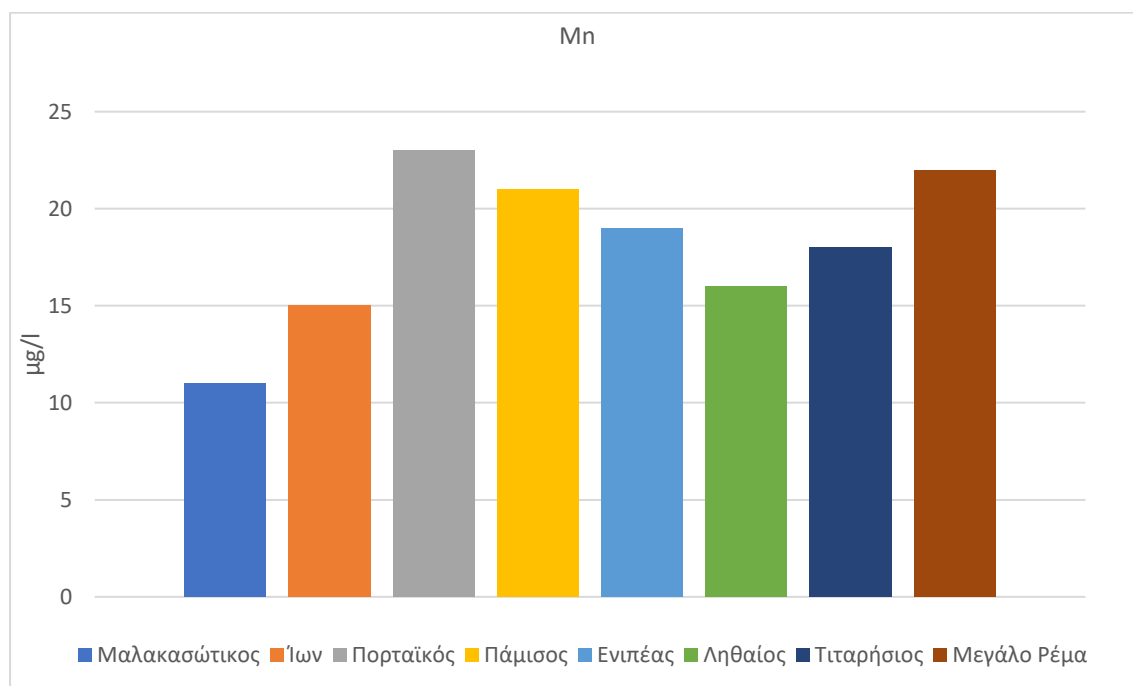
**Σχήμα 4:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων σιδήρου (Fe)

Ο σίδηρος απαντά με δύο μορφές στο πόσιμο νερό (δισθενής και τρισθενής) με τον τρισθενή να επικρατεί συνήθως. Το νερό παρουσία δισθενή σιδήρου σε συγκεντρώσεις 100 - 200 µg/L αποκτά μία δυσάρεστη μεταλλική γεύση, η οποία γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο. Συγκέντρωση δε σιδήρου στο πόσιμο νερό γύρω στα 300 µg/L δεν είναι αποδεκτή από τους περισσότερους ανθρώπους (Σκληβανιώτης, 2015). Σε αντίστοιχη έρευνα της Τέου

(2014) σε σημεία δειγματοληψίας στον Πηνειό ο σίδηρος κυμάνθηκε σε ένα εύρος από 1.8-3.8  $\mu\text{g/L}$ .

### 3.2.2 Μαγγάνιο (Mn)

Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στις δειγματοληψίες κυμάνθηκαν μεταξύ 11 και 23  $\mu\text{g/L}$ . Η Οδηγία 98/83 της ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζει σαν παραμετρική τιμή τα 50  $\mu\text{g/L}$ . Σύμφωνα με το Σχήμα 6 η υψηλότερη τιμή εμφανίζεται στον Πορταϊκό (23  $\mu\text{g/L}$ ) και ακολουθεί ο Πάμισος με συγκέντρωση 21  $\mu\text{g/L}$ . Αντίστοιχα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στον Μαλακασώτικο και στον Ίων. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεν παρατηρείται υπέρβαση του ορίου στα σημεία δειγματοληψίας.



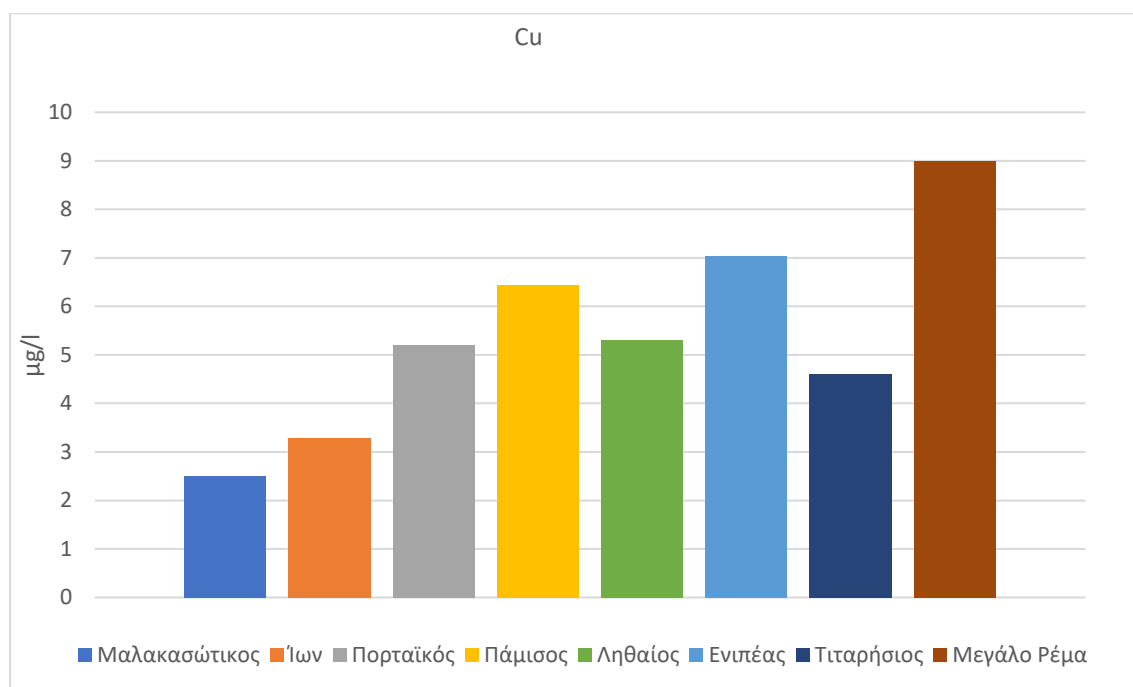
**Σχήμα 5:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μαγγανίου (Mn)

Η παρουσία μαγγανίου στο πόσιμο νερό δεν έχει συσχετιστεί με καρκινογόνο δράση. Υψηλές δε συγκεντρώσεις του στο νερό δεν φαίνεται να επιδρούν αρνητικά στην υγεία του ανθρώπου. Ωστόσο υπάρχουν αναφορές σύμφωνα με τις οποίες άτομα τα οποία έρχονται σε επαφή με αυξημένα επίπεδα μαγγανίου εμφανίζουν προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος (Σκληβανιώτης 2015). Οι συγκεντρώσεις

διαλυτού μαγγανίου που προσδιόρισε η Τέου (2014) σε 12 σημεία του Πηνειού κυμάνθηκαν σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις της τάξης 0.9-7.3  $\mu\text{g/L}$ .

### 3.2.3. Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός στα σημεία δειγματοληψίας εντοπίζεται σε ένα εύρος τιμών από 2.5  $\mu\text{g/l}$  -9  $\mu\text{g/L}$  (Σχήμα 7). Η χαμηλότερη τιμή εντοπίζεται στον Μαλακασώτικο ενώ η υψηλότερη στο Μεγάλο Ρέμα. Το όριο των 50  $\mu\text{g/L}$  που έχει οριστεί ως ασφαλές σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία δεν υπερβαίνεται. Οι συγκεντρώσεις διαλυτού χαλκού (Cu) στον Πηνειό (Τέου 2014) παρουσίασαν επίσης διακυμάνσεις ανάλογα με τα σημεία δειγματοληψίας και το εύρος τιμών κυμάνθηκε από 0.3-1  $\mu\text{g/L}$ . Αξίζει να σημειωθεί η τάση μείωσης που σημείωσε η συγκέντρωση του χαλκού κατά τον Οκτώβριο 2012 και τον Ιανουάριο 2013.

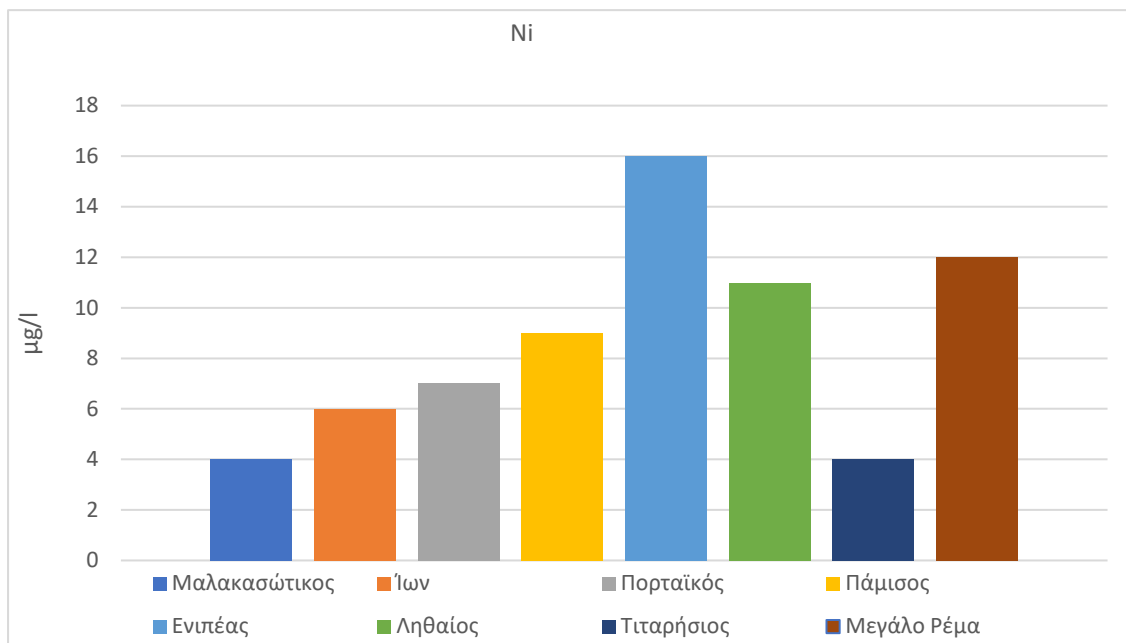


**Σχήμα 6:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χαλκού (Cu)

### 3.2.4 . Νικέλιο (Ni)

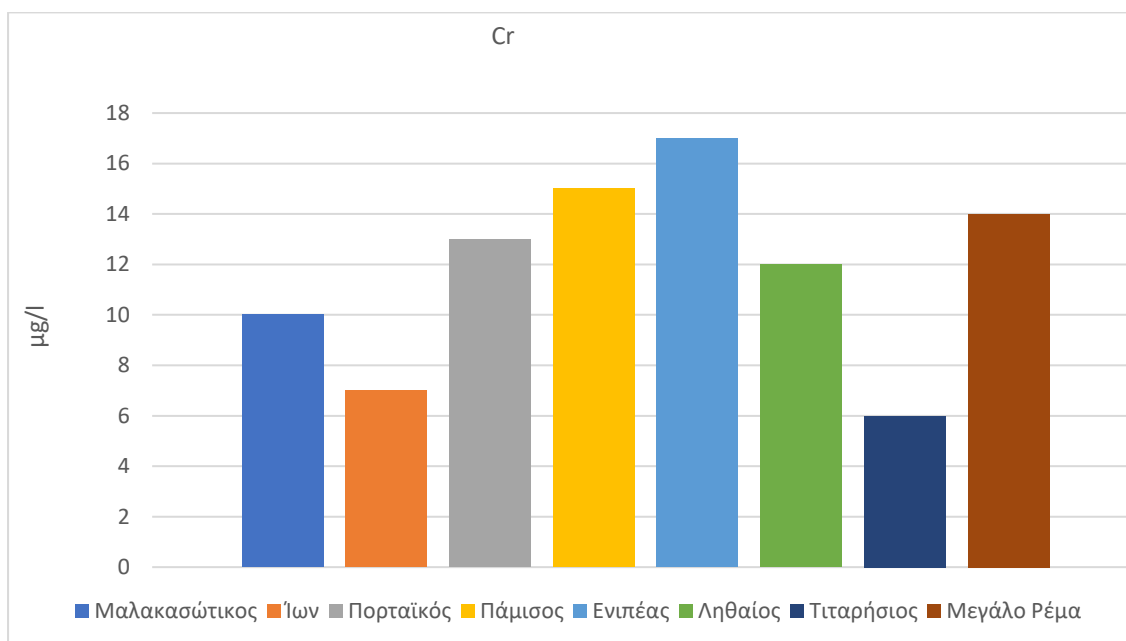
Το νικέλιο εμφάνισε επίσης διαφοροποίηση ως προς τη συγκέντρωση ανάμεσα στα διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας (Σχήμα 8). Το εύρος των συγκεντρώσεων κυμάνθηκε από 4-16  $\mu\text{g/L}$ . Η ελάχιστη τιμή νικελίου εντοπίστηκε στο Μαλακασώτικο (4  $\mu\text{g/L}$ ) ενώ η

υψηλότερη στο Ενιπέα ποταμό (16  $\mu\text{g/L}$ ). Σαν ασφαλές όριο από την κοινοτική οδηγία έχουν οριστεί τα 50  $\mu\text{g/L}$ , το οποίο δεν υπερβαίνεται. Η τάξη μεγέθους των συγκεντρώσεων νικελίου που προσδιόρισε η Τέου (2014) ήταν μικρότερη και κυμάνθηκε από 1.0-3.1  $\mu\text{g/L}$ .



Σχήμα 7: Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων νικελίου (Ni)

### 3.2.5 Χρώμιο (Cr)



Σχήμα 8: Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χρωμίου (Cr)

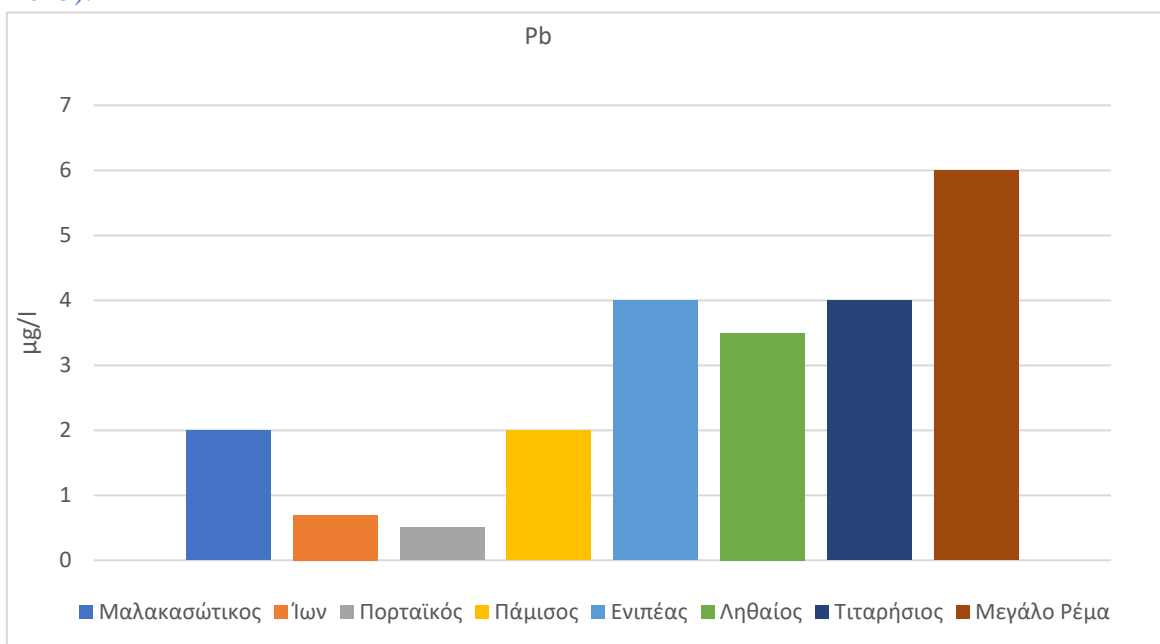
Οι συγκεντρώσεις χρωμίου κατά τις δειγματοληψίες κυμάνθηκαν από 6-17  $\mu\text{g/L}$ . Την χαμηλότερη συγκέντρωση παρουσίασε ο Τιταρήσιος ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση



εντοπίζεται στον Ενιπέα (Σχήμα 9). Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου που μετρήθηκαν, δεν υπερβαίνουν την τιμή των 50  $\mu\text{g/L}$ , που έχει οριστεί ως παραμετρική.

### 3.2.6 Μόλυβδος (Pb)

Οι συγκεντρώσεις μολύβδου στο νερό εντοπίστηκαν σε εύρος τιμών από 0.5-6  $\mu\text{g/L}$ , έτσι δεν ξεπερνούν το όριο των 50  $\mu\text{g/L}$  που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (98/83/EC). Σύμφωνα με το Σχήμα 10 χαμηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στον Πορταϊκό ενώ η υψηλότερη στο Μεγάλο Ρέμα. Σε σημεία δειγματοληψίας στον Πηνειό (Τέου 2014) ο μόλυβδος κυμάνθηκε σε ένα εύρος 0.11-0.25  $\mu\text{g/L}$ . Σε υψηλές συγκεντρώσεις ο μόλυβδος δρα ως δηλητήριο του μεταβολισμού, με τις ανόργανες ενώσεις του, να θεωρούνται ως πιθανά καρκινογόνες για τον άνθρωπο σε αντίθεση με τις οργανικές του ενώσεις (Σκληβανιώτης 2015).

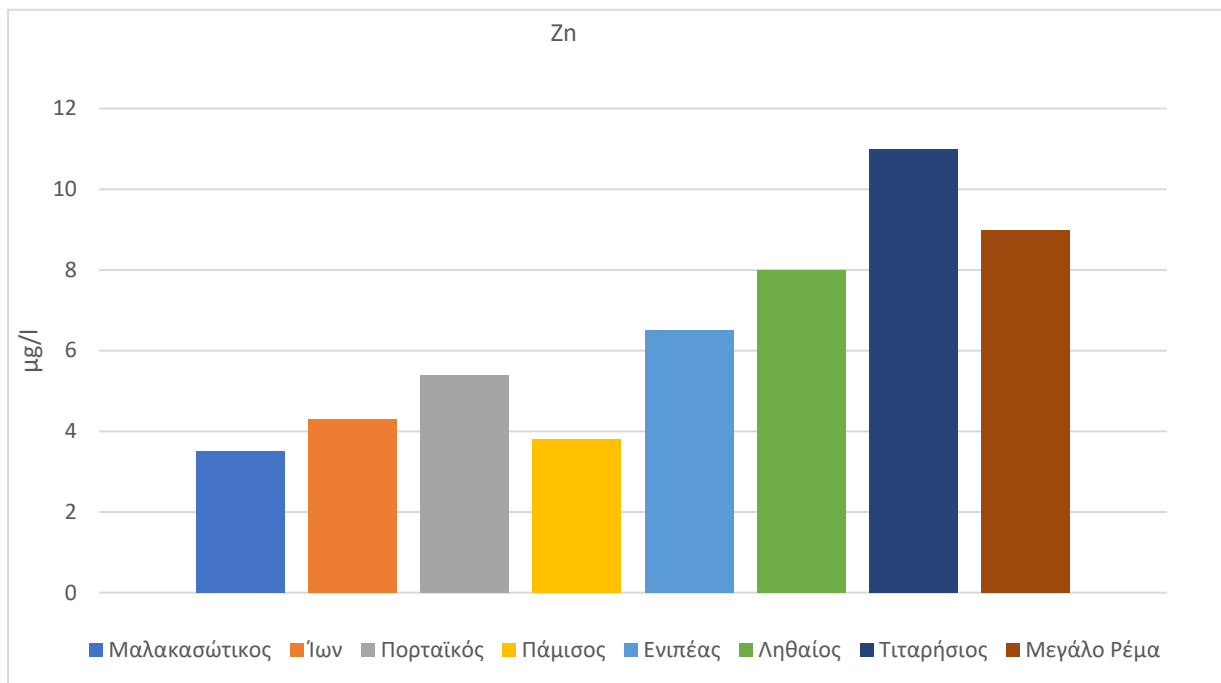


Σχήμα 9: Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου (Pb)

### 3.2.7 Ψευδάργυρος (Zn)

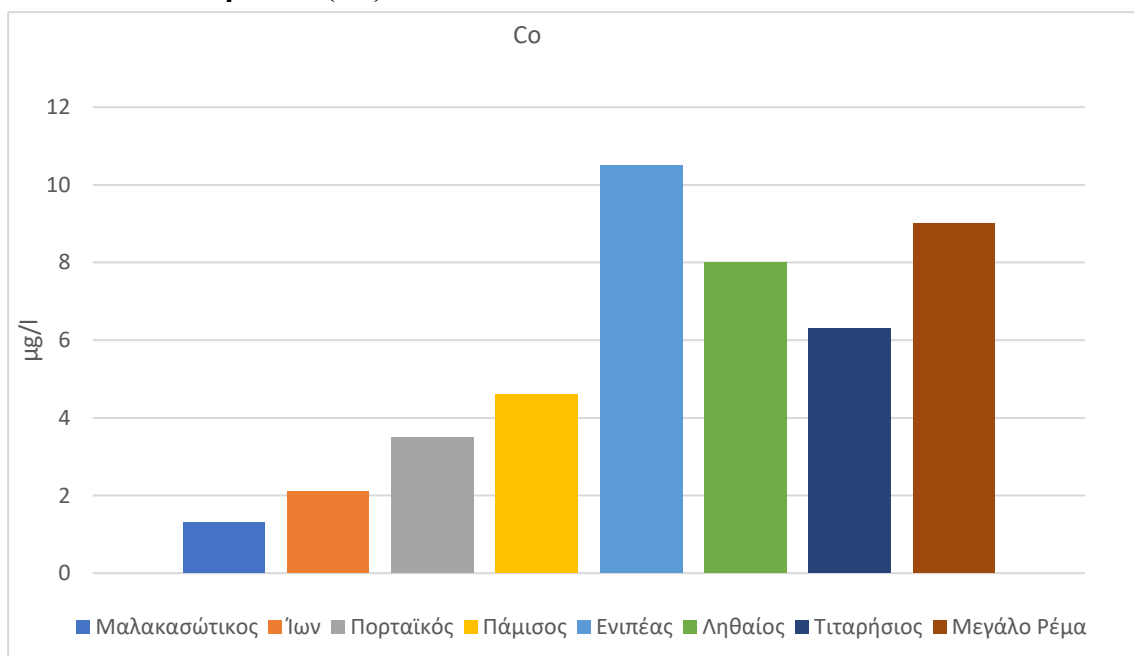
Ο ψευδάργυρος στις δειγματοληψίες εντοπίστηκε σε συγκεντρώσεις 3.5  $\mu\text{g/L}$  έως 11  $\mu\text{g/L}$ . Στον Μαλακασώτικο εντοπίστηκε η χαμηλότερη τιμή ενώ στον Τιταρήσιο η υψηλότερη. Γενικά η συγκέντρωση του ψευδαργύρου, τόσο στο θαλασσινό όσο και στο φυσικό νερό κυμαίνεται 1-10  $\mu\text{g/L}$  (Σκληβανιώτης 2015). Σε κανένα σημείο δειγματοληψίας η

συγκέντρωση δεν υπερέβη την παραμετρική τιμή που είναι 300  $\mu\text{g/L}$ . Αντίθετα με τα σημεία δειγματοληψίας της συγκεκριμένης έρευνας στον Πηνειό (Τέου 2014) οι συγκεντρώσεις που εντοπίστηκαν ήταν υψηλότερες κι ειδικότερα το εύρος τιμών εντοπίστηκε από 9.9-16.5  $\mu\text{g/L}$ .



**Σχήμα 10:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (Zn)

### 3.2.8 Κοβάλτιο (Co)

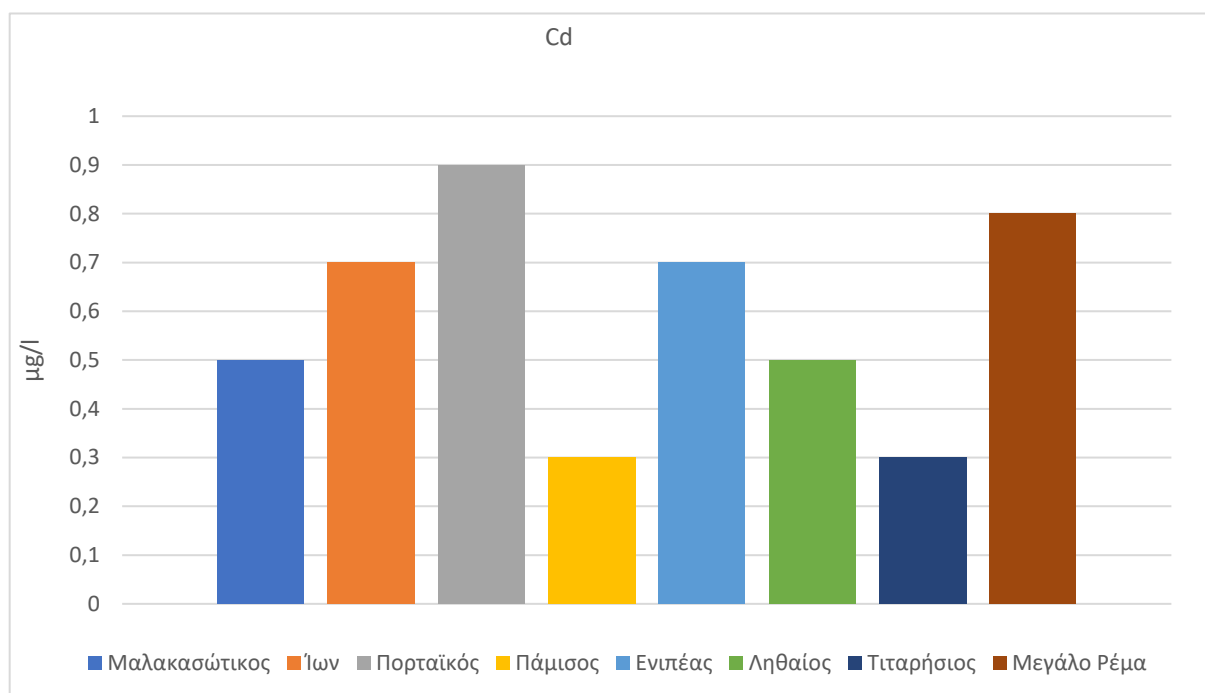


**Σχήμα 11:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων κοβαλτίου (Co)

Το κοβάλτιο ανάμεσα στα σημεία δειγματοληψίας κυμάνθηκε από 1.3-10.5  $\mu\text{g/L}$ . Η ευρωπαϊκή νομοθεσία δεν έχει θεσπίσει όριο ασφαλείας για το κοβάλτιο. Την υψηλότερη συγκέντρωση εμφάνισε ο Ενιπέας ενώ τη χαμηλότερη ο Μαλακασώτικος.

### 3.2.9 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο ανάμεσα στα σημεία δειγματοληψίας παρουσίασε μικρή διαφοροποίηση και κυμάνθηκε από 0.3-0.9  $\mu\text{g/L}$  (Σχήμα 13). Στον Πάμισο εντοπίστηκε η μικρότερη συγκέντρωση ενώ η υψηλότερη στον Πορταϊκό. Οι συγκεντρώσεις που εντοπίστηκαν δεν υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 5  $\mu\text{g/L}$ . Αντίστοιχα στον Πηνεϊό (Τέου 2014) το κάδμιο κυμάνθηκε από 0.03-0.18  $\mu\text{g/L}$ .

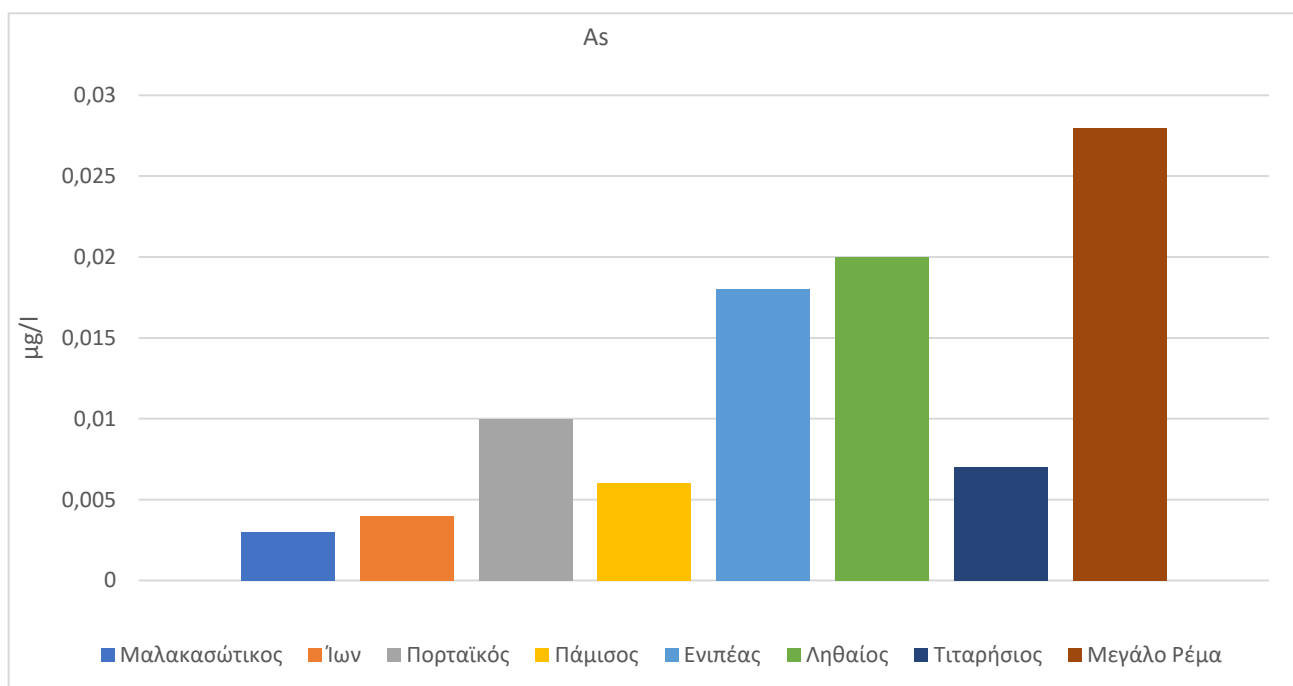


Σχήμα 12:Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων καδμίου (Cd)

### 3.2.10 Αρσενικό (As)

Σύμφωνα με το Σχήμα (Σχήμα 14) την υψηλότερη τιμή παρουσίασε το Μεγάλο ρέμα (0.028  $\text{mg/L}$ ) ενώ τη χαμηλότερη ο Μαλακασώτικος (0.003  $\text{mg/L}$ ). Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις αυτές δεν υπερβαίνουν την παραμετρική τιμή των 10  $\mu\text{g/L}$ .

Το αρσενικό αποτελεί ένα από τα πιο κοινά στοιχεία του στερεού φλοιού της γης και μεταφέρεται στο περιβάλλον μέσω του νερού. Στον άνθρωπο, συμμετέχει σε μια σειρά βιοχημικών διεργασιών. Μελέτες δε έδειξαν ότι σε μικρές δόσεις (12 έως 40  $\mu\text{g}$ ) είναι χρήσιμο ακόμα και απαραίτητο για τον οργανισμό, παρόλα αυτά δεν υπάρχουν ακόμη, επαρκή στοιχεία που να καταδεικνύουν ποια μπορεί να είναι η ελάχιστη συνιστώμενη ποσότητα για τον άνθρωπο. Η έκθεση στο αρσενικό και στις ενώσεις του μπορούν να προκαλέσουν πληθώρα παθήσεων στον άνθρωπο (αναπνευστικές, καρδιακές, οφθαλμολογικές, νευρολογικές, γαστρεντερικές, κ.α.) αφού είναι ισχυρά τοξικό. Η σοβαρότητα δε των επιπτώσεων εξαρτάται τόσο από τη συγκέντρωση όσο και από τη χημική μορφή του αρσενικού, με δόσεις των 1000 έως 2000  $\mu\text{g}$  ανά κιλό βάρους σώματος μπορεί να προκαλέσουν το θάνατο (Σκληβανιώτη 2015).



**Σχήμα 13:** Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων αρσενικού (As)

Η Μπούρα (2015) διερεύνησε την επιβάρυνση του ποταμού Πηνειού από θρεπτικά συστατικά. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διατριβής πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στο νερό των ποταμών, στις πηγές του ποταμού και στο εκβολικό σύστημα όπου

χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, φωσφορικών και νιτρωδών ιόντων προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα του ποτάμιου συστήματος. Ως προς νιτρώδη, αμμωνιακά και νιτρικά ιόντα χαρακτηρίστηκε η ποιότητα του ποταμού χαρακτηρίστηκε συνολικά καλή για την ξηρή περίοδο, ενώ για την υγρή περίοδο χαρακτηρίστηκε μέτρια.

Η Τέου (2014) διερεύνησε την συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Cd, Ni, Al, Pb, Mn, Fe, Zn και Cu) στον Πηνειό ποταμό και παρατήρησε ότι οι συγκεντρώσεις των περισσότερων διαλυτών μετάλλων δεν παρουσίαζαν υπερβάσεις από τα επιτρεπτά νομοθετικά και βιβλιογραφικά όρια, με εξαίρεση τη συγκέντρωση του διαλυτού Cd για το οποίο καταγράφηκαν υψηλές τιμές στον κατώτερο κύριο ρου του ποταμού αλλά και στην περιοχή της εκβολής του. Οι τιμές αυτές θεωρήθηκε ότι είναι αποτέλεσμα των εκτεταμένων γεωργικών, αστικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Επιπροσθέτως, η σωματιδιακή μορφή των μετάλλων υπερτερούσε έναντι της διαλυτής με εξαίρεση τον ψευδάργυρο. και στον κατώτερο κύριο ρου όσο αλλά και στην περιοχή της εκβολής του ποταμού.

### **3.2.11 Υδράργυρος (Hg)**

Υδράργυρος δεν ανιχνεύτηκε σε κανένα από τα δείγματα που συλλέχθηκαν στα σημεία δειγματοληψίας.

## **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

- Οι φυσικοχημικές παράμετροι που καταγράφηκαν εντοπίζονται κάτω από τα όρια που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι παράμετροι όπως η αγωγιμότητα του νερού είναι αντιπροσωπευτικές εικόνες της γεωμορφολογίας των ποταμών που εντοπίζονται κατά τον άξονα τους.
- Οι διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση των ολικών στερεών πιθανόν να οφείλονται στην αγροτική δραστηριότητα η οποία είναι έντονη στην περιοχή μελέτης.

- Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στον νερό είναι αποτέλεσμα τόσο του γεωμορφολογικού υπόβαθρου της περιοχής όσο και της αγροτικής δραστηριότητας.
- Σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ρύπανση των ποταμών μελέτης δεν εμπνέει ανησυχία καθόσον οι τιμές των συγκεντρώσεων βρίσκονται χαμηλότερα από τα όρια που έχουν θεσπιστεί στην ευρωπαϊκή νομοθεσία.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Brunn J. (1956) Contribution a L'Étude Géologique du Pinde Septentrional et D'une Partie de la Macédoine occidentale. *Hellenic Journal of Geosciences*, 7:1-358
2. Duffus, J.H. (2002) Heavy Metal-A Meaningless Term? *Pure and Applied Chemistry*, 74:793-807.
3. EC 1998. Οδηγία 98/83 ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.
4. Förstner U., Wittmann G.T.W. (1983) *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin, p 476
5. Hawkins S. J., Gibbs. P.E., Pope N. D., Burt R. G., Chesman B. S., Bray S., Proud S. V., Spence S. K., Southward A. J., Langston W. J. (2002) Recovery of polluted ecosystems: the case from long term studies. *Marine Environmental Research*, Issue 54:215-222.
6. Mason C. F. (1991) *Biology of freshwater pollution*. John Wiley and Sons, New York, p 351
7. Millero F.J., Sohn M.L. (1992) *Chemical Oceanography*, CRC Press, Boca Raton, pp 536
8. Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M. (1988) Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals. *Nature*, 333:134-199.
9. Reley, J. P., and R. Chester. 1971. Introduction to marine chemistry. In: Stumm W (ed) *Academic Press*, London and New York, pp 465
10. Tsouni A., Koutsoyiannis D., Kontoes C., Mamassisi N., Elias P. (2003) Application of satellite – based methods for estimating evapotranspiration in Thessalian plain, Greece. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.

### Ελληνική Βιβλιογραφία

11. Βασιλάκης Ε., Μαυρούλης Σ., Αλεξόπουλος Ι., Δίλαλος Σ. Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Δελταϊκής περιοχής του Πηνειού (Θεσσαλία). Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη.
12. Γιαννοπούλου Ε., Εταιρίδου Κ. (2005) Χρήση προσροφητικών υλικών μικρού κόστους για την απομάκρυνση Cd και Cu, Μεταπτυχιακά διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σελ 74
13. Γκόφας Θ. (1996) Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) υδραυλικού έργου παλαιάς και νέας κοίτης ποταμού Πηνειού Λάρισας. Λάρισα.
14. Κατσιακάτσος Γ. (1992) Γεωλογία της Ελλάδος. Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 270-451
15. Κατσιακάτσος, Γ., Μιγκίρος, Γ. (1987) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας (1:50000), φύλλο «Ραψάνη», ΙΓΜΕ.
16. Κουμιτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Βουτσά Δ. (2004) Έλεγχος ρύπανσης Περιβάλλοντος. University Studio Press Θεσσαλονίκη, σελ 386
17. Μήτρακας Μ. (2001) Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού. Θεσσαλονίκη, σελ 543
18. Μητρόπουλος Π., Κελεπερτζής Α. (2012) Μαθήματα Γεωχημείας. Αθήνα, σελ 401
19. Μιγκίρος Γ., 1983: Γεωλογική μελέτη περιοχής Κάτω Ολύμπου Θεσσαλίας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 204
20. Μιμίκου, Μ. Α. & Μπαλτάς, Ε. Α., 2006. Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα, σελ 297
21. Μπέλλος Δ. (2004) Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων – βαρέων μετάλλων και ραδιοκαϊσίου στο νερό – ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού. Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, σελ 188
22. Μπούρα Ν. (2015) Διερεύνηση της επιβάρυνσης του ποταμού Πηνειού από θρεπτικά συστατικά. Διπλωματική εργασία, Αθήνα.



23. Νταρακάς Ε. (2010) Σημειώσεις: Διεργασίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη
24. Νταρακάς Ε. (2010) Σημειώσεις: Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Διεργασίες Επεξεργασίας Νερού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη
25. Νταράκας, Ε., 2014. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και διεργασίες επεξεργασίας νερού. Θεσσαλονίκη.
26. Ομάδα Ερευνητικού έργου ΥΒΕΤ 96. Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Ταξινόμηση ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων με βάση τις αποδελτιωμένες μελέτες του ΥΒΕΤ, με χρήση συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας. Τομέας υδατικών Πόρων Υπεραλιευτικών και θαλάσσιων έργων-εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 339 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης. Αθήνα, 1996.
27. Στουρνάρας Γ. (2007) Νερό: Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή. Αθήνα, σελ 664
28. Τέου Ξ. (2014) Ρύπανση του ποταμού Πηνειού από βαρέα μέταλλα. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
29. Τσέζος Μ., Χατζηκιοσεγιάν Α. (2012) Τεχνολογία Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων. Αθήνα.

## 6. ABSTRACT

The purpose of this postgraduate thesis was to investigate the presence of heavy metals in the main tributaries of Pinios river and to assess whether heavy metals exceed the established limits by European Legislation. The study was conducted in July 2020. Surface water samples were

collected at some points along the main tributaries of the river Pinios. At the same time, on-site measurements of physicochemical parameters (temperature, pH, conductivity, total dissolved solids) were performed. The heavy metals analyzed were Cr, Co, Cd, Ni, Mn, Pb, Fe, Cu, As and Zn. Their concentrations were determined by Atomic Absorption Spectrophotometry. Soluble metal concentrations did not exceed the legal the established limits allowed.