



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή διατριβή**

Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών ιζημάτων  
του Σπερχειού ποταμού



**Ελένη Γ. Γατσιού**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Γαλανοπούλου Σταυρούλα, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ  
2020**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών ιζημάτων  
του Σπερχειού ποταμού

“Study of the heavy metal pollution of the surface sediments  
of the Sperchios river”

**Ελένη Γ. Γατσιού**

Εξεταστική Επιτροπή:

Σταυρούλα Γαλανοπούλου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Σπυρίδων Καλούδης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αναστασία Παντέρα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

## Μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού

Γενικό Τμήμα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται τα ιζηματολογικά και τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού. Προσδιορίζονται βασικές χαρακτηριστικές ιδιότητες των ιζημάτων, καθώς, και η επιβάρυνσή τους από τοξικά βαρέα μέταλλα. Για την ολοκλήρωσή της χρησιμοποιούνται πρωτογενή δεδομένα που προκύπτουν μετά την ιζηματολογική και γεωχημική ανάλυση δεκατριών (13) επιφανειακών δειγμάτων. Πραγματοποιείται σε αυτά κοκκομετρική ανάλυση και προσδιορίζεται η περιεκτικότητά τους σε άμμο, ιλύ και άργιλο επί τοις εκατό, καθώς, και ο λιθολογικός χαρακτήρας τους, η περιεχόμενη οργανική ύλη, το pH και οι συγκεντρώσεις τους στα βαρέα μέταλλα μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), χρώμιο (Cr) και μόλυβδος (Pb).

Τα ιζήματα της περιοχής μελέτης εμφανίζουν ανομοιογένεια ως προς τα ιζηματολογικά τους χαρακτηριστικά και απαρτίζονται από πέντε διαφορετικούς τύπους ιζημάτων με επικρατέστερα τα κλάσματα «Ιλυώδης άμμος» και «Αμμώδης ιλύς», ενώ σε μικρό ποσοστό συμμετέχουν τα κλάσματα «Ιλύς», «Πηλός» και «Άμμος».

Το pH των ιζημάτων κυμαίνεται μεταξύ 7,44 έως 8,60, ενώ η περιεκτικότητά τους σε οργανικό άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 2,31. Οι τιμές αυτές είναι σχετικά χαμηλές και υποδηλώνουν χαμηλό ρυπαντικό φορτίο στον Σπερχειό ποταμό.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα υποδεικνύουν μη ρυπασμένα ιζήματα ως προς το μαγγάνιο, τον ψευδάργυρο, τον χαλκό και τον μόλυβδο με εξαίρεση τα δείγματα στην τάφρο της Λαμίας όπου υποδεικνύουν πιθανά ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης. Τα ιζήματα στις εκβολές του ποταμού θεωρούνται ρυπασμένα ως προς το νικέλιο και ελαφρώς ρυπασμένα ως προς το χρώμιο. Στο συμπέρασμα αυτό συνηγορούν και τα αποτελέσματα από την εφαρμογή δεικτών περιβαλλοντικής ρύπανσης. Τόσο το νικέλιο όσο και το χρώμιο έχουν κυρίως γεωγενή προέλευση με τις συγκεντρώσεις του νικελίου να υποδεικνύουν και ανθρωπογενή επιβάρυνση. Ρύπανση των ιζημάτων στην τάφρο της Λαμίας και στις εκβολές του ποταμού απαντάται, κυρίως, από το νικέλιο και σε μικρότερο βαθμό από το χρώμιο, τον χαλκό, και τον ψευδάργυρο.

**Επιστημονική περιοχή:** Περιβαλλοντική γεωχημεία

**Λέξεις κλειδιά:** Σπερχειός, ρύπανση, βαρέα μέταλλα, δείκτες ρύπανσης

## **Study of the heavy metal pollution of the surface sediments of the Sperchios river**

*General Department*

### **ABSTRACT**

In this work the sedimentological and geochemical characteristics of the surface sediments of the Sperchios river are studied. Basic characteristic properties of the sediments are determined as well as their load from toxic heavy metals. For its completion, primary data are obtained that result after the sedimentological and geochemical analysis of thirteen (13) surface samples taken. Granometric analysis is performed on them and their percent in sand, silt and clay is determined, as well as their lithological character, the organic matter content, the pH and their concentrations in the heavy metals manganese (Mn), zinc (Zn), copper (Cu), nickel (Ni), chromium (Cr) and lead (Pb).

The sediments of the study area show inhomogeneity in their sedimentological characteristics and consist of five different types of sediments with predominant fractions "Silty sand" and "Sandy silt", while a small percentage of the fractions "Silt", "Mud" and "Sand".

The pH of the precipitates ranges between 7.44 to 8.60, while their organic carbon content ranges between 0.05 and 2.31. These values are relatively low and indicate a low pollution load in the Sperchios river.

The concentrations of heavy metals in the sediments indicate unpolluted sediments in terms of manganese, zinc, copper and lead with the exception of the samples in the Lamias moat where possible anthropogenic sources of pollution are indicated. Sediments at the mouth of the river are considered to be contaminated with nickel and slightly contaminated with chromium. The results from the application of environmental pollution indices also contribute to this conclusion. Both nickel and chromium are mainly of geogenic origin with nickel concentrations indicating anthropogenic pollution. Pollution of sediments in the moat of Lamia and at the mouth of the river is found mainly from nickel and to a lesser extent from chromium, copper, and zinc.

**Scientific area:** Environmental geochemistry

**Keywords:** Sperchios, pollution, heavy metals, pollution indices

**ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Η μεταπτυχιακή φοιτήτρια που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κλπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

**Η συγγραφέας**

**Ελένη Γ. Γατσιού**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

«Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Σ.Ε. του Π.Μ.Σ. του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Σταυρούλα Γαλανοπούλου (Επιβλέπουσα)
2. Καλούδης Σπυρίδων (Μέλος)
3. Αναστασία Παντέρα (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα».

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην κ. Γαλανοπούλου Σταυρούλα για την ανάθεση του θέματος της εργασίας μου, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά της και την εποπτεία της κατά τη διεξαγωγή της. Το θέμα της εργασίας μου επιλέχθηκε με ιδιαίτερη προσοχή, αφού θέλησα να ασχοληθώ με έναν ποταμό που να βρίσκεται κοντά στην περιοχή της μόνιμης κατοικίας μου ώστε να αποκτήσω περισσότερες γνώσεις για αυτόν, αφού μάλιστα επηρεάζει άμεσα τη ζωή μας όντας τόσο κοντά μας.

Ευχαριστώ επίσης την κ. Παντέρα Αναστασία για τη συμβολή του εργαστηρίου εδαφολογίας στο εργαστηριακό μέρος της εργασίας μου, τον κ. Καλούδη Σπυρίδωνα για τη συμβολή του στη δημιουργία των χαρτών καθώς και τον κ. Μουστάκα Νικόλαο, διευθυντή του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και τον κ. Τζιουβαλέκα Μιλτιάδη, Δόκιμο Ερευνητή ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Τέλος ευχαριστώ τους φίλους, συναδέλφους και την οικογένειά μου, που με στήριξαν για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	2
1.3 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	3
1.3.1 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	3
1.3.2 ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	4
1.3.3 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	6
1.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ .....	7
1.3.5 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΕΡΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ .....	8
1.3.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	18
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	18
2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	20
2.3 ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ .....	21
2.4 ΔΕΛΤΑ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ .....	22
2.5 ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ .....	25
2.6 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	26
2.7 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	31
2.8 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	34
2.9 ΠΑΝΙΔΑ – ΧΛΩΡΙΔΑ .....	38
2.10 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ .....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	42
3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	42
3.1.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΟΣ .....	42
3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	43
3.2.1 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	43
3.2.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	43
3.2.2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH.....	43
3.2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	44
3.2.2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ .....	44



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	46
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	46
4.1.1 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	46
4.1.1.1 ΚΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ .....	47
4.1.1.2 ΚΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ .....	48
4.1.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	48
4.1.2.1 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ .....	48
4.1.2.2 pH .....	50
4.1.2.3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	50
4.1.2.4 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	60
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	63

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1: Σπερχειός ποταμός (πηγή: προσαρμογή από google.gr/maps) .....	18
Εικόνα 2.2: Οι εκβολές του Σπερχειού (πηγή: προσαρμογή από google.maps.com) .....	23
Εικόνα 2.3: Περιοχή Natura 2000, κοιλάδα και εκβολές Σπερχειού-Μαλιακός κόλπος-Μεσοχώρι Σπερχειού (GR2440002), (πηγή: votaniki.gr). .....	26
Εικόνα 2.4: Ομβροθερμικό διάγραμμα (πηγή: Μ.Σ. Λαμίας). .....	30
Εικόνα 2.5 : Χάρτης κλίσεων της λεκάνης του Σπερχειού (πηγή: Κάρλη, 2013). .....	31
Εικόνα 2.6: Ανάγλυφο και υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού (πηγή: Πρόγραμμα Life, 1997). .....	32
Εικόνα 2.7: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (πηγή: Ψωμιάδης κ.ά., 2013). .	37
Εικόνα 2.8: Χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης του Σπερχειού, σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover (πηγή: Bossard et al., 2000). .....	38
Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας στο Σπερχειό ποταμό.....	42
Εικόνα 4.1: Λιθολογικός χαρακτήρας των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού με βάση το τριγωνικό διάγραμμα του Folk. S: Άμμος, CS: Αργιλώδης άμμος, MS: Πηλώδης άμμος, ZS: Ιλυώδης άμμος, SC: Αμμώδης άργιλος, SM: Αμμώδης πηλός, SZ: Αμμώδης ιλύς, C: Άργιλος, M: Πηλός, Z: Ιλύς. ....	47

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας).....	28
Πίνακας 2.2: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια σχετική υγρασία για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας).....	29
Πίνακας 2.3: Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (°C) για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας). ....	30
Πίνακας 4.2: Περιεχόμενος οργανικός άνθρακας (C <sub>org</sub> ) και pH στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού .....	49

Πίνακας 4.3: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού. ....	50
Πίνακας 4.4: Τιμές των δεικτών γεωσυσσώρευσης $I_{geo}$ των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού. ....	56
Πίνακας 4.5: Κριτήρια ποιότητας ERL και ERM των ιζημάτων για ιχνοστοιχεία που προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία (σε ppm ξηρού βάρους δείγματος). ERL= Effects Range – Low, ERM= Effects Range – Median, σύμφωνα με τους Long et al. (1995).....	57

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση των ποταμών από τοξικά βαρέα μέταλλα έχει κατά καιρούς απασχολήσει αρκετούς μελετητές και έχει υπάρξει επίκεντρο πολλαπλών συζητήσεων. Τα κυριότερα βαρέα μέταλλα που ρυπαίνουν τα νερά και τα ιζήματα είναι κυρίως ο σίδηρος (Fe), το χρώμιο (Cr), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni), το αρσενικό (As) κ.ά.

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με τη μελέτη της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα επιφανειακών ποτάμιων ιζημάτων. Η περιοχή η οποία επιλέχθηκε για να υλοποιηθεί η έρευνα είναι ο Σπερχειός ποταμός, ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Στερεάς Ελλάδας, εξαιτίας της μεγάλης οικολογικής σημασίας του για την ευρύτερη περιοχή.

Ο Σπερχειός ποταμός βρίσκεται στο Ανατολικό τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας και υπάγεται διοικητικά στην Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. Τα φυσικά της όρια είναι η περιφερειακή ζώνη του Εθνικού Δρυμού της Οίτης και οι πρόποδες των ορέων Τυμφρηστός και Βαρδούσια. Η περιοχή διακρίνεται σε τρεις γεωγραφικές ενότητες: Την κοιλάδα του Σπερχειού, τις εκβολές του Σπερχειού και τις γύρω περιοχές και τον Μαλιακό κόλπο. Ο Σπερχειός ποταμός πηγάζει από τον Τυμφρηστό στα 2327 m και διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα, με συνολική έκταση 15.000 ha και μέσο υψόμετρο γύρω στα 700 m. Στην κοίτη του ποταμού σχηματίζεται αξιόλογο παραποτάμιο δάσος. Η περιοχή των εκβολών του Σπερχειού καλύπτει 10.000 ha. Ο πυρήνας των εκβολών καταλαμβάνεται από φυσική βλάστηση. Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής έξω από τον πυρήνα καλύπτεται από καλλιέργειες. Ο Μαλιακός κόλπος συνδέεται με το Αιγαίο πέλαγος και τον Β. Ευβοϊκό κόλπο στο Ανατολικό άκρο του, μέσω δύο διαύλων. Ο Σπερχειός ποταμός συναντά τη θάλασσα στο ΝΔ άκρο του κόλπου, διαμορφώνοντας έναν αξιόλογο υγροβιότοπο, το Λιβάρι, με έκταση περίπου 500 ha. Καθ' όλη την ιστορική τους διαδρομή, οι κάτοικοι της κοιλάδας του Σπερχειού υπήρξαν φορείς και κοινωνοί πολιτισμικών φαινομένων και επηρεάστηκαν από όλα τα ρεύματα της εκάστοτε ιστορικής συγκυρίας, λόγω της θέσης της στο κέντρο του Κορμού της ηπειρωτικής Ελλάδας, υπήρξε το σταυροδρόμι από όπου διήλθαν λαοί και επιδρομείς από τους προϊστορικούς ακόμη χρόνους.

Ο ποταμός, υποστηρίζει ποικίλη ιχθυοπανίδα με πολλά σημαντικά - ενδημικά ή/και προστατευόμενα - είδη. Επίσης, αρδεύει τα γόνιμα εδάφη των εκβολών και της κοιλάδας του (Ειδικό Διαχειριστικό Σχέδιο, 1996).

Στην λεκάνη του Σπερχειού είναι αναπτυγμένη η παραγωγή τροφίμων-ποτών, κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ένδυσης. Επίσης υπάρχουν ελαιοτριβεία, αλλά γενικά ο δευτερογενής τομέας είναι μέτρια αναπτυγμένος. Τα αγροχημικά προϊόντα χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην περιοχή, σε τέτοιο βαθμό ώστε, οι αγροχημικές επιβαρύνσεις στην κοιλάδα του Σπερχειού να ανέρχονται σε 22.000 τόνους λιπασμάτων και 300 τόνους φυτοφαρμάκων ετησίως. Επίσης παρατηρείται ρύπανση από παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα που προέρχονται από υφαντουργεία, από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφών και από γεωργικές χρήσεις. Όλα αυτά, φυτοφάρμακα, παρασιτοκτόνα, ζιζανιοκτόνα κ.ά. πάνω από ένα όριο, προκαλούν ανάσχεση της φωτοσύνθεσης, δηλητηριάσεις καθώς και εκλεκτική συσσώρευση και απορρόφηση σε ορισμένα είδη (Ρέγκλη, 2019).

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και κυρίως ως προς την περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της εργασίας προκύπτουν από αναλύσεις σε δεκατρία (13) δείγματα επιφανειακών ιζημάτων από τον πυθμένα του Σπερχειού ποταμού, τα οποία συλλέχθηκαν κατά μήκος της κοίτης του ποταμού.

Ο Σπερχειός φιλοξενεί δεκάδες είδη ζώων και φυτών, διασχίζει από τα αρχαία χρόνια οικισμούς, χωριά και κωμοπόλεις και αποτελεί σημαντικό παράγοντα του οικοσυστήματος της περιοχής. Ο σκοπός, λοιπόν, αυτής της μελέτης είναι να διερευνηθεί η πιθανή ρύπανση των επιφανειακών ιζημάτων του ποταμού Σπερχειού από τοξικά βαρέα μέταλλα, να προσδιοριστεί ο βαθμός της ρύπανσης και να αναδειχθούν οι βασικές πηγές των ρύπων.

### 1.3 ΡΥΠΟΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η έννοια «ρύπανση», αναφέρεται στην παρουσία στο περιβάλλον ρύπων σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Οι κυριότερες μορφές ρύπανσης είναι οι ακόλουθες:

- i. ατμοσφαιρική ρύπανση,
- ii. θαλάσσια ρύπανση,
- iii. ρύπανση εδαφών, ιζημάτων,
- iv. ρύπανση υδάτων κ.λπ.

Η μορφή με την οποία απαντώνται οι ρύποι στο περιβάλλον μπορεί να είναι στερεή (σωματίδια), υγρή (σταγονίδια) ή αέρια. Οι κύριες κατηγορίες ρύπων είναι οι ανόργανοι ρύποι (βαρέα μέταλλα, κ.ά.) και οι οργανικοί ρύποι (αρωματικοί υδρογονάνθρακες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, εντομοκτόνα κ.ά.).

#### *1.3.1 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ*

Ο όρος βαρέα μέταλλα (heavy metals) αναφέρεται σε εκείνα τα μεταλλικά στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο από αυτό του σιδήρου ή της τιμής των  $7\text{g/cm}^3$ . Τέτοια είναι τα μέταλλα μόλυβδος, ψευδάργυρος, χαλκός, κάδμιο, υδράργυρος, χρώμιο κ.ά. Παρά το γεγονός ότι σε κατάλληλες συγκεντρώσεις ορισμένα βαρέα μέταλλα, όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος κ.ά., είναι απαραίτητα για τις ενζυμικές λειτουργίες των οργανισμών, σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις κανονικές γίνονται τοξικά και επικίνδυνα με σοβαρές επιπτώσεις για το περιβάλλον. Αποτελούν θρεπτικά στοιχεία για τα φυτά και είναι αναγκαία για την ανάπτυξή τους, αλλά μπορούν να καταστούν επικίνδυνα για αυτά σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Αυτό συμβαίνει γιατί δεν αποικοδομούνται με φυσικές διεργασίες στα υδάτινα οικοσυστήματα όπως οι περισσότερες οργανικές βλαβερές ενώσεις, αλλά με διάφορους

μηχανισμούς συσσωρεύονται στους οργανισμούς όπου και παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα (Mpellos, 2004; Djingona et al., 1987). Τοξικά μέταλλα όπως υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο και πολλά άλλα, καταλήγουν διαμέσου της βιολογικής τροφικής αλυσίδας, στα ανώτερα της μέλη και τέλος στον άνθρωπο, όπου και προκαλούν χρόνιες και οξείες βλάβες (Welsh & Denny, 1980). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες πολλές φορές διαταράσσουν την ισορροπία τέτοιων κύκλων και προκαλούν υπέρμετρες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε ζώντες οργανισμούς, οι οποίες προκαλούν βιολογικές διαταραχές, ακόμα και θάνατο.

Διάφοροι υδρόβιοι οργανισμοί, αλλά κυρίως τα φύκη αποτελούν καλούς δείκτες για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων όσον αφορά στη ρύπανση από βαρέα μέταλλα ή άλλους ρυπαντές. Η επιλεκτική πρόσληψη ορισμένων ιόντων συνδυαζόμενη με την μόνιμη θέση τους σε έναν τόπο όπου υφίσταται αναγκαστικά την επίδραση των ρυπαντών, τα καθιστά άριστο εργαλείο για περιβαλλοντικές μελέτες (Sawidis et al., 1995; Sawidis et al., 2001; Stratis et al., 1996).

Για τον έλεγχο της ρύπανσης του περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα απαιτείται ο προσδιορισμός της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα, στα νερά, στα ιζήματα και τα εδάφη καθώς και τους υδρόβιους οργανισμούς. Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητάς τους όμως στα ιζήματα είναι πολύ σημαντικός γιατί όλα τα βαρέα μέταλλα καταλήγουν σε αυτά.

### *1.3.2 ΠΗΓΕΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ*

Τα ιζήματα αποτελούν τον τελικό αποδέκτη όλων των ρύπων από διάφορες πηγές και κατά συνέπεια και των βαρέων μετάλλων. Για το λόγο αυτό ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεών τους στα ιζήματα αποτελεί χαρακτηριστικό δείκτη για τα επίπεδα ρύπανσης μιας περιοχής (Zabetoglou et al., 2002). Είναι φυσικά συστατικά των πετρωμάτων και των εδαφών και οι κυριότεροι τρόποι μεταφοράς τους στο θαλάσσιο οικοσύστημα είναι τα ποτάμια, η ατμόσφαιρα, και η βαρύτητα.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι κυριότερες φυσικές πηγές είναι:

- η διάβρωση και αποσάθρωση των πετρωμάτων,
- οι πυρκαγιές των δασών,
- η μεταφορά σκόνης από τον άνεμο,
- οι ηφαιστειακές εκρήξεις και
- τα γεωθερμικά πεδία.

Οι ανθρωπογενείς πηγές συνδέονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, δηλαδή, τα βιομηχανικά και τα αστικά απόβλητα, τις ναυπηγικές δραστηριότητες, τις γεωργικές καλλιέργειες, τις διαδικασίες εξόρυξης και επεξεργασίας μεταλλευμάτων κ.λπ. Τις τελευταίες δεκαετίες η ρύπανση του περιβάλλοντος από ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχει ενταθεί.

Η χρήση των φυτοφαρμάκων (παρασιτοκτόνων, εντομοκτόνων, αντιβιοτικών, αυξητικών ορμονών των φυτών, κ.ά.) παρουσιάζει τεράστια αύξηση με στόχο την αύξηση της απόδοσης της καλλιεργήσιμης γης. Πολλές από αυτές τις ενώσεις είναι ιδιαίτερα τοξικές και εμφανίζουν μεγάλο βαθμό βιολογικής συσσώρευσης στους οργανισμούς. Τα φυτοφάρμακα, μετά τη χρήση τους, συνήθως υφίστανται μια σειρά διεργασιών, όπως υδρόλυση, οξείδωση, διάσπαση, μεταφορά, εξάτμιση, κ.ά., με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν το έδαφος και το νερό και να καταλήγουν στην τροφική αλυσίδα και στον άνθρωπο.

Επιπλέον η έντονη βιομηχανοποίηση έχει συμβάλλει σημαντικά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος τροφοδοτώντας το με ρύπους από τα βιομηχανικά λύματα και τις εκπομπές αέριων ρύπων από τις βιομηχανίες.

Η αστικοποίηση έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη ρύπανση του περιβάλλοντος κυρίως μέσω των αστικών λυμάτων και των αστικών στερεών αποβλήτων (οικιακά απόβλητα, νοσοκομειακά απόβλητα, κ.ά.), των καυσαερίων των αυτοκινήτων, της κεντρικής θέρμανσης κ.ά.

### 1.3.3 ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Ο όρος της τοξικότητας χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ικανότητα μιας ουσίας - εν προκειμένω των βαρέων μετάλλων - να επηρεάζει τις ζωτικές λειτουργίες ενός βιολογικού συστήματος ή ενός ζωντανού οργανισμού (Βαλαβανίδης, 2007). Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων είναι διαπιστωμένη από αρχαιοτάτων χρόνων, παρόλα αυτά η αναγνώριση και η διερεύνηση των τοξικών τους ιδιοτήτων έχει πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Στη σύγχρονη ιστορία έχουν σημειωθεί πολλά περιστατικά ρύπανσης από βαρέα μέταλλα με καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να στραφεί η επιστημονική κοινότητα στη μελέτη και διερεύνηση της δράσης τους. Η τοξική δράση των βαρέων μετάλλων στους ζώντες οργανισμούς εκδηλώνεται με πολλούς μηχανισμούς. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η αναστολή δράσης των ενζυμικών συστημάτων κατά το σχηματισμό χημικών ενώσεων των μεταλλοϊόντων με τις δραστικές ομάδες των οργανικών μορίων των ενζύμων (οργανομεταλλικές ενώσεις). Αν ληφθεί υπόψη ο μεγάλος αριθμός των διαφόρων ενζύμων στα ζωντανά κύτταρα, τότε γίνεται φανερό ότι το εύρος της τοξικής δράσης των μετάλλων είναι πολύ μεγάλο. Τα μέταλλα συσσωρεύονται σε διαφορετικά τμήματα των ζωντανών οργανισμών και επιδρούν σε τελείως διαφορετικά ένζυμα και δραστικές ομάδες. Οι αμινο- και σουλφυδρυλο-ομάδες είναι αυτές που συμμετέχουν σ' αυτούς τους μηχανισμούς (Κουιμτζής, 1989).

Τα βαρέα μέταλλα αντιδρούν με τις μεμβράνες των κυττάρων περιορίζοντας τη διαπερατότητά τους με αποτέλεσμα να περιορίζεται ή να διακόπτεται η μεταφορά Na, K, Cl και οργανικών μορίων διαμέσου της μεμβράνης. Αντιδρούν επίσης με τα κύρια προϊόντα του μεταβολισμού και σχηματίζουν σταθερά ιζήματα ή χημικές ενώσεις. Οι οργανομεταλλικές ενώσεις των βαρέων μετάλλων, σε σύγκριση με το μεταλλικό ιόν τους, είναι άλλοτε περισσότερο (μεθυλιωμένα παράγωγα Pb) και άλλοτε λιγότερο τοξικές (σαλικυκλική αλδοξίμη του Cu). Σε ταυτόχρονη χορήγηση τοξικών ενώσεων βαρέων μετάλλων σε έναν οργανισμό κατά κανόνα η δράση τους προστίθεται. Για μερικούς όμως συνδυασμούς μετάλλων (Cu+Zn, Ni+Zn) παρατηρείται αύξηση της τοξικής δράσης μέχρι και σε πενταπλάσια τιμή από εκείνη που προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους δράσεων (Chettri & Sawidis, 1995; Chettri et al., 1997). Η συνεχής έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε βαρέα μέταλλα έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται με βλάβες σε



ζωτικές λειτουργίες και όργανα, όπως νευροφυσιολογικές διαταραχές, νεφρικές βλάβες, γενετικές αλλοιώσεις κυττάρων (μεταλλάξεις), τερατογενέσεις, καρκινογενέσεις, καθώς και με επιβλαβείς επιδράσεις στην ενζυμική, ορμονική και αναπαραγωγική δραστηριότητα. Επιπροσθέτως έχουν καταγραφεί μέχρι και θάνατοι λόγω έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις (Σιδέρης, 2009).

Η αύξηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στην ατμόσφαιρα προκαλεί σοβαρές διαταραχές στη βλάστηση που σε αρκετές περιπτώσεις είναι ορατές στους φυτικούς οργανισμούς. Μπορούν να αναστείλουν ορισμένες βιολογικές λειτουργίες, όπως υδρόλυση του αμύλου και της σουκρόζης. Παρεμποδίζουν επίσης τη μεταφορά της σουκρόζης και αυτό προκαλεί δευτερογενείς επιπτώσεις όπως διαταραχές στο μεταβολισμό του αζώτου. Συνήθως οι συγκεντρώσεις σακχάρων, αμύλου και μερικών αμινοξέων αυξάνουν με την παρουσία βαρέων μετάλλων, ενώ η συγκέντρωση πρωτεϊνών μειώνεται (Chettri et al., 1998).

#### *1.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ*

Τα βαρέα μέταλλα που εν τέλει καταλήγουν στο υδάτινο σύστημα και ύστερα από την καταβύθιση μέσω της στήλης του νερού επικάθονται στον πυθμένα αλληλεπιδρούν με τα ιζήματα και έχουν ως αποτέλεσμα τη συγκράτησή τους σε αυτά. Το ποσοστό των στοιχείων που δεν συγκρατούνται παραμένει διαθέσιμο για να αλληλεπιδράσει με τους βιολογικούς δείκτες. Σύμφωνα με τους Φυτιάνου και Σαμανίδου (1988) και τους Salomons & Förstner (1984), τα βαρέα μέταλλα μπορούν να βρίσκονται στα θαλάσσια ιζήματα είτε προσροφημένα στην επιφάνεια κολλοειδών σωματιδίων, είτε ενωμένα με οξειδία – υδροξειδία σιδήρου και μαγγανίου, είτε ενωμένα με οργανική ύλη και θειούχες ενώσεις, είτε ενδομημένα στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών.

Όταν τα βαριά μέταλλα καταλήξουν στη θάλασσα μέσω διαφόρων φυσικοχημικών διεργασιών (διασπορά, διάλυση, καταβύθιση, προσρόφηση, απορρόφηση) καθιζάνουν σε μεγάλο ποσοστό στα ιζήματα μαζί με οργανικά και ανόργανα σωματίδια. Στο ίζημα όταν διαφοροποιηθούν οι φυσικοχημικές συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, τα σωματίδια επαναιωρούνται και αναμιγνύονται από τους βενθικούς οργανισμούς και τα

ρεύματα και αποικοδομούνται μερικώς από μικροοργανισμούς, διαλύονται και επανακαθιζάνουν (Φυτιάνου και Σαμανίδου, 1988; Γαλανοπούλου, 2005).

Η συγκέντρωση των μετάλλων στα ιζήματα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το ποσοστό των διαλυμένων ιχνοστοιχείων στο νερό, τη συγκέντρωση των εν-αιωρήσει ουσιών, από το χρόνο παραμονής των εν-αιωρήσει ουσιών στο νερό πριν από την καθίζησή τους στον πυθμένα, κ.λπ. (Βαρνάβας, 1986).

Τα βαρέα μέταλλα δε βρίσκονται ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλα τα κλάσματα των κόκκων. Η κατανομή τους στο ίζημα εξαρτάται από τη διάμετρο των κόκκων και η συγκέντρωσή τους έχει την τάση να αυξάνει καθώς το κλάσμα του ιζήματος μικραίνει. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα των μικρών σωματιδίων να προσροφούν βαρέα μέταλλα (Förstner & Wittman, 1983) λόγω της παρουσίας σε αυτά αργιλικών ορυκτών. Οι συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα ελαττώνονται στα κλάσματα ιλύος και λεπτόκοκκης άμμου που αποτελούνται κυρίως από χαλαζία. Στα χονδρόκοκκα κλάσματα η παρουσία ορυκτών που περιέχουν βαρέα μέταλλα οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε βαρέα μέταλλα. Η σχετική ικανότητα κατακράτησης μετάλλων σε συστατικά του ιζήματος ακολουθεί την εξής σειρά: οξείδια του Mn > οργανική ύλη > οξείδια του Fe > αργιλικά ορυκτά (Φυτιάνου και Σαμανίδου, 1988).

### 1.3.5 ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΕΡΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα σπουδαιότερα βαρέα μέταλλα είναι: Σίδηρος (Fe), Μόλυβδος (Pb), Ψευδάργυρος (Zn), Αρσενικό (As), Υδράργυρος (Hg), Χρώμιο (Cr), Χαλκός (Cu), Μαγγάνιο (Mn), Κοβάλτιο (Co), Σελήνιο (Se). Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τα ακόλουθα βαρέα μέταλλα:

**ΜΑΓΓΑΝΙΟ (Mn):** Το χημικό στοιχείο Μαγγάνιο έχει ατομικό αριθμό 25, ατομικό βάρος 54,938, σημείο τήξης 1245°C και θερμοκρασία βρασμού 1962°C. Είναι αρκετά δραστικό μέταλλο, αντιδρά με θερμό νερό και εκλύει υδρογόνο και καίγεται εύκολα στο αέρα. Το μαγγάνιο αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο, γιατί ενεργοποιεί διάφορα ένζυμα συναγωνιζόμενο τη δράση του μαγνησίου. Αποτελεί στοιχείο διαφόρων μεταλλο - ενζύμων.

Το μαγγάνιο βρίσκεται σε όλα σχεδόν τα φυτά, σε μεγαλύτερη όμως αναλογία στα δασικά είδη. Έλλειψη μαγγανίου στα φυτά προκαλεί κιτρίνισμα των φύλλων, τη γνωστή χλώρωση των φυτών. Το μαγγάνιο στα ιζήματα μπορεί να υπάρχει με διάφορες μορφές, ως ανταλλάξιμο, ως υδατοδιαλυτό, ως προσροφημένο, ως συμπλοκοποιημένο με οργανική ουσία ή ως οξειδίο και συστατικό των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών. Η παρουσία του Mn στα ιζήματα και στα εδάφη σχετίζεται με μικροβιακή δραστηριότητα.

Κατά την αποσάθρωση των πετρωμάτων του εδάφους το Mn, που υποκαθιστά το Fe στα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά, απελευθερώνεται νωρίς ως διαλυτό  $Mn^{2+}$  από αυτά, με την οξείδωση του  $Fe^{2+}$  και τη διάσπαση του πλέγματος των ορυκτών αυτών. Σε δροσερά κλίματα το  $Mn^{2+}$  απομακρύνεται εύκολα από τη ζώνη της αποσάθρωσης και από τα εδάφη με όξινα διαλύματα ως διττανθρακικό ή ως σύμπλοκο με τα οργανικά οξέα (προϊόντα διάσπασης φυτών), για να οξειδωθεί προς  $Mn^{4+}$  βαθύτερα σε συνθήκες χαμηλού Eh αλλά πιο αλκαλικές. Σε τροπικές και υποτροπικές συνθήκες, σε οξειδωτικό και όξινο περιβάλλον, δημιουργεί γρήγορα κολλοειδή υδροξειδία, που συγκεντρώνονται σε υπολειμματικές αποθέσεις με μορφή συγκριμάτων και κονδύλων. Το Mn έχει επίσης σημαντική επίδραση σε ορισμένες ιδιότητες του εδάφους και ειδικότερα για την ισορροπία του συστήματος pH-Eh. Οι ενώσεις του Mn χαρακτηρίζονται από την ταχεία οξείδωση, ή/και αναγωγή τους, όταν μεταβάλλεται το περιβάλλον του εδάφους. Η αναγωγή των οξειδίων του Mn έχει διπλή επίδραση στην κινητικότητα των κατιόντων στο έδαφος. Εκτός του ότι εξαφανίζει την οξειδωτική επιφάνεια ανταλλαγής, βάζει τα νεοσχηματισμένα ιόντα του  $Mn^{2+}$  σε ανταγωνισμό ανταλλαγής με άλλα κατιόντα. Η ενεργότητα και ευαισθησία της έκπλυσης των Ca, Mn και αρκετών άλλων μετάλλων αυξάνονται με την αναγωγή του Mn (Bartlett, 1986). Η διαλυτότητα του Mn στα εδάφη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH και Eh του εδάφους και έτσι οι πιο συχνές αντιδράσεις στα εδάφη είναι η οξείδωση, η αναγωγή και η υδρόλυση. Η γεωχημεία των υδροξειδίων του Mn συνδέεται στενά με τη συμπεριφορά των υδροξειδίων του Fe και μπορεί να αλληλεπιδρούν πολλαπλά μεταξύ τους στις αντιδράσεις οξειδο-αναγωγής (McKenzie, 1980). Η περιεκτικότητα του Mn στα επιφανειακά εδάφη εξαρτάται από την ταξονομική τους κατηγορία, συνδέεται θετικά με την περιεκτικότητά τους στο κλάσμα της αργίλου και παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία τιμών. Υψηλές συγκεντρώσεις Mn

βρέθηκαν σε εδάφη από βασικά μητρικά πετρώματα, πλούσια σε Fe ή/και οργανική ουσία και στα εδάφη από ξηρές και ημίξηρες κλιματικές περιοχές (Kabata - Pendias & Mukherjee, 2007). Η μέση περιεκτικότητά του Mn στα εδάφη υπολογίζεται σε 488 mg/kg (Kabata - Pendias, 2011), ενώ στον ανώτερο φλοιό της γης σε 438,59 mg/kg (Rudnick and Gao, 2003).

Το Mn δεν θεωρούνταν παλιότερα ρυπογόνο μέταλλο στο έδαφος, όταν όμως συσσωρευθεί στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσει τοξικές επιδράσεις σε ορισμένα φυτά. Η τιμή μέγιστης επιτρεπτής συγκέντρωσης (MAC: maximum allowable content) για τα καλλιεργούμενα εδάφη υπολογίζεται στα 1500 mg/kg (Kabata - Pendias, 2011). Στους ζωντανούς οργανισμούς συγκεντρώνεται στο ήπαρ, το πάγκρεας και τους νεφρούς.

**ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ (Zn):** Ο ψευδάργυρος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 30 και ατομικό βάρος 65,38. Έχει θερμοκρασία τήξης 419,58°C και θερμοκρασία βρασμού 907°C. Είναι απαραίτητο στοιχείο για πολλές ενζυμικές και φυσιολογικές λειτουργίες στους ζωντανούς οργανισμούς.

Φυσική πηγή του ψευδαργύρου αποτελεί η αποσάθρωση διαφόρων ορυκτών του, όπως του σφαιερίτη, διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου (Ιωάννου, 2001). Πέρα από τις λιθογενείς πηγές του Zn από τη φυσική καταστροφή των ορυκτών του, ρύπανση από Zn προκαλείται και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ο ψευδάργυρος βρίσκει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία, όπως στη μεταλλουργία, στις επιμεταλλώσεις (γαλβανισμός), στις μπαταρίες, στην κατασκευή κραμάτων, στα φαρμακευτικά προϊόντα, στην παραγωγή χαρτιού, στα λιπάσματα κ.ά. Απαντάται επίσης σε σημαντικές ποσότητες στα απόβλητα βιομηχανιών συνθετικών ινών και στα φωσφορικά λιπάσματα. Σημαντικές πηγές ρύπανσης από ψευδάργυρο, εκτός από τα παραπάνω, αποτελούν, επιπλέον, η μεταλλευτική δραστηριότητα, η αποτέφρωση αποβλήτων και η καύση ορυκτών καυσίμων. Πρόβλημα ρύπανσης μπορεί να προκαλέσει και η αλλαγή της μορφής του Zn με την οποία βρίσκεται στο έδαφος ως αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δράσης. Τονίζεται ότι η ρύπανση των εδαφών με Zn μπορεί να δημιουργήσει σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα, αφού σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι πολύ τοξικό βαρύ μέταλλο (Vodyanitskii, 2010).

Οι ποσότητες που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία των οργανισμών είναι πολύ μικρές. Αν όμως οι ποσότητες αυτές υπερβούν κάποια όρια λόγω γεωχημικών ιδιαιτεροτήτων ή ανθρώπινων δραστηριοτήτων (εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλευμάτων, αλόγιστη χρήση γεωργικών παρασκευασμάτων κ.ά.) τότε τα μέταλλα αυτά γίνονται τοξικά (Wagner, 1989; Sawidis et al., 1993).

Η μέση συγκέντρωση του Zn στον ανώτερο φλοιό της γης είναι περίπου 67 mg/kg (Rudnick and Gao, 2003), ενώ στα εδάφη 70 mg/kg (Kabata and Pendias, 2011). Η μέση ολική περιεκτικότητα Zn στα επιφανειακά εδάφη από πολλά κράτη και διάφορες πηγές είναι από 17 έως 125 mg/kg (Kabata - Pendias & Mukherjee, 2007).

Στα φυσιολογικά άτομα τα επίπεδα της συγκέντρωσης του Zn στον ορό είναι 105 mg/100ml. Η αύξηση των επιπέδων αυτών αποτελεί δείκτη της τοξικής δράσης των παραπάνω μετάλλων στον ανθρώπινο οργανισμό (Sawidis & Reiss, 1995).

**ΧΑΛΚΟΣ (Cu):** Ο χαλκός είναι ένα στοιχείο απαραίτητο για τη ζωή που απαντάται ευρέως στη φύση ως αυτοφυής, αλλά και ενσωματωμένος σε ορισμένα ορυκτά και μεταλλεύματα (χαλκοπυρίτης, μαλαχίτης, αζουρίτης, κυπρίτης κ.ά.). Είναι μέταλλο χρώματος κοκκινωπού, με χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη, με ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546, ελατό και όλκιμο. Ανήκει στα στοιχεία μετάπτωσης, έχει δύο αριθμούς οξείδωσης (+1, +2) και η μέση συγκέντρωσή του στο στερεό φλοιό της γης είναι 50 mg/kg.

Απελευθερώνεται στο περιβάλλον τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Φυσική πηγή του χαλκού αποτελεί η επιφανειακή του οξείδωση κατά την οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον ιόντα  $\text{Cu}^{+2}$ . Αυτά καταλήγουν στα ιζήματα, είτε μέσω της επιφανειακής απορροής και της έκπλυσης των εδαφών, είτε απευθείας από την ατμόσφαιρα. Ανθρωπογενείς πηγές χαλκού είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες και κυρίως αυτές που αφορούν επιμεταλλώσεις, γαλβανοποιήσεις, κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και καλωδίων, η βιομηχανία λιπασμάτων, οι ναυπηγικές δραστηριότητες, οι εξορυκτικές δραστηριότητες μεταλλευμάτων του χαλκού, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα χρώματα και τα συντηρητικά ξυλείας κ.ά.

Η πρόσληψη του χαλκού σε μεγάλες ποσότητες από τον άνθρωπο εγκυμονεί προβλήματα όπως διαταραχές του κεντρικού νευρικού συστήματος, προβλήματα στο συκώτι και τα νεφρά κ.ά.

**ΝΙΚΕΛΙΟ (Ni):** Το χημικό στοιχείο Νικέλιο έχει ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,71, ειδικό βάρος 8,9, θερμοκρασία τήξης 1453 °C και θερμοκρασία βρασμού 2732 °C. Σταθερό στον αέρα, δεν προσβάλλεται από το νερό και γενικά ανθίσταται στη διάβρωση. Στη φύση δεν βρίσκεται σε αυτοφυή μορφή. Σημαντικές φυσικές ιδιότητες είναι η μαγνητική συμπεριφορά και η αντοχή του σε μεγάλες πιέσεις. Είναι ελατό και όλκιμο και σε θερμοκρασίες δωματίου έχει ιδιότητες όμοιες με αυτές του χάλυβα.

Το Ni απαντάται σε οξειδία και θειούχα ορυκτά και εμφανίζει χημική συγγένεια με το Fe τον οποίο και συνοδεύει. Αποσαθρώνεται εύκολα, μετακινείται και καθιζάνει με μορφή οξειδίων Fe και Mn (Ιωάννου, 2001). Κατά τη διάρκεια της χημικής αποσάθρωσης το Ni είναι αρχικά ευκίνητο και στη συνέχεια καταβυθίζεται κυρίως με τα ένυδρα οξειδία του Fe και του Mn, στα οποία είναι προσροφημένο. Το Ni είναι γενικά ομοιόμορφα κατανεμημένο στις εδαφικές κατατομές. Συχνά όμως παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωσή του στα επιφανειακά εδάφη ως αποτέλεσμα ορισμένων φυσικών αιτίων, ή απόθεσης σε αυτά μέσω ανθρωπογενών δράσεων (Σοφιάνσκα, 2013). Σημαντική είναι η παρουσία του σε σερπεντινωμένα εδάφη. Η περιεκτικότητα των επιφανειακών εδαφών σε Ni αντανakλά την περιεκτικότητα των μητρικών υλικών, τις εδαφογενετικές διεργασίες, αλλά και την πιθανή επιβάρυνση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (McGrath, 1995; Iyaka, 2011; Kabata - Pendias, 2011).

Η μέση περιεκτικότητα του Ni στη λιθόσφαιρα είναι περίπου 100 mg/kg, ενώ στα ιζηματογενή πετρώματα 5-90 mg/kg (Ιωάννου, 2001). Η περιεκτικότητα σε Ni στα εδάφη από όλο τον κόσμο κυμαίνεται από 0,2 έως 450 mg/kg και οι μέσες τιμές που δίνονται είναι 4 έως 92mg/kg (Kabata - Pendias & Pendias, 2001). Οι Kabata - Pendias (2011) δίνουν για αμμώδη εδάφη 7-33 mg/kg, για αργιλώδη 23-50 mg/kg και για ασβεστιούχα 18-92 mg/kg, ενώ ως συνολική μέση τιμή τα 29 mg/kg.

Το νικέλιο βρίσκει εφαρμογές στη μεταλλουργία, σε κράματα και επιμεταλλώσεις. Τα κράματά του χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, αυτοκίνητα, μπαταρίες, καταλύτες, πυρηνικούς αντιδραστήρες κ.ά.

Φυσικά αίτια ως πηγές του στοιχείου στο περιβάλλον περιλαμβάνουν την καύση της βλάστησης από πυρκαγιά, τις ηφαιστειακές εκρήξεις και τη μεταφορά σκόνης από μια περιοχή σε άλλη (Cempel & Nickel, 2005; Iyaka, 2011). Ανθρωπογενείς δράσεις (π.χ. βιομηχανίες, αγροτικές συνήθειες, καύση στερεών και υγρών καυσίμων αλλά και αστικών αποβλήτων (Who, 1991; Clayton & Clayton, 1994) είναι δυνατόν να ελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες του στοιχείου στο περιβάλλον, που καταλήγουν στο έδαφος, ως τον τελικό αποδέκτη και προκαλούν τη ρύπανσή του. Σημαντικές πηγές αποτελούν επίσης οι βιομηχανίες επιμετάλλωσης, η μεταλλουργία Ni, η χρήση ορισμένων φωσφορικών λιπασμάτων, η απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων (Kabata - Pendias & Pendias, 2001; Kabata - Pendias & Mukherjee, 2007; Iyaka, 2011). Ο Nriagu (1990) αναφέρει ότι οι βιομηχανικές εκπομπές Ni είναι ποσοτικά 100 φορές περισσότερες από τις φυσικές πηγές. Μέσω του εδάφους μεταφέρονται με τη διατροφική αλυσίδα στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο. Με την ελάττωση του pH η διαλυτότητα και κινητικότητα του Ni αυξάνει. Έτσι, το pH του εδάφους είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη διαλυτότητα, κινητικότητα και ρόφηση, ενώ η περιεκτικότητα σε άργιλο, τα σιδηρο-μαγγανιούχα ορυκτά και η οργανική ουσία των εδαφών είναι δευτερεύουσας σημασίας (Anderson & Christensen, 1988; Geet al. 2000; Tye et al., 2004; Iyaka, 2011).

Η τοξικότητα του μετάλλου και των ανόργανων ενώσεών του είναι σημαντική. Μερικές από τις ενώσεις του θεωρούνται καρκινογόνες και τερατογόνες. Το νικέλιο σε πολλούς ανθρώπους δημιουργεί αλλεργικές αντιδράσεις. Εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό με την εισπνοή, τη λήψη πόσιμου νερού, την κατανάλωση τροφίμων, του καπνίσματος και την επαφή αντικειμένων με επίστρωση νικελίου με το ανθρώπινο δέρμα, προκαλώντας καρκίνο στον πνεύμονα, γενετικές ανωμαλίες, δερματοπάθειες κ.ά.

**ΧΡΩΜΙΟ (Cr):** Το χημικό στοιχείο Χρώμιο έχει ατομικό αριθμό 24, ατομική μάζα 51,9 και σημείο τήξης 1857 °C. Στο φλοιό της γης αποτελεί συστατικό των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων και βρίσκεται σε αυτόν σε συγκεντρώσεις περίπου 92mg/kg (Rudnick and Gao, 2003). Απαντάται ως ορυκτό με τη μορφή του χρωμίτη. Μαζί με το Ni βρίσκονται σε μεγάλο ποσοστό στα σερπεντινωμένα εδάφη τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση των υπερβασικών πετρωμάτων. Το Cr στο έδαφος συνήθως ελευθερώνεται κατά την αποσάθρωση από τη διάσπαση πυριτικών ορυκτών, ή είναι

καθαρά ανθρωπογενούς προέλευσης. Όλα τα οξείδια του Cr είναι ανθεκτικά στη χημική αποσάθρωση και για αυτό το λόγο και λόγω του μεγάλου τους ειδικού βάρους, το υψηλότερο ποσοστό (>80% της συνολικής περιεκτικότητας) του Cr βρίσκεται στο υπολειμματικό κλάσμα των εδαφών και ιζημάτων (Kabata - Pendias & Pendias, 2001). Η κινητικότητα του Cr εξαρτάται από την παρουσία και την ποσότητα των συστατικών του εδάφους (άργιλος, οργανική ύλη, οξείδια του σιδήρου). Το Cr στα εδάφη έχει σημαντική θετική σχέση με την ποσότητα του λεπτού κοκκομετρικά κλάσματος (Kabata - Pendias & Pendias, 2001). Για αυτό η περιεκτικότητα στα αργιλώδη και ιλυώδη εδάφη είναι υψηλότερη από όσο στα αμμώδη εδάφη. Η παγκόσμια μέση περιεκτικότητα του Cr στα εδάφη είναι 60 mg/kg. Στα αμμώδη εδάφη απαντώνται τιμές 2-360 mg/kg, στα βαριά αργιλώδη 30-1100 mg/kg, στα ασβεστιούχα 22-500 mg/kg και στα οργανικά εδάφη 15-170 mg/kg (Kabata-Pendias, 2011). Η περιεκτικότητα του στοιχείου στο έδαφος καθορίζεται κυρίως από την αφθονία του στο μητρικό πέτρωμα. Έτσι, οι υψηλότερες περιεκτικότητες του γενικά βρίσκονται σε εδάφη που προέρχονται από υπερβασικά και βασικά πετρώματα, καθώς και από αργιλικά ιζήματα. Στα εδάφη που αναπτύσσονται σε σερπεντινίτες, η περιεκτικότητα του Cr μπορεί να ξεπεράσει τα 100.000 mg/kg στο ακίνητο υπολειμματικό κλάσμα (Σοφιάνσκα, 2013). Εμφανίζεται στη φύση είτε στην τρισθενή είτε στην εξασθενή του μορφή. Σε όξινες συνθήκες το  $Cr^{3+}$  είναι ευκίνητο, ενώ το  $Cr^{6+}$  είναι ασταθές και γενικά η συμπεριφορά του εξαρτάται από το pH και την οργανική ουσία (Ιωάννου, 2001). Το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό και θεωρείται υπεύθυνο για καρκινογενέσεις.

Χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία (επιμεταλλώσεις), στην παρασκευή κραμάτων, ως συντηρητικό ξυλείας, στην παρασκευή μη θερμαγωγών τούβλων κ.ά. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές του είναι οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, τα βιομηχανικά απόβλητα, όπως λάσπη ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης, χρωστικές ουσίες με Cr, απόβλητα βυρσοδεψίων, απόβλητα από επεξεργασία δέρματος, η δημοτική λυματολάσπη κ.ά.

**ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb):** Το χημικό στοιχείο Μόλυβδος έχει ατομικό αριθμό 82 και ατομικό βάρος 207,2, ειδικό βάρος 11,3, θερμοκρασία τήξης 327°C και θερμοκρασία βρασμού 1740°C. Η μέση συγκέντρωση του Pb στον ανώτερο φλοιό της γης είναι περίπου 17mg/kg (Rudnick and Gao, 2003), και το κύριο ορυκτό του είναι ο γαληνίτης. Σύμφωνα με τους



Kabata - Pendias & Pendias (2001) η περιεκτικότητα σε Pb διαφορετικών τύπων εδαφών από διαφορετικές χώρες κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 286 mg/kg, ενώ οι μέσες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 10 και 84 mg/kg. Οι χαμηλότερες περιεκτικότητες Pb (μέχρι 40 mg/kg) βρίσκονται στα ελαφρά αμμώδη εδάφη και οι υψηλότερες (έως και 90 mg/kg) σε βαριά αργιλώδη εδάφη. Ορισμένες αυξημένες περιεκτικότητες Pb έχουν επίσης αναφερθεί για ασβεστιούχα και οργανικά εδάφη, έως 65 mg/kg και 80 mg/kg αντίστοιχα (Kabata - Pendias & Pendias, 2001).

Ο μόλυβδος είναι ένα στοιχείο που έχει δημιουργήσει πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, επειδή έχει πάρα πολλές εφαρμογές τόσο στην παλιά όσο και στη σύγχρονη τεχνολογία. Η χρήση του μολύβδου αυξήθηκε ως υλικό για την κατασκευή συσσωρευτών, προστασία καλωδίων, εξωτερικών επενδύσεων και για τη σύνθεση αντικροτικών τα οποία προστίθενται στη βενζίνη. Ο Pb χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή σωλήνων φωταερίου, για την επένδυση ηλεκτρικών αγωγών, για την κατασκευή παιχνιδιών, συσσωρευτών, τυπογραφικών στοιχείων, μπαταριών, στην κεραμική και υαλουργία για τη στίλβωση σκευών, καθώς και σε πολλά εντομοκτόνα. Η ρύπανση του περιβάλλοντος από μόλυβδο προέρχεται κυρίως από τα αέρια απόβλητα καύσης της βενζίνης στην οποία περιέχεται ως αντικροτικό, από τις χρωστικές που έχουν ως βάση τους τον Pb, από τα κυνηγητικά φυσίγγια που πέφτουν μέσα στα υδάτινα οικοσυστήματα κ.ά. Ο μόλυβδος εξέρχεται με τα καυσαέρια, στα οποία βρίσκεται ως οξείδιο του μολύβδου και ως χλωριούχος και βρωμιούχος μόλυβδος (Chettri et al., 1998; Sawidis & Reiss, 1995). Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται αμόλυβδη βενζίνη για την κίνηση των οχημάτων με αποτέλεσμα μια πολύ μικρή βελτίωση της κατάστασης της ρύπανσης από μόλυβδο, αφού η χρήση του αυτή αντιστοιχεί στο 1% της συνολικής χρήσης του. Άλλες ανθρωπογενείς πηγές του είναι οι μεταλλευτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες.

Ο Pb θεωρείται τοξικό μέταλλο το οποίο όταν συσσωρεύεται στους οργανισμούς αναστέλει τη δράση πολλών ενζύμων. Οι οργανικές ενώσεις του είναι πολύ πιο τοξικές από τις ανόργανες. Οι πρώτες τοξικές επιδράσεις εκδηλώνονται στο αιμοποιητικό σύστημα, όπου ο μόλυβδος εμποδίζει τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης. Επηρεάζει επίσης το νευρικό σύστημα και μπορεί να συσσωρεύεται στα κόκκαλα.

### 1.3.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Η μελέτη της κατανομής των ολικών συγκεντρώσεων των μετάλλων στα ιζήματα (δηλαδή των μετάλλων εντός και εκτός του ορυκτού πλέγματος) αποτελεί σημαντική προσέγγιση για την εκτίμηση του βαθμού επιβάρυνσης μιας περιοχής. Ο αναλυτικός προσδιορισμός των ποσοτικών σχέσεων των μετάλλων στα κλάσματα των ιζημάτων καθώς και η σχέση των συγκεντρώσεων με τις χημικές μορφές αποτελούν σημαντική προσέγγιση στην εκτίμηση του βαθμού βιοδιαθεσιμότητας των μετάλλων. Επιπλέον η εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων της κάθε υπό μελέτη περιοχής από βαρέα μέταλλα μπορεί να γίνει και με την εισαγωγή περιβαλλοντικών δεικτών. Οι δείκτες ρύπανσης είναι απλές μαθηματικές σχέσεις που βασίζονται στη σύγκριση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προκύπτει από την ανάλυση των δειγμάτων του ιζήματος με τιμές μη ρυπασμένων συστημάτων της ίδιας περιοχής (συγκέντρωση υποβάθρου).

#### ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ $I_{geo}$

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης ( $I_{geo}$ ) επιτρέπει την εκτίμηση της γεωσυσσώρευσης των μετάλλων στα ιζήματα όταν έχουν συγκέντρωση πάνω από ένα επίπεδο αναφοράς (background) ή συγκέντρωση βάσης (baseline concentration) (Muller, 1981). Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τη σχέση (Πίνακας 1.1):

Πίνακας 1.1: Σχέση υπολογισμού δείκτη γεωσυσσώρευσης (Muller, 1981)

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \cdot B_n}$$

όπου:

$C_n$  είναι η συγκέντρωση του στοιχείου στο έδαφος (στο κλάσμα <2  $\mu\text{m}$ ) και

$B_n$  είναι η μέση συγκέντρωση του στοιχείου  $n$  σε κανονικά ιζήματα (average shale), δηλαδή ιζήματα μη ρυπασμένων περιοχών αβαθών θαλασσών (Wedepohl, 1969).

Η σταθερά 1,5 διορθώνει τις διακυμάνσεις ενός μετάλλου στο περιβάλλον, καθώς και τις πολύ μικρές ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Πίνακας 1.2: Χαρακτηρισμός του βαθμού επιβάρυνσης μιας περιοχής ανάλογα με τις τιμές του δείκτη  $I_{geo}$  (Muller, 1979).

$I_{geo}$	$I_{geo}$ – τάξη	Βαθμός επιβάρυνσης
<0	0	Μη επιβαρυσμένη περιοχή
0-1	1	Μη επιβαρυσμένη έως ελαφρώς επιβαρυσμένη περιοχή
1-2	2	Ελαφρώς επιβαρυσμένη περιοχή
2-3	3	Ελαφρώς έως έντονα επιβαρυσμένη περιοχή
3-4	4	Έντονα επιβαρυσμένη
4-5	5	Έντονα επιβαρυσμένη έως ρυπασμένη περιοχή
>5	6	Ρυπασμένη περιοχή

#### ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ERL-ERM

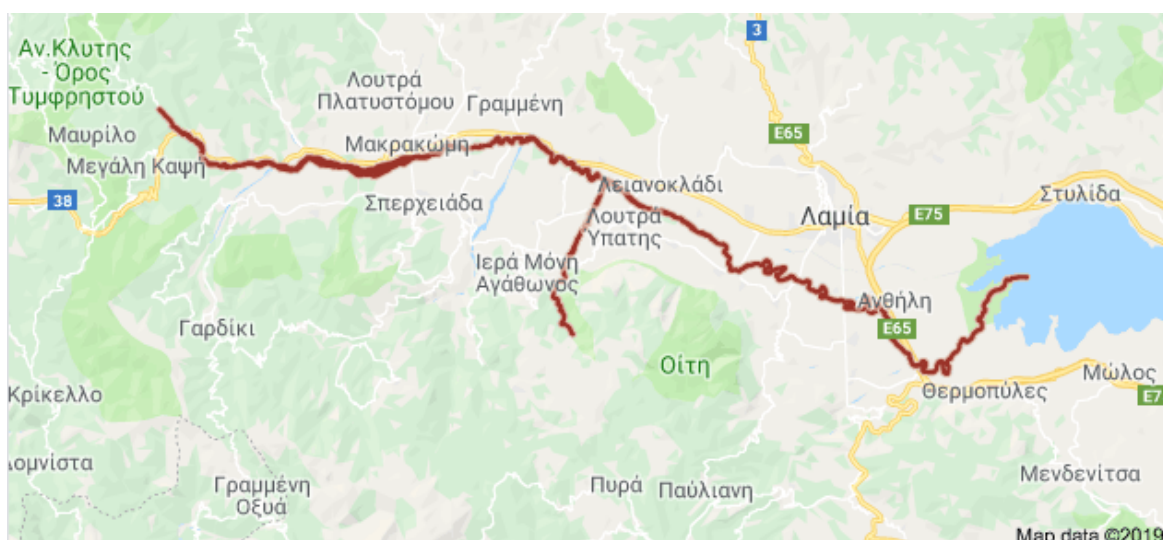
Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα, τα εδάφη κ.λ.π. αποτελούν απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή των οργανισμών. Όταν οι συγκεντρώσεις τους υπερβούν τις φυσιολογικές τιμές καθίστανται τοξικά και επικίνδυνα. Οι Long et al. (1995), μετά από έρευνα, προτείνουν δείκτες που αφορούν εννέα μέταλλα τα οποία παρουσιάζουν βιολογική ή οικολογική επίδραση στους οργανισμούς. Όρισαν τον δείκτη ERL (effects range-low) σαν τη μικρότερη συγκέντρωση μετάλλου που μπορεί να δημιουργήσει επιβλαβή αποτελέσματα σε ποσοστό 10% των παρελθόντων μελετών και τον ERM (effects range- 21 medium) σύμφωνα με τον οποίο το 50% των μελετών ανέφεραν επικίνδυνα αποτελέσματα. Έτσι οι τιμές κάτω από το δείκτη ERL είναι μάλλον απίθανο να δημιουργήσουν προβλήματα ενώ όσες είναι πάνω από τον δείκτη ERM δηλώνουν έντονη τοξικότητα. Τέλος οι τιμές πάνω από τον δείκτη ERL αλλά κάτω από το δείκτη ERM είναι μια ένδειξη για πιθανή εμφάνιση τοξικών αποτελεσμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Σπερχειός είναι ποταμός της Στερεάς Ελλάδας και ρέει στο Νομό Φθιώτιδας. Ανήκει στο υδρογραφικό διαμέρισμα της Κεντρικής Στερεάς Ελλάδας κι ονομαζόταν Αλαμάννα κατά το παρελθόν. Πηγάζει από το όρος Τυμφρηστός (Βελούχι) της Ευρυτανίας, σε υψόμετρο 2327 m, εισέρχεται στη Φθιώτιδα, διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα (κοιλάδα του Σπερχειού) ανάμεσα στην Οίτη και στη δυτική προέκταση του όρους Όθρυς και εκβάλλει στο Μαλιακό κόλπο (δυτικά του χωριού Ανθήλη και βόρεια των Θερμοπυλών), ο οποίος είναι ένας κλειστός, αβαθής και χαμηλής ενέργειας κόλπος, μεταξύ της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας. Το μήκος του είναι 82,5 km. Διέρχεται από τα όρια αρκετών κωμοπόλεων και χωριών, από τα οποία τα μεγαλύτερα είναι η Σπερχειάδα, η Μακρακώμη, το Λειανοκλάδι και η Ανθήλη, ενώ περνά τρία χιλιόμετρα νότια από την πόλη της Λαμίας (Εικόνα 2.1).

Καθ' όλο το μήκος της διαδρομής του τροφοδοτείται από 63 ποταμοχειμάρρους. Στο βορειανατολικό τμήμα βρίσκεται η πόλη της Λαμίας, που είναι η πρωτεύουσα του νομού Φθιώτιδας.



Εικόνα 2.1: Σπερχειός ποταμός (πηγή: προσαρμογή από google.gr/maps)

Ο πληθυσμός του νομού Φθιώτιδας ανέρχεται σε 169.542 κατοίκους, ενώ η Λαμία έχει

50.551 κατοίκους (ΕΣΥΕ, 2001, απογραφή 2001). Ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός του νομού υπολογίζεται σε 62.448 άτομα, τα οποία κατανέμονται στους παραγωγικούς τομείς ως εξής: α) Στον πρωτογενή τομέα το 29%, στο δευτερογενή το 17% και στον τριτογενή τομέα (εμπόριο, υπηρεσίες, τουρισμός) το 40% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού (Βακιρτζίδης, 1995).

Η γεωργία είναι η σημαντικότερη δραστηριότητα του πρωτογενούς τομέα στο νομό Φθιώτιδας. Οι γεωργικές εκτάσεις καταλαμβάνουν το 26,4 % της έκτασης της λεκάνης του Σπερχειού, οι βοσκότοποι το 34,1%, τα δάση το 34,85% και οι υπόλοιπες εκτάσεις το 4,7% (Δασενάκης κ.ά., 2005). Η γεωργική εκμετάλλευση είναι προσανατολισμένη σε περιορισμένο αριθμό καλλιεργειών. Κυριότερες είναι οι αροτραίες καλλιέργειες, οι οποίες καλύπτουν το 71% των γεωργικών εκτάσεων και ειδικότερα τα σιτηρά για καρπό (43,6%) και τα βιομηχανικά φυτά (19,4%). Οι δενδρώδεις καλλιέργειες καταλαμβάνουν το 24,4% του συνόλου των καλλιεργειών και αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από ελαιώνες. Στην περιοχή του δέλτα του Σπερχειού καλλιεργούνται μεγάλες εκτάσεις με ρύζι (Βακιρτζίδης, 1997). Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής ευνοούν την εκτροφή τόσο μεγάλων όσο και μικρών ζώων. Τα σημαντικότερα αγροτικά ζώα που εκτρέφονται είναι οι αίγες, τα πρόβατα, τα βοοειδή, οι χοίροι και τα πουλερικά, ενώ σημαντική για την περιοχή είναι η εκτροφή μελισσών, η οποία αντιστοιχεί στο 1,6% περίπου του συνόλου της χώρας, με βάση τον αριθμό κυψελών (Βακιρτζίδης, 1997).

Η αλιεία στο Μαλιακό κόλπο διενεργείται από περίπου 320 σκάφη παράκτιας αλιείας και ασχολούνται με αυτή περίπου 600 ψαράδες. Ο τύπος των σκαφών είναι κυρίως το τρεχαντήρι και δευτερευόντως η κουρίτα. Το κυριότερο αλιευτικό κέντρο της περιοχής είναι η Στυλίδα, στην οποία εδρεύει και ο Αλιευτικός Συνεταιρισμός Στυλίδας, ο οποίος αλιεύει το μεγαλύτερο μέρος της αλιευτικής παραγωγής του Μαλιακού κόλπου. Τα κυριότερα αλιευόμενα είδη ψαριών είναι ο κέφαλος, το γοφάρι, η γλώσσα, το κοκάλι, το λαβράκι κ.λ.π. (Κουτσάκης, 1995).

Από το 1988, έχει ξεκινήσει η εγκατάσταση υχθυοκαλλιεργητικών και οστρακοκαλλιεργητικών μονάδων στο Μαλιακό κόλπο. Τα ύδατα του Μαλιακού προσφέρονται για την ανάπτυξη τέτοιων μονάδων, ενώ η μορφολογία του κόλπου προσφέρει σε πολλές περιοχές την κατάλληλη φυσική προστασία. Τα είδη που

εκτρέφονται είναι η τσιπούρα, το λαβράκι, το μύδι, το κυδώνι και το στρείδι. Επίσης, στο νομό Φθιώτιδας, υπάρχουν και υδατοκαλλιέργειες γλυκού νερού, με γνωστότερη μια μονάδα παραγωγής πέστροφας και σολομού στο Γοργοπόταμο (Βακιρτζίδης, 1997).

Στη λεκάνη του Σπερχειού ο δευτερογενής τομέας δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένος. Έτσι, οι βιομηχανίες είναι σχετικά λίγες και μικρής δυναμικότητας. Συνολικά, στο νομό Φθιώτιδας υπάρχουν 316 μονάδες, οι οποίες απασχολούν 5.818 εργαζόμενους. Οι κύριοι κλάδοι παραγωγής είναι αυτοί των τροφίμων-ποτών, της παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και της ένδυσης. Επίσης, σημαντική είναι η παρουσία των ελαιοτριβείων (18 μονάδες). Οι περισσότερες μονάδες είναι διάσπαρτες, με εξαίρεση το συγκρότημα Βιομηχανικής Περιοχής Λαμίας της ΕΤΒΑ, στο οποίο είναι συγκεντρωμένες 19 παραγωγικές εγκαταστάσεις.

Ο τουρισμός αποτελεί ένα δυναμικό κλάδο της περιοχής, παρουσιάζει αξιόλογη αυξητική τάση και συμβάλλει σημαντικά στο κατά κεφαλήν εισόδημα. Στο νομό Φθιώτιδας υπάρχουν, συνολικά, σύμφωνα με στοιχεία του Ε.Ο.Τ., 216 ξενοδοχειακές μονάδες όλων των ειδών (Βακιρτζίδης, 1995).

Οι κυριότεροι λιμένες της περιοχής είναι αυτοί της Στυλίδας και της Αγίας Μαρίνας. Σε αυτούς γίνονται φορτώσεις και εκφορτώσεις εμπορευμάτων, κυρίως λιπασμάτων, ξυλείας και μεταλλευμάτων, από 3 πλοία το μήνα, κατά μέσο όρο.

## 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο Σπερχειός είναι ένα ποτάμι που αναφέρεται συχνά στα ιστορικά στοιχεία. Δυτικά του χωριού Παράβολο έχουν εντοπισθεί τα πρώτα ίχνη ζωής(οικισμός μέσης νεολιθικής εποχής). Αναφορές έχουν γίνει και σε διάφορες φυλές που κατοικούσαν στις όχθες του ποταμού, όπως οι Αινιάνες που εγκαταστάθηκαν δυτικά του Σπερχειού, επίσης οι Μαλιείς ανατολικά της κοιλάδας και τέλος οι Οιταίοι που προτίμησαν να εγκατασταθούν ορεινά, στην Οίτη.

Στην ελληνική μυθολογία ο Σπερχειός λατρευόταν ως θεότητα και ήταν γιος του Ωκεανού και της Γης. Κατά την αρχαιότητα τον ονόμασαν Διυετή καθώς ήταν πηγή ζωής αλλά και καταστροφών και υποστήριζαν ότι ήταν σταλμένος από το Δία, γι' αυτό τον θεωρούσαν

προστάτη της περιοχής. Επίσης, μια άλλη ερμηνεία είναι πως οι αρχαίοι αγνοούσαν τις πηγές του ποταμού και υποστήριζαν πως είναι στον ουρανό ως θείο δώρο από τον Δία.

Ο Όμηρος στην Ιλιάδα αναφέρεται στον Πηλέα, πατέρα του μυθικού ήρωα Αχιλλέα, ο οποίος είχε υποσχεθεί να κάνει θυσίες κοντά στο βωμό του Σπερχειού, αν γυρνούσε ζωντανός ο γιος του από την Τροία. Ο Ηρόδοτος αναφέρει το Σπερχειό στη μάχη των Θερμοπυλών (480 π.Χ.). Κάποιες αρκετά σημαντικές μάχες είναι επίσης η μάχη του Σπερχειού το 996 μ.Χ. μεταξύ του Νικηφόρου Ουρανού και των Βουλγάρων του τσάρου Σαμουήλ και η μάχη στη γέφυρα της Αλαμάνας τον Απρίλιο του 1821, μεταξύ των Ελλήνων και των Τούρκων του Κιοσέ Μεχμέτ και του Ομέρ Βρυώνη. Μετά από ηρωικό αγώνα αιχμαλωτίστηκε ο Αθανάσιος Διάκος, ο οποίος θανατώθηκε στη Λαμία. Ένα ακόμη σπουδαίο ιστορικό γεγονός στις όχθες του Σπερχειού είναι η ανατίναξη της γέφυρας του Γοργοποτάμου από τις ενωμένες ελληνικές αντιστασιακές οργανώσεις ΕΛΑΣ και ΕΔΕΣ, στις 25 Νοεμβρίου του 1942.

### 2.3 ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι ιδιαίτερα διαταραγμένο από πλήθος παρεμβάσεων που στόχο είχαν την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, τα σημαντικότερα αντιπλημμυρικά έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή μελέτης είναι τα παρακάτω (Δαουλιάς, 1995):

- Το 1957-58 πραγματοποιήθηκε η εκτροπή του π. Σπερχειού, η οποία ξεκινά στην περιοχή του οικισμού Κόμμα και με διεύθυνση νοτιοδυτική - νοτιοανατολική και μήκος περίπου 10 km εκβάλλει στο Μαλιακό κόλπο. Στην περιοχή του οικισμού Κόμμα, πραγματοποιείται με ένα φράγμα εκτροπής από σκυρόδεμα, τύπου εκχειλιστή (μεριστής), ο διαχωρισμός της ροής του ποταμού στην παλιά ή την καινούρια κοίτη. Η εκτροπή λειτουργεί κατά τις περιόδους πλημμυρικών παροχών του ποταμού, ενώ κατά την ξηρή περίοδο η ροή του Σπερχειού κατευθύνεται, σχεδόν στο σύνολό της, στη φυσική κοίτη, η οποία διέρχεται από την περιοχή μεταξύ Ανθήλης και Θερμοπυλών. Η διατομή της νέας κοίτης του Σπερχειού είναι τραπεζοειδής, με παροχετευτικότητα 300 m<sup>3</sup>/s. Το πλάτος της νέας κοίτης είναι περίπου 20 m, ενώ στο ύψος των πλευρικών

αναχωμάτων φτάνει τα 130 m περίπου κατάντη της Εθνικής Οδού και 60 m ανάντη της Εθνικής Οδού (Δαουλάς, 1995).

- Το 1944 κατασκευάστηκε η τάφρος Λαμίας (ή Γερμανική Τάφρος), η οποία ξεκινά από την περιοχή μεταξύ των οικισμών Αμούριον και Σταυρός, διέρχεται από την περιοχή νότια της Λαμίας και αφού διασχίσει την περιοχή Ανθήλης - Μεγάλης Βρύσης, συναντά τη νέα κοίτη του ποταμού Σπερχειού και εκβάλλει στο Μαλιακό κόλπο. Στη τάφρο Λαμίας καταλήγει το νερό λόγω υπερχειλίσης του Σπερχειού, ενώ δέχεται και τα πλημμυρικά νερά των βόρειων περιοχών, και ιδιαίτερα του χειμάρρου Ξεριά. Η τάφρος, στα τμήματα όπου δεν έχει ολοκληρωθεί η διευθέτηση, έχει πλάτος 10 m, βάθος 1.5 m και παροχετευτικότητα 30 m<sup>3</sup>/s. Παράλληλα σημειώνεται ότι κατά τη δεκαετία του 1950 πραγματοποιήθηκε ο εγκιβωτισμός της φυσικής κοίτης του Σπερχειού μεταξύ της Σιδηροδρομικής Γέφυρας και της οδικής γέφυρας κοντά στο χωριό Κόμμα. Αποτελείται από ένα συνεχές αριστερό ανάχωμα μήκους 5 km, καθώς και ένα δεξιό ανάχωμα που διακόπτεται στη συμβολή του Σπερχειού με το Γοργοπόταμο. Σε απόσταση περίπου 700 m κατάντη της Σιδηροδρομικής Γέφυρας, υπάρχει σημείο θεληματικής θραύσης του αριστερού αναχώματος, σε περίπτωση εξαιρετικά έντονων πλημμυρών. Αντίστοιχα έργα εγκιβωτισμού πραγματοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1970 κατά μήκος του χειμάρρου Βίστριζα μεταξύ των οικισμών Αγίου Σώστη και Καστρί. Στις αρχές του 1980 έγιναν έργα συντήρησης (καθαρισμός, εκβάθυνση και διαπλάτυνση της κοίτης).

Το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έχει διαταραχθεί επιπλέον από:

- Την κατασκευή σποραδικών προστατευτικών αναχωμάτων στην περιοχή ανάντη της Σιδηροδρομικής Γέφυρας και στην κοίτη της Αλαμάνας (Μεντζαφού κ.ά., 2015).
- Διάφορα έργα υποδομής που έχουν υλοποιηθεί στην περιοχή, όπως το οδικό δίκτυο (Νέα Εθνική Οδός, Παλαιά Εθνική Οδός, Εθνική οδός Λαμίας – Καρπενησίου).
- Διάφορα αρδευτικά έργα (Ανθήλης – Μεγάλης Βρύσης, Λειανοκλαδίου – Ζηλευτού – Αμουρίου, Ίναχου κ.ά.) (Ρέγκλη, 2019).

#### 2.4 ΔΕΛΤΑ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

Το δέλτα του ποταμού αποτελείται από τρεις εκβολές και από μορφολογική άποψη ανήκει στον τύπο πέλματος πτηνού. Αυτός ο τύπος πέλματος σχηματίζεται όταν το νερό



του ποταμού που καταλήγει στη θάλασσα έχει μικρότερη πυκνότητα από αυτή του θαλασσινού νερού, με συνέπεια, το νερό του ποταμού που εισέρχεται στη θάλασσα σαν προεξέχουσα ροή, να επιπλέει και τα υλικά που μεταφέρει να σχηματίζουν φυσικά αναχώματα δημιουργώντας πολλές κοίτες (Πεχλιβανίδου, 2012; Ρουλος, 1996).

Η βορειότερη εκβολή (1) σχηματίστηκε μετά την κατασκευή της «Γερμανικής τάφρου», του αποστραγγιστικού καναλιού που έγινε το 1957-1958 (Εικόνα 2.2).

Η νότια εκβολή (3) είναι μια παλαιότερη, ανενεργή σήμερα εκβολή του ποταμού, ενώ η ενδιάμεση εκβολή (2) αποτελεί τον κεντρικό κλάδο του δέλτα του ποταμού (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Οι εκβολές του Σπερχειού (πηγή: προσαρμογή από google.maps.com)

Το δέλτα του Σπερχειού ανήκει στο δίκτυο Natura και σύμφωνα με τους Μεντζαφού κ.ά. (2015), ο υγροβιότοπος περιλαμβάνει όλη την παράκτια περιοχή των εκβολών της παλιάς και νέας κοίτης του ποταμού και ειδικότερα τα τμήματα των εκτάσεων των κοινοτήτων Ανθήλης, Ροδίτσας, Μεγάλης Βρύσης, Αυλακιού, Μοσχοχωρίου, Δαμάστας, Ηράκλειας, Θερμοπυλών, Αγ. Τριάδας και Αγ. Μαρίνας, την περιοχή που επεκτείνεται

μέσα στη θάλασσα του Μαλιακού Κόλπου και τις φυσικές αβαθείς "παράκτιες" εκτάσεις μέχρι βάθους περίπου 6 μέτρων, συνολικής εκτάσεως περίπου 200.000 στρεμμάτων.

Ο ρους του ποταμού έχει αλλάξει αρκετές φορές, παραμένοντας όμως στο νότιο τμήμα της τάφρου, προσχώνοντας την περιοχή μπροστά από τις Θερμοπύλες. Η τελευταία φορά που έγινε εκτροπή της κοίτης ήταν το 1889, όταν επήλθε ρήξη του φυσικού της αναχώματος. Η αύλακα υπερχείλισης, που διανοίχθηκε το 1957-58, βόρεια της αρχικής κοίτης, έχει δημιουργήσει μια δεύτερη εκβολή, που προσχώνει μια εκτεταμένη αβαθή περιοχή του δυτικού Μαλιακού κόλπου (Εικόνα 2.2). Η δελταϊκή πεδιάδα του Σπερχειού αποτελείται από τα αναχώματα των διακλαδιζόμενων κοιτών, των μεταξύ αυτών δελταϊκών ελών και βάλτων και των παλιρροιακών επιφανειών (Μαρουκιάν & Παυλόπουλος, 1997).

Ο Σπερχειός παρουσιάζει συχνές πλημμύρες και πολύ ευμετάβλητη στερεοπαροχή. Από το 480 π.Χ. μέχρι το 1970 μ.Χ., σε διάστημα 2.450 ετών, έχει καλύψει μια έκταση πάνω από 110 km<sup>2</sup>, δηλαδή 0,041 km<sup>2</sup>/έτος (41 στρέμματα/έτος). Αυτή η ταχύτητα έχει αυξηθεί τα τελευταία 118 χρόνια (1852-1970) σε 130 στρέμματα/έτος (Zamani & Maroukian, 1979, 1980). Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια (1984-1999), η ακτογραμμή παραμένει σταθερή. Οι κύριες αλλαγές την τελευταία αυτή περίοδο στην δελταϊκή πεδιάδα είναι ανθρωπογενείς και περιλαμβάνουν διάφορες υποκατασκευές, όπως αποστραγγιστικά κανάλια, αντιπλημμυρικά έργα και οδοποιίες (Psomiadis et al., 2005).

Η σπουδαιότητα του οικοσυστήματος των εκβολών του Σπερχειού αποδεικνύεται από το γεγονός ότι θεωρείται σημαντική περιοχή για την ορνιθοπανίδα της Ευρώπης και συμπεριλαμβάνεται στον πίνακα IBAs της ICBP, συγκαταλέγεται στον πίνακα Corine Biotops της Ε.Ε. και χαρακτηρίζεται ως Special Protection Area (SPA). Επίσης, ανήκει στο δίκτυο Natura 2000 σύμφωνα με την Οδηγία 92/43 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ έχει προταθεί να συμπεριληφθεί στους υγρότοπους της Σύμβασης Ραμσάρ (Σφήκας, 2004; Στασινός, 1995).

Στο σύστημα των εκβολών του Σπερχειού απαντώνται όχι μόνο τα είδη των ψαριών αυτού καθαυτού του ποταμού, αλλά και πολλά θαλάσσια είδη, καθώς και είδη χαρακτηριστικά των υφάλμυρων υδάτων, όπως κυπρίνος, χέλι, τσιπούρα, λαβράκι κ.ά. (Περγαντής, 1997). Επίσης, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στο Λιβάρι, μια ρηχή

θαλάσσια περιοχή μεταξύ των σημερινών εκβολών του Σπερχειού ποταμού και της Αγ. Μαρίνας. Το Λιβάρι είναι μια αβαθής θαλάσσια έκταση 5.000 στρεμμάτων, που έχει σχηματιστεί βόρεια των εκβολών του Σπερχειού και που εμφανίζει χαρακτηριστικά λιμνοθάλασσας. Το βάθος του κυμαίνεται από 0 έως 8m. Αποτελεί ένα αξιόλογο οικοσύστημα και είναι χώρος συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού ιχθυδίων (νηπιοτροφείο ψαριών), όπου περνούν τα πρώτα στάδια της ζωής τους για να καταλήξουν αργότερα στο Μαλιακό. Έτσι, με το Π.Δ. 144/86 (ΦΕΚ 53Α/86) απαγορεύτηκε η αλιεία στην εν λόγω περιοχή (Ρίζος, 1995). Σημαντική είναι επίσης η εμφάνιση στις καρστικές πηγές της Αγίας Παρασκευής του ενδημικού είδους *Pungitius hellenicus* (ελληνοπυγόστεος) και στις θερμές πηγές των Θερμοπυλών του αφρικανικού είδους *Tilapia nilotica*.

## 2.5 ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Με απόφαση του Υπουργείου Γεωργίας (88175/2415/22-6-87, ΦΕΚ 343/1987), έκταση 1.225 ha που καλύπτει τμήμα των εκβολών του Σπερχειού έχει ανακηρυχθεί ως μόνιμο καταφύγιο θηραμάτων. Στην περιοχή υπάρχουν επίσης άλλα 3 από τα 10 μόνιμα καταφύγια θηραμάτων της Φθιώτιδας: Στον Προφήτη Ηλία (με έκταση 3.500 ha), στις Θερμοπύλες (με έκταση 2.000 ha) και στην περιοχή Κομνήνης-Ρεγγινίου (με έκταση 2.400 ha).

Με το Π. Δ. 144/86 απαγορεύτηκε η αλιεία στην αβαθή θαλάσσια περιοχή «Λιβάρι» έκτασης 500 ha, όπου υπάρχει φυσικό ιχθυοπαραγωγικό πάρκο. Η περιοχή αυτή λειτουργεί ως πηγή εμπλουτισμού αλιευμάτων του Μαλιακού Κόλπου.

Από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση ελήφθη απόφαση απαγόρευσης της αλιείας με το αλιευτικό Αργαλειός εντός των ορίων του Μαλιακού κόλπου μέχρι την 31/12/1996.

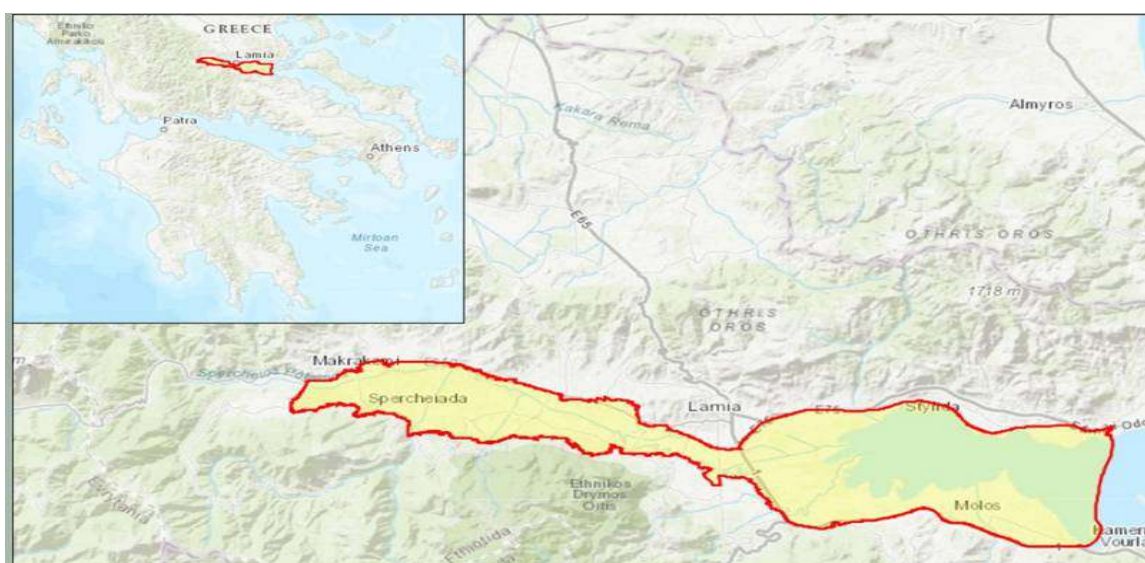
Με απόφαση των τεσσάρων Νομαρχών Ανατολικής Αττικής, Βοιωτίας, Εύβοιας και Φθιώτιδας (19640/14-11-79, ΦΕΚ 1136/27-12-79) καθορίστηκαν οι περιοχές διάθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων στις ακτές των τεσσάρων νομών, οι οποίες περιλαμβάνουν και τον Μαλιακό Κόλπο. Σε έκταση 110 ha του πυρήνα του υγρότοπου του Δέλτα Σπερχειού απαγορεύεται η βόσκηση με Υπουργική Απόφαση.

Η περιοχή προτάθηκε ως Ειδική Ζώνη Προστασίας (SpecialProtectedArea, SPA) σύμφωνα

με την Οδηγία 79/409/ΕΟΚ, τον Ιούνιο του 1994, ενώ έχει επίσης χαρακτηριστεί ως Σημαντική για την Ορνιθοπανίδα Περιοχή (Important Bird Area, IBA) από το Διεθνές Συμβούλιο Προστασίας των Πουλίων (ICBP) με αριθμό 065.

Η περιοχή του δέλτα Σπερχειού περιλαμβάνεται στον κατάλογο των «τόπων» μείζονος σημασίας για τη διατήρηση της φύσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που καταρτίστηκε με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος «CORINEBIOTOPES».

Τέλος, η περιοχή, είναι περιοχή Natura 2000 με αριθμό GR2440002 (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3: Περιοχή Natura 2000, κοιλάδα και εκβολές Σπερχειού-Μαλιακός κόλπος-Μεσοχώρι Σπερχειού (GR2440002), (πηγή: votaniki.gr).

## 2.6 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα της περιοχής του νομού Φθιώτιδας χαρακτηρίζεται ξηρό Μεσογειακό έως υγρό Ηπειρωτικό. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,7 °C, ενώ η μέση βροχόπτωση 785 mm (Roulos et al., 1996). Οι σημαντικές βροχοπτώσεις παρατηρούνται συνήθως μεταξύ Σεπτεμβρίου και Απριλίου ή Μαΐου, λόγω των χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων της Αδριατικής - Βαλκανικής, που συνοδεύουν επικρατούντες δυτικούς- βορειοδυτικούς ανέμους την εποχή αυτή (Γεωργίου, 1995). Πιο συγκεκριμένα, η μέση ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7,3°C, ενώ η μέγιστη μεταξύ 27,8 και 32°C (Καλλιδρομίτου, 1995).

Η περιοχή της κοιλάδας του Σπερχειού χαρακτηρίζεται από θερμό ξηρό καλοκαίρι και ήπιο χειμώνα. Η γεωμορφολογία της ευρύτερης λεκάνης και η επίδραση της θάλασσας, δημιουργούν όμως μικροκλιματικές διαφοροποιήσεις. Το κλίμα κοντά στον Μαλιακό κόλπο είναι τυπικό Μεσογειακό, ενώ στο εσωτερικό της λεκάνης είναι μεταβατικό προς το ηπειρωτικό. Για τη διερεύνηση των κλιματικών συνθηκών και της ταυτότητας του κλίματος χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Λαμίας (Γ.Π.: Ν 38.51, Γ.Μ.:Ε 22.24 και υψόμετρο 144 m) για το διάστημα 1970-1992.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία (Πίνακας 2.1) ανέρχεται σε 16.5 °C με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο (με μέση μηνιαία θερμοκρασία 7.0 °C) και θερμότερο τον Ιούλιο (με μέση μηνιαία θερμοκρασία 26.7 °C). Η μέση ετήσια σχετική υγρασία (Πίνακας 2.2) είναι 64.9 %, ενώ η υψηλότερη τιμή μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας εμφανίζεται το Δεκέμβριο και η χαμηλότερη τον Ιούλιο. Η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε στο διάστημα αυτό των 23 ετών ήταν -7.0 °C (Πίνακας 2.3), ενώ η απόλυτη μέγιστη 46.5 °C (Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.1: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας)

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέση ετήσια θερμοκρασία
<b>1970</b>	10.2	11.3	12.3	17.7	18.8	24.6	26.8	27	22.2	16.2	13.6	9.1	17.5
<b>1971</b>	8.9	7.3	9.6	14	21.2	25.5	25.2	26.2	20.9	15.6	12.5	9	16.3
<b>1972</b>	6.7	7.6	10.9	16	21	26.1	27.1	26.3	21.8	14.3	13.2	7.2	16.5
<b>1973</b>	6	8.7	8.2	14.7	22	24.3	25	25.4	23.2	17.6	11.7	9.2	16.3
<b>1974</b>	6.8	9	10.1	12.8	19.6	24.7	27.1	26.4	22.6	19	12.5	8.9	16.6
<b>1975</b>	7.2	6.3	12.6	16.2	20.9	23.9	26.9	24.8	24.5	17.4	11.5	8	16.7
<b>1976</b>	8.6	6.6	9.4	14.8	18.9	23.6	26	23.8	22.1	17.5	12.5	9.3	16.1
<b>1977</b>	8.1	13	12.5	15.7	21.6	25.8	28.7	27.4	21.4	16.3	14.6	6.9	17.7
<b>1978</b>	5.8	10.1	11.9	14.3	20	26.1	27.2	25.6	20.8	15.4	10.1	11.1	16.5
<b>1979</b>	7.5	9.2	13.1	13.8	19.8	26.1	26.1	26.1	22.9	15.7	12.9	9.9	16.9
<b>1980</b>	5.7	7	10.4	13.5	18.3	24.6	27.8	26.1	22.3	18.8	14.5	9.2	16.5
<b>1981</b>	3.9	8	13.3	15.6	18.8	26.3	26.4	25.5	22.9	20.4	11	11	16.9
<b>1982</b>	7.8	5.6	9.5	13.1	18.5	25.5	26.6	26.8	23.7	18.1	11	8.8	16.3
<b>1983</b>	6.6	5.4	10.4	16.7	21.9	23	26.7	24.7	21.8	15.7	10.8	7.4	15.9
<b>1984</b>	7.5	7.8	9.6	12.5	20.2	24.8	26.3	24.3	22.9	18.8	11.8	7.2	16.1
<b>1985</b>	7.6	6.2	10	16.8	21.8	25.9	26.4	26.4	21.8	14.6	13	9.2	16.6
<b>1986</b>	8.6	8.5	10.3	16.3	19.9	25.4	26.3	26.3	22.2	16.1	10.1	6.1	16.3
<b>1987</b>	8.3	8.9	5.3	13.8	18.5	25.1	27.5	25.6	23.5	15.6	11.4	8.4	16.0
<b>1988</b>	8.6	7.7	10.6	13.7	20.8	26.4	29.1	26.8	22.8	16	8.6	6.3	16.5
<b>1989</b>	5.2	8.2	11.7	17.1	19.1	24.4	25.8	26.2	22.8	15.3	11.	6.8	16.2
<b>1990</b>	5.1	9	12.6	15.9	20.5	25.6	27.4	25.3	22.4	17.2	13.1	8.1	16.9
<b>1991</b>	5.4	7.2	11.1	13.7	18.1	26.2	26.2	24.6	21.7	17.8	11.	4	15.6
<b>1992</b>	6	6.5	9.8	15.2	17.7	24.5	25.4	26.9	21.5	20	12.2	6.5	16.0
<b>Μέση μηνιαία θερμοκρασία</b>	7.0	8.0	10.7	15.0	19.9	25.1	26.7	25.8	22.4	16.9	12.0	8.2	16.5

Πίνακας 2.2: Μέση μηνιαία και μέση ετήσια σχετική υγρασία για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας)

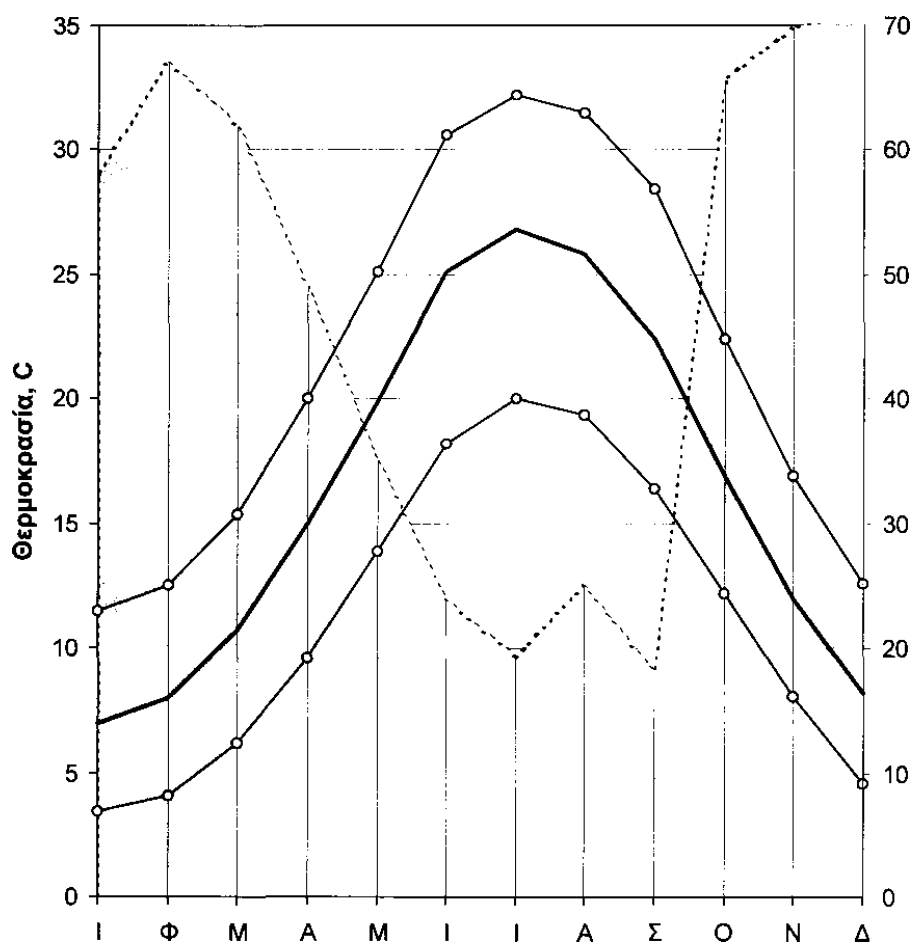
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέση ετήσιασχ. υγρασία	
<b>1970</b>	75.7	61.4	61.6	48.7	54.2	49.0	47.8	45.9	56.5	67.8	61.7	68.8	58.3
<b>1971</b>	77.3	75.2	67.5	68.2	53.6	48.6	49.9	52.2	63.5	64.1	70.9	68.6	63.3
<b>1972</b>	87.8	84.2	68.3	69.3	54.3	48.9	51.5	50.2	66.5	76.0	66.0	81.3	67.0
<b>1973</b>	83.3	75.0	72.7	57.0	50.7	50.5	47.5	52.7	61.8	66.9	68.7	78.9	63.8
<b>1974</b>	78.0	76.0	74.6	70.2	53.2	51.3	41.1	46.9	57.2	60.3	72.7	62.9	62.0
<b>1975</b>	68.8	73.0	64.9	54.3	65.6	55.9	49.5	57.3	53.9	64.1	77.4	76.5	63.4
<b>1976</b>	62.8	77.9	78.4	64.9	63.9	51.6	50.1	53.6	52.3	75.0	74.9	72.0	64.8
<b>1977</b>	70.7	61.3	61.9	54.2	53.4	45.6	42.3	43.7	58.3	66.4	74.0	75.1	58.9
<b>1978</b>	77.0	73.7	63.4	68.6	57.4	45.4	44.3	47.4	59.1	73.1	69.0	73.4	62.7
<b>1979</b>	67.5	75.7	68.6	65.5	64.7	45.0	52.4	51.6	56.0	79.4	75.0	72.6	64.5
<b>1980</b>	77.6	76.6	73.3	66.4	61.1	49.1	44.0	56.7	61.1	66.9	74.7	69.3	64.7
<b>1981</b>	73.7	71.2	67.1	61.2	56.0	50.5	46.5	53.4	60.2	64.4	65.9	71.0	61.8
<b>1982</b>	75.6	75.9	73.7	76.8	66.7	53.4	50.0	52.8	61.3	71.2	76.9	77.6	67.7
<b>1983</b>	70.1	70.3	69.4	62.2	52.7	57.9	58.3	59.0	59.9	72.0	85.5	85.1	66.9
<b>1984</b>	80.7	87.7	79.0	78.1	59.3	46.9	44.6	60.2	58.7	67.0	79.3	81.6	68.6
<b>1985</b>	80.6	73.8	81.3	62.6	62.7	45.8	49.0	47.6	59.2	71.9	79.7	81.9	66.3
<b>1986</b>	74.3	79.8	83.0	59.6	63.6	50.1	55.8	55.3	60.1	72.6	79.4	73.5	67.3
<b>1987</b>	76.6	77.4	76.2	65.9	60.1	52.3	52.6	59.3	63.4	82.2	83.0	82.8	69.3
<b>1988</b>	86.6	76.6	67.9	69.9	60.1	46.8	49.2	52.7	58.8	67.0	76.1	78.3	65.8
<b>1989</b>	68.5	73.6	77.1	61.2	60.4	49.8	56.8	50.9	61.2	69.3	76.5	82.6	65.7
<b>1990</b>	74.8	67.7	59.7	64.9	55.4	46.1	47.0	55.0	59.6	74.4	79.8	86.2	64.2
<b>1991</b>	79.1	78.3	82.9	76.1	62.9	50.9	55.3	65.7	66.3	67.6	82.5	69.7	69.8
<b>1992</b>	71.2	64.6	67.8	67.5	68.0	55.6	58.0	55.1	61.7	64.4	71.3	78.5	65.3
<b>Μέση μηνιαία σχ. υγρασία</b>	75.6	74.2	71.3	64.9	59.1	49.9	49.7	53.3	59.9	69.7	74.8	76.0	64.9

Πίνακας 2.3: Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (°C) για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας).

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
<b>1970-92</b>	-6,2	-6,6	-6,9	1,8	4,4	9,0	12,6	12,8	7,4	-1,2	-2,4	-7,0

Πίνακας 2.4: Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία (°C) για την περίοδο 1970-1992 (Μ.Σ. Λαμίας).

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
<b>1970-92</b>	24,1	26,3	26,6	35,3	39,6	42,3	46,5	41,1	37,4	37,4	30,0	24,6



Εικόνα 2.4: Ομβροθερμικό διάγραμμα (πηγή: Μ.Σ. Λαμίας).

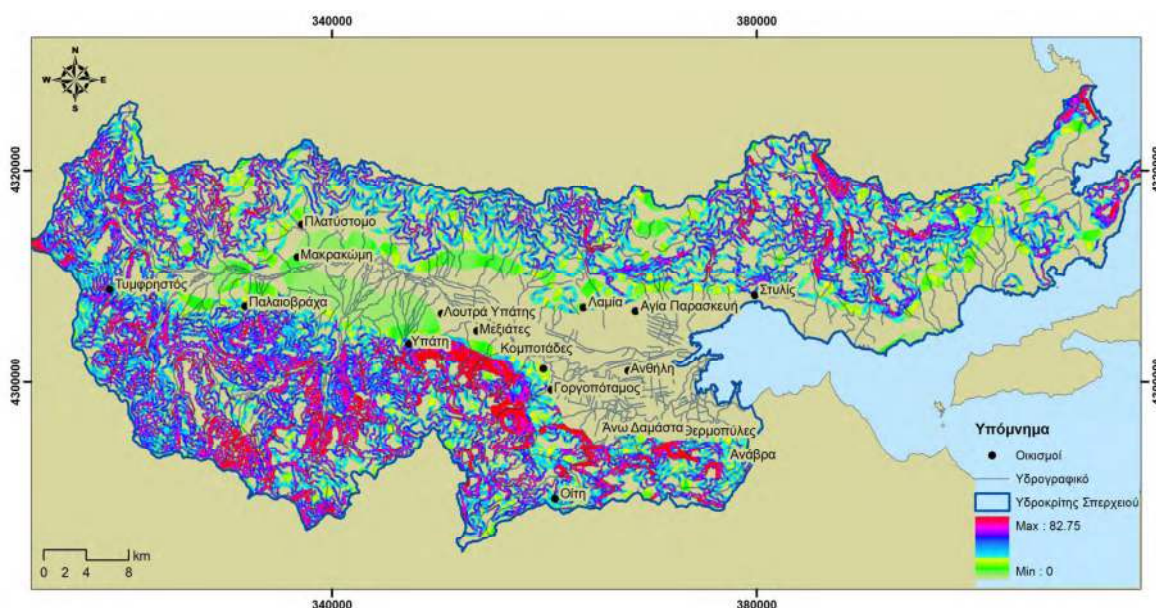
Όπως φαίνεται στο ομβροθερμικό διάγραμμα κατά Bagnouls-Gaussien (Εικόνα 2.4), η ξηροθερμική περίοδος στην περιοχή, εντοπίζεται χρονικά από τα μέσα Απριλίου ως τα



μέσα Σεπτεμβρίου.

## 2.7 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη απορροής του Σπερχειού έχει συνολική επιφάνεια 2116 km<sup>2</sup>, με μήκος 60-80 km και πλάτος 20-30 km. Είναι μια ταφροειδής στενή λωρίδα με χαρακτηριστικά κυρίως ορεινά και χειμάρρου, με έντονες κατά τόπους αλλαγές κλίσης και με διαμήκη άξονα, που συμπίπτει χοντρικά με την κοίτη του (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 : Χάρτης κλίσεων της λεκάνης του Σπερχειού (πηγή: Κάρλη, 2013).

Η υδρολογική λεκάνη απορροής του Σπερχειού οριοθετείται:

- ✓ Βόρεια: Από το νότιο υδροκρίτη της Θεσσαλικής πεδιάδας, που σχηματίζεται από το όρος Όθρυς με υψόμετρο 1.727 m στο ανατολικό άκρο και τις διακλαδώσεις της οροσειράς της Πίνδου στο υπόλοιπο μήκος του ορίου αυτού.
- ✓ Νότια: Από το όρος Καλλίδρομο, με υψόμετρο 1.372 m στο ανατολικό άκρο, το όρος Οίτη με υψόμετρο 2.152 m στο κέντρο και τα όρη Βαρδουσίων με υψόμετρο 2.437 m στο δυτικό άκρο.
- ✓ Δυτικά: Από το όρος Τυμφρηστός, με υψόμετρο 2.316 m απ' όπου και πηγάζει ο Σπερχειός.

✓ Ανατολικά: Από το Μαλιακό κόλπο, όπου απορρέει ο Σπερχειός, και από τους υδροκρίτες που χωρίζουν τη λεκάνη από τις γειτονικές μικρολεκάνες, βόρεια και νότια του Μαλιακού κόλπου (Μαρουκιάν & Παυλόπουλος, 1997).

Οι κύριοι παραπόταμοι του Σπερχειού είναι οι παραπόταμοι του Ίναχου, Βίστριζα (έκταση υπολεκάνης 171.7 km<sup>2</sup> και μήκος 23,878 m) και Κρανιόρρεμα (έκταση υπολεκάνης 107.0 km<sup>2</sup> και μήκος 11,543 m) νότια, ο Ασωπός νοτιοανατολικά (έκταση υπολεκάνης 113.4 km<sup>2</sup> και μήκος 18,817 m), ο Ξεριάς βορειοανατολικά (έκταση υπολεκάνης 90.0 km<sup>2</sup> και μήκος 12,545 m) και ο Γοργοπόταμος νοτιοανατολικά (έκταση υπολεκάνης 60.2 km<sup>2</sup> και μήκος 13,002 m) (Μεντζαφού κ.ά., 2015).

Το υδρογραφικό δίκτυο του Σπερχειού ανήκει στο δενδριτικό τύπο, αλλά αναπτύσσεται περισσότερο κατά τον επιμήκη άξονά του. Σημαντικός αριθμός παραποτάμων εκβάλλει κατευθείαν στον επιμήκη κύριο κλάδο του ποταμού, που ακολουθεί το ασύμμετρο τεκτονικό βύθισμα της κοιλάδας του Σπερχειού (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Ανάγλυφο και υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Σπερχειού ποταμού (πηγή: Πρόγραμμα Life, 1997).

Ο ποταμός είναι "εποχιακός", η μέση παροχή του παρουσιάζει μέγιστη τιμή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Αύγουστο, δηλαδή παρουσιάζει χαμηλή στάθμη το καλοκαίρι και υψηλή το χειμώνα. Οι παροχές του Σπερχειού και των παραποτάμων του παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά τους χειμερινούς και τους εαρινούς μήνες έχουν πλούσια ροή, ενώ κατά τους θερινούς μήνες η παροχή του Σπερχειού λίγο ανάντη της συμβολής του Γοργοπόταμου είναι σημαντικά μικρότερη των 10 m<sup>3</sup>/s, ενώ η παροχή ορισμένων παραποτάμων σχεδόν μηδενίζεται (Κουτσογιάννης

κ.ά., 1997).

Από τη λεκάνη απορροής του Σπερχειού έχουμε εισροή υδάτων στο Μαλιακό, με επιφανειακή απορροή, της τάξεως των 5.013 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων το χρόνο, χωρίς να υπολογίζεται η εισροή υδάτων από βροχοπτώσεις κλπ., καθώς επίσης ποταμών και χειμάρρων, που αυτόνομα καταλήγουν στον κόλπο. Επιπλέον έχουμε και τη μεταφορά φερτών υλών, οι οποίες παράγονται με τη διαδικασία της αποσάθρωσης και της διάβρωσης. Το 20% αυτών των υλών αποτίθεται στους κώνους πρόσχωσης, χωρίς να φτάσει ακόμα στη θάλασσα, το 16% αποτίθεται στην κεντρική κοίτη του ποταμού, το 43% αποτίθεται στο δέλτα, ενώ το 21% μόνο φτάνει, ως θολούρα, μέσα στο Μαλιακό κόλπο (Καπνιάς, 2000).

Από μελέτες (Μποναζούντας, 1996) των τελευταίων ετών, συμπεραίνεται πως η ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση (1950 - 1990), στο σύνολο της λεκάνης του Σπερχειού, ξεπερνά τα 925 mm και ο μέσος ετήσιος συντελεστής απορροής φτάνει την τιμή 0.33. Το επιφανειακό δυναμικό όλης της λεκάνης υπερβαίνει τα 650 hmm, αυτός είναι και ο λόγος που την κατατάσσει πρώτη ανάμεσα στις υπόλοιπες λεκάνες της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική πτωτική τάση στην επιφανειακή απορροή της λεκάνης, με ρυθμό 5,3 mm/έτος, η οποία πιθανότατα οφείλεται στην ομόρροπη τάση στη βροχόπτωση.

Η συνολική αρδευόμενη έκταση της κοιλάδας του Σπερχειού ανέρχεται σε 18.400 ha εκ των οποίων τα 8.800 ποτίζονται με επιφανειακά νερά (2.300 πλημμυρώς) και τα 9.600 με γεωτρήσεις (Μποναζούντας, 1996).

Αποτέλεσμα της αποστράγγισης μεγάλου μέρους του υδρογραφικού δικτύου στην κεντρική κοίτη του Σπερχειού είναι η δημιουργία πλημμυρών, όπως προαναφέρθηκε σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης ή καταιγίδας. Στο ίδιο αποτέλεσμα συντελεί και η έντονη διάβρωση που υφίσταται το νότιο τμήμα της λεκάνης λόγω μεγάλης κλίσης. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μεγάλη αύξηση της στερεοπαροχής - των ορεινών κλάδων του ποταμού σε περίοδο καταιγίδων - με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού απόθεσης στην κοίτη και την επακόλουθη υπερχειλίση. Η αυξημένη στερεοπαροχή συντελεί στη μείωση της ταχύτητας ροής των υδάτων της κεντρικής κοίτης στο Μαλιακό κόλπο (Ζαχαρίας, 1997; Κουτσογιάννης et al., 1997). Χαρακτηριστική είναι η υπερανάπτυξη του

δέλτα που οφείλεται στην αυξημένη στερεοπαροχή, στα μικρά βάθη και τις μειωμένης έντασης θαλάσσιες διεργασίες του Μαλιακού κόλπου (Χριστόπουλος, 2010).

Στη λεκάνη του Σπερχειού υπάρχει ένα σύνολο από 519 πηγές, αλλά και ένα ενεργό γεωθερμικό σύστημα αποτέλεσμα του οποίου αποτελούν οι θερμές πηγές των περιοχών Υπάτης, Θερμοπυλών, Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας κ.ά. Η ύπαρξή τους σχετίζεται με τη δραστηριότητα του ηφαιστειακού τόξου της Ελλάδας, το οποίο εκτείνεται έως το Μαλιακό κόλπο και τέμνει το ανατολικό τμήμα της τάφρου του Σπερχειού (Gartzos & Stamatis, 1996).

Οι θερμές πηγές της περιοχής μελέτης, ανάλογα με τις φυσικοχημικές τους παραμέτρους, διακρίνονται: α) σε αυτές του νοτίου τμήματος της τάφρου του Σπερχειού που εμφανίζουν υψηλές τιμές θερμοκρασίας (32-46°C) και υψηλό TDS (9,109 - 25,041 ppm) και β) σε αυτές του βόρειου τμήματος, με χαμηλότερες θερμοκρασίες (από 26°C έως 32°C) και χαμηλό TDS (226 - 589 ppm) (Κάρλη, 2013).

Σύμφωνα με τους Μεντζαφού κ.ά., (2015) και Παπαδέα (1992): α) Οι θερμές πηγές λουτρών Υπάτης, Θερμοπυλών και Δαμάστας ταξινομούνται στα Na - HCO<sub>3</sub> - SO<sub>4</sub> νερά με σύνολο διαλυμένων αλάτων από 6,300 έως 27,400 mg/l, που υποδηλώνει μερικώς επίδραση από τη θάλασσα, β) οι θερμές πηγές Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις συνόλου διαλυμένων αλάτων (260 - 385 mg/l) και τα μεσομεταλλικά θερμά νερά τους προέρχονται από ιζήματα φλύσχη των δυτικών ζωνών. Οι χαμηλές τιμές των ιόντων του ασβεστίου, του μαγνησίου, του καλίου και του SO<sub>4</sub>, πιθανά να οφείλονται στη χαμηλή σύστασή τους στα ιζήματα του φλύσχη.

## 2.8 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού αποτελεί ένα νεοτεκτονικό βύθισμα το οποίο οριοθετείται από ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και Α – Δ. Η ρηξιγενής ζώνη του Σπερχειού χωρίζεται σε δύο επί μέρους ζώνες, αυτή του Σπερχειού – Υπάτης και αυτή των Καμένων Βούρλων – Αρκίτσας (Πεχλιβανίδου, 2012).

Η τάφρος του Σπερχειού είναι γεμάτη με ιζήματα του Πλειστόκαινου και Ολόκαινου και εγκλείεται ανάμεσα σε δύο σειρές βουνών, με απότομο ανάγλυφο στη νότια πλευρά και

ήπιο και χαμηλό προς τη βόρεια, όπου και το όριο της πεδινής περιοχής εμφανίζει έντονες αλλαγές στην κλίση και σημεία κάμψης της κοίτης (Μποναζούντας κ.ά., 1996). Το έντονο ανάγλυφο στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Σπερχειού σχετίζεται με τη ρηξιγενή ζώνη στη συγκεκριμένη περιοχή. Σύμφωνα με την Πεχλιβανίδου (2012), στο νότιο περιθώριο της λεκάνης το κατακόρυφο άλμα του ρήγματος φθάνει τα 3.000 – 4.000 m στην περιοχή της Οίτης.

Γεωλογικά δομείται στο βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της από τους σχηματισμούς της Υποπελαγονικής ζώνης, στο νότιο από τους σχηματισμούς της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, ενώ στο δυτικό από τους σχηματισμούς της ζώνης της Πίνδου (Κάρλη, 2013).

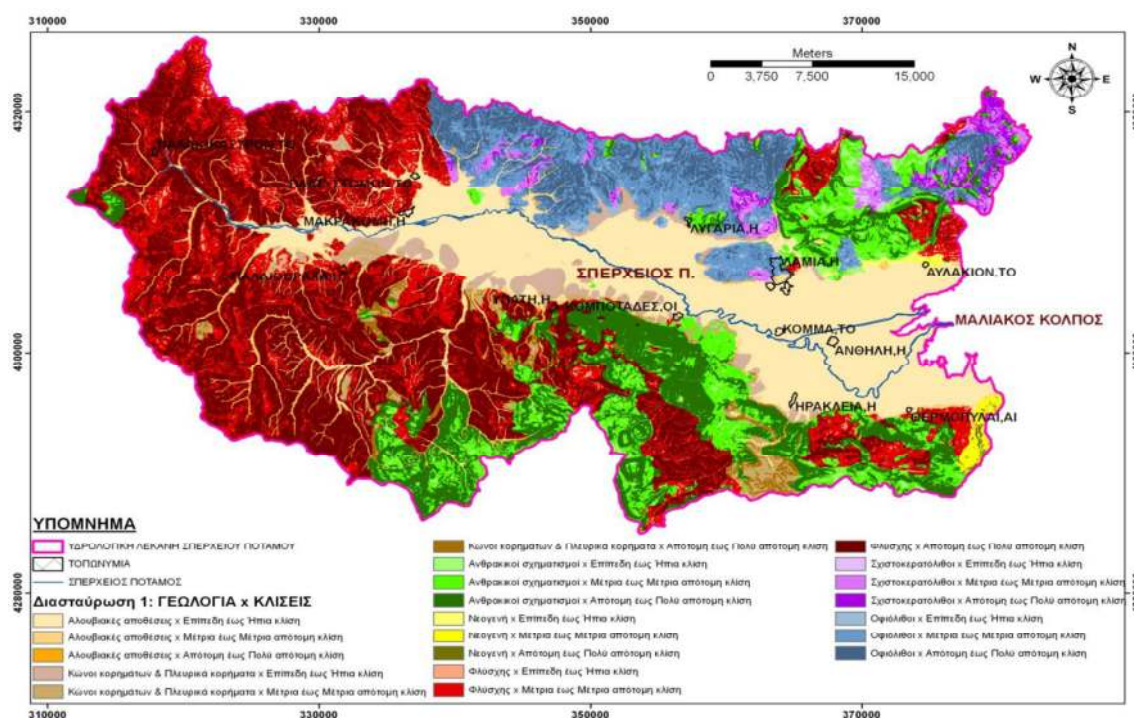
Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής διακρίνεται σε τρεις λιθολογικές ζώνες (Εικόνα 2.7):

- *Τη ζώνη της Πίνδου:* Η συγκεκριμένη ζώνη διακρίνεται στην υποζώνη του ανατολικού φλύσχη της Πίνδου, στην υποζώνη των ασβεστολίθων της Πίνδου και στην υποζώνη Δυτικού φλύσχη της Πίνδου. Οι σχηματισμοί της ζώνης αυτής βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης. Ο φλύσχη της δομείται από εναλλαγές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών, αργίλων και ιλυόλιθων, αργλικών σχιστολίθων κ.ά. και εμφανίζει, κατά θέσεις, έντονη πτυχωσιγενή τεκτονική (Πεχλιβανίδου, 2012).
- *Την Υποπελαγονική ζώνη:* Οι σχηματισμοί της ζώνης αυτής βρίσκονται στο νοτιοανατολικό και βορειοανατολικό κομμάτι της λεκάνης, το οποίο έχει ως όρια τα βουνά του Καλλιδρόμου και της Όθρυος. Οι σχηματισμοί της Υποπελαγονικής ζώνης καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ζώνης αυτής είναι η παρουσία των οφιολιθικών μαζών καθώς και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση που υπόκειται αυτών.
- *Τη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας:* Οι σχηματισμοί της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας εμφανίζονται στο όρος Οίτη, επιφανειακά στο νότιο κομμάτι της λεκάνης. Η δομή της λεκάνης σε αυτό το κομμάτι αποτελείται από δομολίτες και ασβεστόλιθους, και από φλύσχη που απαρτίζεται από ψαμμίτες, μάργες, κροκαλοπαγή και αργλικούς σχιστόλιθους (Maroukian & Lagios, 1987; Gartzos & Stamatis, 1996). Οι ασβεστόλιθοι (Κατώτερο Ιουρασικό – Μέσο Κρητιδικό) είναι χρώματος τεφρού έως μελονότεφρου,

μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις ανάμεσα στους οποίους εμφανίζονται βωξιτικοί ορίζοντες, ενώ οι Ιωκαινικοί ασβεστόλιθοι είναι λεπτοστρωματώδεις (Πεχλιβανίδου, 2012).

- Τέλος, σύμφωνα με τον Κακαβά (1984) σε ένα τμήμα νότια της Οίτης και σε ένα δυτικά της Όθρυος παρατηρείται μια μικρή εμφάνιση των σχηματισμών της Βοιωτικής σειράς. Η Βοιωτική σειρά εμφανίζεται επιφανειακά και νότια στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας και βοριοδυτικά στη ζώνη της Πίνδου. Ο Βοιωτικός φλύσχης αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της Βοιωτικής σειράς και απαρτίζεται από ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και πηλίτες.

Το σύνολο της έκτασης της λεκάνης απορροής του ποταμού καταλαμβάνουν οι νεότερες αποθέσεις (μεταλπικά ιζήματα), δηλαδή ιζηματογενή πετρώματα και σχηματισμοί που είναι επιδεκτικοί στη διάβρωση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χειμαρρώδη χαρακτήρα του Σπερχειού ποταμού έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μεγάλου όγκου φερτών υλών στο χώρο του δέλτα. Τα μεταλπικά ιζήματα διακρίνονται σε ολιγομειοκαινικά κροκαλοπαγή, πλειστοκαινικές λιμναίες αποθέσεις, παλαιότερες αποθέσεις Σπερχειού ποταμού, σχηματισμό Μαγούλας, πλημμυρικές αποθέσεις, κορήματα και ριπίδια χειμάρρων και μικτούς αλλουβιακούς σχηματισμούς (Μαρουκιάν & Παυλόπουλος, 1997).



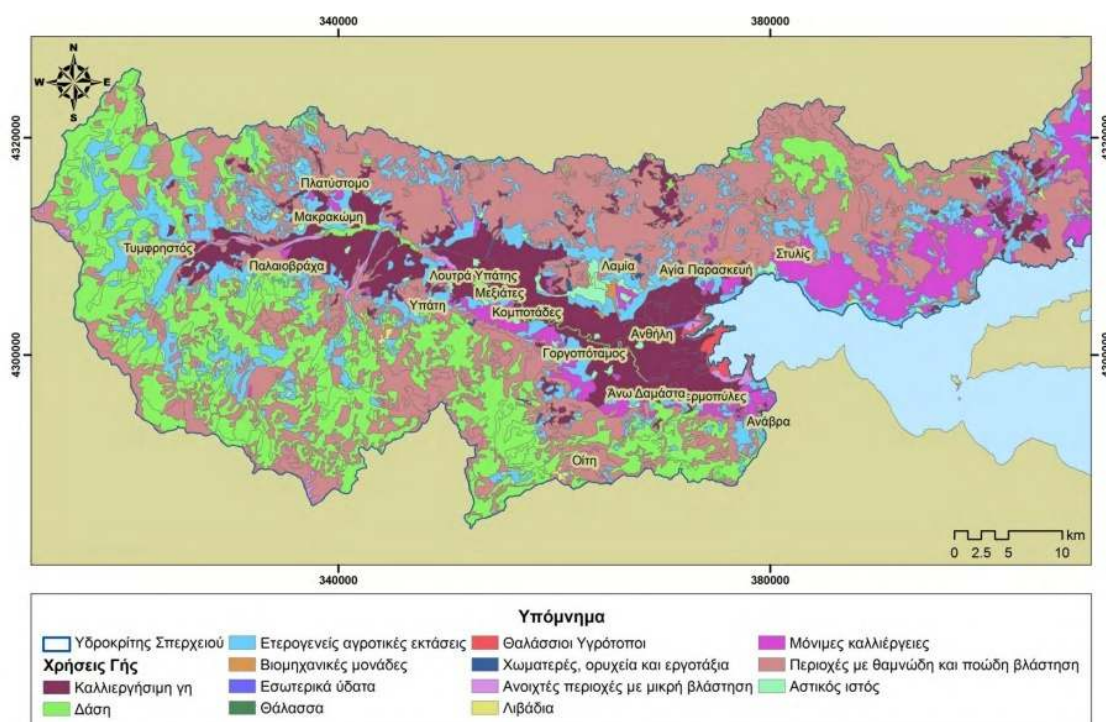
Εικόνα 2.7: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (πηγή: Ψωμιάδης κ.ά., 2013).



## 2.9 ΠΑΝΙΔΑ – ΧΛΩΡΙΔΑ

Οι διάφορες χρήσεις γης, ανθρωπογενούς προέλευσης, επιδρούν τόσο στην ποικιλία των ειδών της ορνιθοπανίδας όσο και στις πυκνότητες των πληθυσμών τους. Το είδος τους και η έντασή τους είναι ανάλογη των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, οι οποίες εξαρτώνται από το κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο των κατοίκων μιας περιοχής. Αυτές επίσης, αλληλεπιδρούν με το φυσικό περιβάλλον, διαμορφώνοντας ένα μωσαϊκό, το οποίο μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο και καθορίζεται, τις περισσότερες φορές, από τις φυσικές διεργασίες.

Οι κύριες χρήσεις γης στην περιοχή του Σπερχειού είναι οι γεωργικές καλλιέργειες, τα βοσκοτόπια, τα δάση, ο ιαματικός τουρισμός, οι διάσπαρτες βιομηχανίες και βιοτεχνίες (επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων), η δασοπονία και η κτηνοτροφία (Εικόνα 2.8). Άλλες από αυτές συγκεντρώνονται στους βασικούς άξονες ανάπτυξης και άλλες πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από αυτούς.



Εικόνα 2.8: Χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης του Σπερχειού, σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover (πηγή: Bossard et al., 2000).

Στο δέλτα του Σπερχειού θα μπορούσαν να διακριθούν τέσσερις (4) βασικοί φυσικοί τύποι υδροτοπικών ενδιαιτημάτων (Περγαντής, 1997):



1. Κύρια κοίτη του ποταμού μέσα στα όρια των υγροτόπων: Στην κύρια κοίτη του ποταμού, όπου ρέει γλυκό νερό, αναπτύσσονται υδρόφιλα δένδρα, υγροφυτικές και υδρόβιες φυτοκοινωνίες. Βέβαια, υπάρχει κάποια διαδοχή στα είδη, όσο η κοίτη κατευθύνεται προς το θαλάσσιο χώρο, η οποία συνίσταται στην αντικατάσταση ορισμένων υδρόφιλων δένδρων (π.χ. Ιτιάς και Λεύκας) από Αλμυρίκια (*Tamarix* sp.).
2. Αλμυρόβαλτοι: Καλύπτουν τα εδάφη των εκβολών, που επηρεάζονται εντονότερα από τη θάλασσα και παρουσιάζουν αξιόλογη περιεκτικότητα σε NaCl. Συνιστούν ένα μεγάλο εδαφικό ποσοστό του συμπλέγματος των υγροτόπων του δέλτα του Σπερχειού. Οι αλμυρόβαλτοι των εκβολών του Σπερχειού παρουσιάζουν ελαφρά ζώνωση με άλλοτε πυκνή ανάπτυξη αλόφυτων και βούρλων (*Juncus* sp.), άλλοτε αραιότερη (κυρίως *Salicornia* sp.) και άλλοτε με ιλυώδη ανοίγματα χωρίς βλάστηση. Οι αλμυρόβαλτοι της περιοχής χρησιμεύουν ως σημαντικοί χώροι διατροφής για μεγάλο αριθμό υδρόβιων και παρυδάτιων ειδών πουλιών.
3. Περιοδικά κατακλυζόμενες ρηχές ακτές (λασποτόπια): Σ' αυτές συνήθως δεν υπάρχει βλάστηση. Τέτοια περιοδικά διαβρεχόμενα λασποτόπια αφθονούν σε βενθικούς ζωικούς οργανισμούς (πολύχαιτους, μικρές αχιβάδες κλπ.) και συνιστούν πολύ σπουδαίους χώρους διατροφής χαραδριόμορφων παρυδάτιων πουλιών (τρυγγών, σκαλίδρων, χαραδριών, κ.ά.).
4. Μόνιμα διαβρεχόμενες ρηχές ακτές: Πρόκειται για εκτενείς ρηχές παράκτιες ζώνες με νερά διαβαθμιζόμενης αλατότητας, υφάλμυρα προς το μέρος της ακτής, με πλούσιο φυτοβένθος, κυρίως από *Zostera noltei*. Τέτοιοι θαλάσσιοι "λειμώνες ζοστέρας" και διάφορων άλλων βενθικών φυτών, αποτελούν πεδία διατροφής μεγάλων πληθυσμών για αρκετά είδη αγριόπαπιων, αλλά και μεγάλης σημασίας ζώνες ανάπτυξης των ψαριών.

Το δέλτα του Σπερχειού είναι πολύ σημαντική περιοχή για το ξεχειμώνιασμα των πουλιών, αλλά και για τη μετανάστευσή τους. Ο πληθυσμός των αγριόπαπιων ξεπερνά τις 10.000 το χειμώνα, ενώ υπάρχουν περίπου 1.300 διαχειμάζουσες Αβοκέτες και πάνω από 5.000 παρυδάτια. Υπάρχουν επίσης μεγάλες συγκεντρώσεις παρυδάτιων και ερωδιών κατά τη μετανάστευση. Τα αρπακτικά βρίσκονται σε υψηλές πυκνότητες εκτός περιόδου αναπαραγωγής. Στο δέλτα έχει επίσης παρουσιαστεί, κατά καιρούς, η

Λεπτομούτα (*Numenius tenuirostris*), είδος που απειλείται παγκοσμίως με εξαφάνιση. Γενικά, η ορνιθοπανίδα του δέλτα είναι φτωχή σε είδη κατά την περίοδο αναπαραγωγής, αλλά πλούσια κατά το χειμώνα και κατά τις περιόδους μετανάστευσης (Περγαντής, 1997). Είναι χαρακτηριστικό ότι τον βαρύ χειμώνα του 2002 διαχείμασαν στην ευρύτερη περιοχή του δέλτα 21.000 περίπου υδρόβια πουλιά (Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, αδημοσίευτα στοιχεία). Για τους λόγους αυτούς, σε μια έκταση 12.500 στρεμμάτων απαγορεύεται το κυνήγι (ΦΕΚ 343/87) (Στασινός, 1995).

## 2.10 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ

Η ρύπανση του ποταμού Σπερχειού είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί εδώ και χρόνια την ευρύτερη περιοχή. Ο Σπερχειός είναι ο φυσικός αποδέκτης όλων των λυμάτων της περιοχής της λεκάνης του, που είναι κυρίως αποτελέσματα ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Οι βασικές εστίες ρύπανσης του Σπερχειού είναι τα υγρά απόβλητα των εργοστασίων και των βιοτεχνιών, τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείων και αστικά λύματα των παραποτάμιων χωριών που οδηγούνται ανεξέλεγκτα στην κοίτη, είτε απευθείας με παράνομους αγωγούς είτε με παράνομο άδειασμα βυτιοφόρων λυμάτων βόθρων. Τα αστικά λύματα καταλήγουν σε βόθρους, οι οποίοι μπορεί να είναι απορροφητικοί ή στεγανοί, με αποτέλεσμα ο αποδέκτης των ανεπέξεργαστων πλέον λυμάτων να είναι είτε το έδαφος (και ο υπόγειος υδροφόρος), είτε κάποιο επιφανειακό υδάτινο σώμα (ανάλογα με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών). Τα αστικά λύματα διοχετεύονται σε αποχετευτικό δίκτυο και χωρίς περαιτέρω επεξεργασία καταλήγουν στον αποδέκτη, ο οποίος μπορεί να είναι η θάλασσα, το έδαφος, επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα. Η Γερμανική τάφρος αποτελούσε αποδέκτη λυμάτων της πόλης της Λαμίας πριν την ολοκλήρωση του δικτύου αποχέτευσης της πόλης. Η Γερμανική Τάφρος είναι αποδέκτης του εσχατορέματος της Λαμίας, του βιολογικού καθαρισμού της Λαμίας, του Ξηριά Λαμίας, των αποβλήτων στάβλων, σκουπιδιών, πλαστικών, εδαφοκάλυψης και γεωργικών υπολειμμάτων από φυτοφάρμακα και λιπάσματα. Το αποτέλεσμα είναι ο υπερτροφισμός σε όλο το μήκος της, η καταστροφή της ζωής των πτηνών και των ερπετών και ο εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα με

επικίνδυνες ουσίες. Κατά μήκος του ποταμού υπάρχουν επίσης παράνομες χωματερές και δέχονται τα σκουπίδια, κυρίως από οικοδομικά μπάζα, υπολείμματα σφαγείων, κοπριές ζώων και συσκευασίες φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Στο Σπερχειό επίσης καταλήγουν απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων και φυτοφάρμακα, συσκευασίες τους και λιπάσματα. Έτσι, τα τελευταία χρόνια, στις εκβολές του ποταμού, το νερό γίνεται μαύρο, εμφανίζονται πολλά νεκρά ψάρια λόγω της έλλειψης οξυγόνου και της έντονης ρύπανσης των νερών – νερό το οποίο χρησιμοποιείται και για το πότισμα ορυζώνων. Στη Μακρακώμη και στη Στυλίδα έχουν κατασκευαστεί βιολογικοί καθαρισμοί αλλά δυστυχώς δεν τέθηκαν σε λειτουργία (Θραψίμης κ.ά., 2010).

Αξίζει να σημειωθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και αμμωνιακών έχουν περιστασιακά καταγραφεί στην περιοχή της Ανθήλης, στις προσχώσεις του ποταμού Σπερχειού και αποδίδονται κυρίως στις αυξημένες γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών (30 - 45 mg/l) σημειώνονται και σε μελέτη του ΙΓΜΕ (1996) στους υπόγειους προσχλωματικούς υδροφόρους ορίζοντες του Σπερχειού (Θραψίμης κ.ά., 2010).

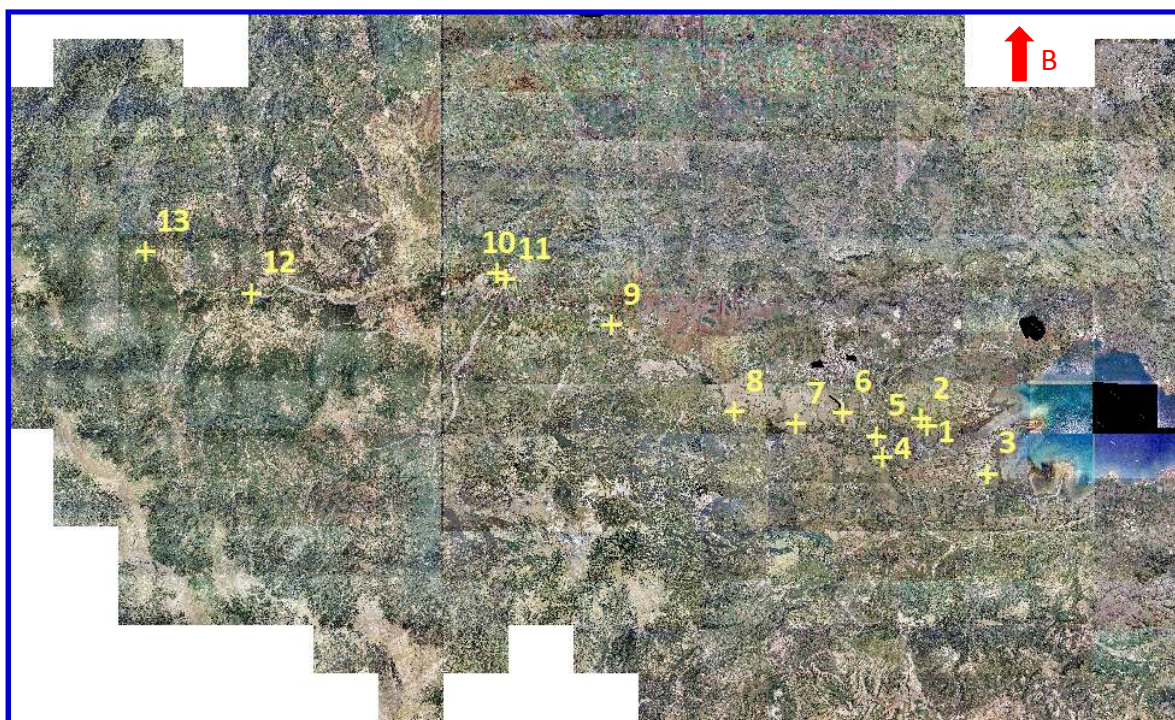
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 3.1.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΙΖΗΜΑΤΟΣ

Από τον πυθμένα του ποταμού Σπερχειού συλλέχθηκαν δεκατρία (13) αντιπροσωπευτικά επιφανειακά δείγματα ιζημάτων το Σεπτέμβριο του 2019. Τα δείγματα ελήφθησαν από τις εκβολές του Σπερχειού έως το ύψος του Αγ. Γεωργίου από τα κατάντη προς τα ανάντη από την παλαιά (δείγματα 3, 4, 7, 8, 9, 10 και 12) και τη νέα κοίτη (δείγματα 1 και 5) του ποταμού, από τη γερμανική τάφρο (δείγματα 2 και 6) καθώς και από τους παραποτάμους του, Βίστριζα (δείγμα 11) και Διπόταμα του Αγίου Γεωργίου (δείγμα 13). Οι θέσεις δειγματοληψίας απεικονίζονται στην Εικόνα 3.1.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αριθμημένες πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο του Τμήματος, όπου έγινε η προετοιμασία τους για τις αναλύσεις. Ένα μέρος των δειγμάτων ξεράθηκε στο φούρνο στους 40 °C, κονιοποιήθηκε και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν σε αυτά ιζηματολογικές και χημικές αναλύσεις (προσδιορισμός βαρέων μετάλλων, προσδιορισμός οργανικής ύλης και pH).



Εικόνα 3.1: Θέσεις δειγματοληψίας στο Σπερχειό ποταμό

## 3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 3.2.1 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα επιφανειακά ιζήματα του ποταμού Σπερχειού πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση σύμφωνα με την με τη μέθοδο της υγρής κοσκίνισης (Folk, 1974).

Ζυγίστηκαν περίπου 15 g ξηρού δείγματος, τοποθετήθηκαν σε κόσκινο διαμέτρου οπής πλέγματος 63 μm για να διαχωριστεί το χονδρόκοκκο (μέγεθος κόκκων >63 μm) από το λεπτόκοκκο κλάσμα (μέγεθος κόκκων <63 μm) και τα δείγματα εκπλύθηκαν με απιονισμένο νερό. Το χονδρόκοκκο κλάσμα που παρέμεινε στο κόσκινο τοποθετήθηκε στο φούρνο στους 50 °C, έως ότου φύγει όλη η υγρασία και ζυγίστηκε. Στο λεπτόκοκκο κλάσμα διαχωρίστηκε η ιλύς από την άργιλο με τη μέθοδο του σιφωνίου (Folk, 1974; Γαλανοπούλου, 2005).

Αναλυτικότερα, το λεπτόκοκκο υλικό μεταφέρθηκε σε ογκομετρικούς κυλίνδρους 1000 ml. Για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός της αργίλου, προστέθηκε εξαμεταφωσφορικό νάτριο, συμπληρώθηκε νερό μέχρι το 1 lt και το δείγμα παρέμεινε σε ηρεμία ένα εικοσιτετράωρο. Για την παρασκευή του εξαμεταφωσφορικού νατρίου διαλύθηκαν 10 g εξαμεταφωσφορικού νατρίου σε 1000 ml απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια μετρήθηκε η θερμοκρασία του αιωρήματος με θερμομέτρο υγρού, αναδεύτηκε πολύ καλά και αναρροφήθηκαν με σιφώνιο 20 ml διαλύματος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ανάλογα με τη θερμοκρασία από βάθη 20 cm και 5 cm. Το περιεχόμενο του σιφωνίου μεταφέρθηκε σε προζυγισμένα ποτήρια ζέσεως, ξηράνθηκε στους 50 °C και ζυγίστηκε. Στη συνέχεια αφαιρέθηκε το βάρος του εξαμεταφωσφορικού νατρίου για κάθε δείγμα και υπολογίστηκαν τα % ποσοστά των κλασμάτων της άμμου, της ιλύος και της αργίλου (Folk, 1974; Γαλανοπούλου, 2005).

Τα ιζήματα κατατάχθηκαν σε κατηγορίες σύμφωνα με το τρίγωνο του Folk (1974) και προσδιορίστηκε ο λιθολογικός τους χαρακτήρας.

### 3.2.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

#### 3.3.2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

Για τη μέτρηση του pH των ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρομετρική μέθοδος με πεχάμετρο τύπου Crison GLP 21. Η διαδικασία

προσδιορισμού του pH που ακολουθήθηκε είναι η εξής: Ζυγίστηκαν 20g κοσκινισμένου και ξηραμένου ιζήματος και τοποθετήθηκαν σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Προστέθηκε απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:1 και το αιώρημα αναδεύτηκε περιοδικά για 30 min με γυάλινη ράβδο. Στη συνέχεια αφέθηκε σε ηρεμία για άλλα 30 min ώστε να επιτευχθεί μερική καθίζηση και πραγματοποιήθηκε η μέτρηση, αφού πρώτα το όργανο ρυθμίστηκε με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων pH 4 και pH 7 (Παντέρα & Γαλανοπούλου, 2015).

### 3.2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για τη μέτρηση του οργανικού άνθρακα του ιζήματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής οξειδωσης (Walkley – Black, 1934). Ζυγίστηκαν 0,3 g ιζήματος και μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη Erlenmeyer των 500ml. Προστέθηκαν 10 ml  $K_2Cr_2O_7$  και ακολούθησε περιστροφή της φιάλης, 20 ml πυκνού  $H_2SO_4$  με νέα ήπια περιστροφική κίνηση για 1 min. Το μείγμα αφέθηκε για 30 min σε ηρεμία, ενώ περιστρεφόταν περιοδικά ώστε να επιτευχθεί καλύτερη οξείδωση του οργανικού άνθρακα. Μετά το πέρας των 30 min, προστέθηκαν στην κωνική φιάλη 200 ml νερό, 10 ml πυκνού  $H_3PO_4$  και 1-2 ml δείκτης διφαινυλαμίνης 0,5 %. Στη συνέχεια έγινε τιτλοδότηση του διαλύματος με  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0,5N η οποία σταμάτησε όταν το διάλυμα έγινε πράσινο. Παράλληλα για τον έλεγχο της κανονικότητας των διαλυμάτων πραγματοποιήθηκε και ένας λευκός προσδιορισμός.

### 3.2.2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Για τον προσδιορισμό των ψευδο-ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στις ακόλουθες μεθοδολογίες: α) *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, Chapters 25, 26, 28, edition year 1996* και β) *US EPA 3050B method*, η οποία περιλαμβάνει την πέψη του δείγματος σε κωνική φιάλη πάνω σε θερμαντική πλάκα ή αμμόλουτρο με τη χρήση  $HNO_3$  65% w/v,  $H_2O_2$  30% w/v και HCl.

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με χρήση φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου Thermo iCE 3000 Series.

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα διαλύματα γνωστής περιεκτικότητας για κάθε μέταλλο και για τον εσωτερικό έλεγχο ποιότητας δείγμα εσωτερικού ελέγχου (QCS) για το οποίο ακολουθήθηκε η πορεία της μεθόδου όπως ακριβώς και για τα άγνωστα δείγματα.

Αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ακόλουθη:

Σε κωνική φιάλη των 50 ml ζυγίστηκε 1,0 g αεροξηραμένου και κονιοποιημένου δείγματος ιζήματος. Σε κάθε κωνική φιάλη προστέθηκαν 5 ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αμμόλουτρο έτσι ώστε να καλύπτεται όσο το δυνατόν περισσότερο το περιεχόμενο μίγμα από την άμμο και αφέθηκαν σε ηρεμία για ένα βράδυ. Στη συνέχεια τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία  $95 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  έως ότου σταμάτησαν να εκλύονται καφέ ατμοί στο εσωτερικό της φιάλης. Αφέθηκαν να κρυσώσουν, προστέθηκαν 5 ml πυκνού  $\text{HNO}_3$  και θερμάνθηκαν για άλλες δύο ώρες στην ίδια θερμοκρασία. Αφού κρυσώσαν προστέθηκαν 3 ml πυκνού  $\text{H}_2\text{O}_2$  και αφέθηκαν σε ηρεμία για ένα βράδυ. Στη συνέχεια τα δείγματα ξαναθερμάνθηκαν για μια ώρα στην ίδια θερμοκρασία και επαναλήφθηκαν τα δύο τελευταία βήματα έως ότου το δείγμα έγινε πολύ λεπτόκοκκο και το χρώμα του αρκετά ανοιχτό, ένδειξη αποδόμησης της οργανικής ουσίας. Αφού απέκτησαν θερμοκρασία περιβάλλοντος τα δείγματα διηθήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 25 ml με διηθητικό χαρτί 4.5 n° 40.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και με μία άδεια κωνική φιάλη για την παρασκευή του «λευκού μάρτυρα» της μεθόδου.

Ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων έγινε ως εξής:

Η συγκέντρωση του διαλύματος που δόθηκε από την ατομική απορρόφηση πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή αραίωσης ο οποίος έχει τρία δεκαδικά ψηφία και προκύπτει από το πηλίκο του όγκου του εκχυλίσματος (25 ml) προς τη μάζα του δείγματος όπως αυτή καταγράφηκε στα πρωτογενή έντυπα με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων (1,00 g δείγματος αντιστοιχεί σε 50 ml τελικού εκχυλίσματος) για να εκφράσει την περιεκτικότητα του εδάφους στο αντίστοιχο μέταλλο. Στην περίπτωση που γίνεται η συλλογή του εκχυλίσματος σε φιάλη των 25 ml, τότε πολλαπλασιάζεται με το 25.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### 4.1.1 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρίας των ιζημάτων αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση των διαφόρων περιβαλλόντων και διεργασιών απόθεσης των ιζημάτων.

Στα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα του ποταμού Σπερχειού προσδιορίστηκε το % ποσοστό της άμμου, της ιλύος και της αργίλου και οι τιμές τους τοποθετήθηκαν στο τριγωνικό διάγραμμα του Folk, 1974, από όπου προέκυψε ο λιθολογικός τους χαρακτήρας (Εικόνα 4.1).

Τα ιζήματα της περιοχής μελέτης εμφανίζουν ανομοιογένεια ως προς τα ιζηματολογικά τους χαρακτηριστικά και απαρτίζονται από πέντε διαφορετικούς τύπους ιζημάτων.

Τέσσερα από αυτά ανήκουν στην κατηγορία «Αμμώδης ιλύς», έξι στην κατηγορία «Ιλυώδης άμμος», ένα στην κατηγορία «Ιλύς», ένα στην κατηγορία «Πηλός» και τέλος ένα στην κατηγορία «Άμμος». Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι στα ιζήματα επικρατούν κυρίως τα κλάσματα της άμμου και της ιλύος (Εικόνα 4.1, Πίνακας 4.1).

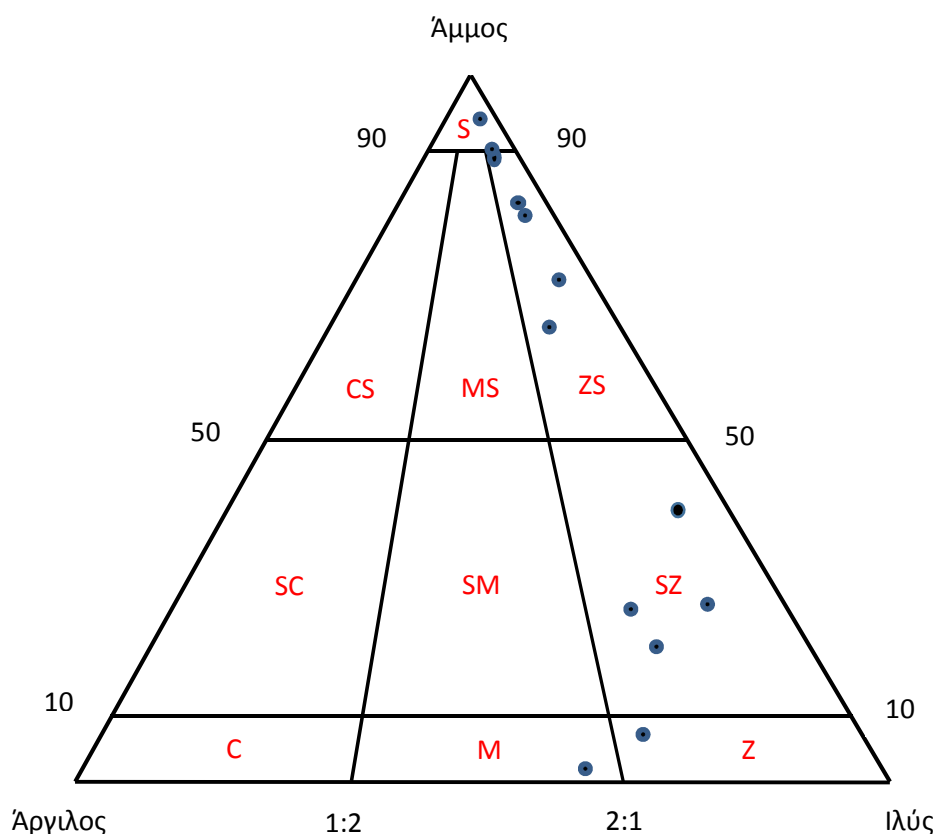
Πίνακας 4.1: Λιθολογικός χαρακτήρας επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού

Δείγμα	Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Λιθολογικός χαρακτήρας
1	23,99	68,54	7,48	Αμμώδης ιλύς
2	23,28	57,32	19,40	Αμμώδης ιλύς
3	19,12	64,34	16,54	Αμμώδης ιλύς
4	1,18	69,59	29,23	Πηλός
5	65,55	27,93	6,52	Ιλυώδης άμμος
6	8,94	70,26	20,80	Ιλύς
7	73,57	25,17	1,26	Ιλυώδης άμμος
8	39,75	54,77	5,48	Αμμώδης ιλύς
9	83,48	15,30	1,22	Ιλυώδης άμμος
10	94,84	3,04	2,13	Άμμος
11	81,76	16,58	1,66	Ιλυώδης άμμος
12	89,73	7,60	2,66	Ιλυώδης άμμος
13	89,03	7,15	3,81	Ιλυώδης άμμος

Τα λεπτόκοκκα κλάσματα απαντώνται κυρίως στο δέλτα του ποταμού, ενώ αντίθετα τα αδρόκοκκα δομούν τα ανάντη τμήματα του Σπερχειού. Χαρακτηριστική είναι και η



παρουσία κροκαλών κυρίως στα ανάντη του Σπερχειού, η στρογγυλεμένη εικόνα των οποίων υποδεικνύει το χειμαρρώδη χαρακτήρα του ποταμού, αλλά και τη δράση των κυμάτων.



Εικόνα 4.1: Λιθολογικός χαρακτήρας των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού με βάση το τριγωνικό διάγραμμα του Folk. S: Άμμος, CS: Αργιλώδης άμμος, MS: Πηλώδης άμμος, ZS: Ιλυώδης άμμος, SC: Αμμώδης άργιλος, SM: Αμμώδης πηλός, SZ: Αμμώδης ιλύς, C: Άργιλος, M: Πηλός, Z: Ιλύς.

#### 4.1.1.1 ΚΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η περιεκτικότητα των ιζημάτων της περιοχής μελέτης σε άμμο κυμαίνεται από 1,18 έως 94,84% με μέση τιμή 53,40%. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαντώνται σε γενικές γραμμές στα ανάντη του ποταμού από την Ανθήλη έως και τον Άγιο Γεώργιο, ενώ προς το δέλτα του ποταμού το ίζημα γίνεται λεπτομερέστερο. Τα υψηλά αυτά ποσοστά σε άμμο και γενικότερα σε αδρομερή υλικά οφείλονται κατά κύριο λόγο στις μεγαλύτερες κλίσεις του ποταμού στα ανάντη και στην ισχυρότερη αναμόχλευση που υφίστανται τα

φερτά υλικά που καταλήγουν εκεί με αποτέλεσμα τα χονδρόκοκκα υλικά να αποτίθενται σχετικά γρήγορα και τα λεπτόκοκκα να μεταφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Προς τις εκβολές του ποταμού η κλίση της κοίτης εξομαλύνεται και τα λεπτόκοκκα υλικά καθιζάνουν. Τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι στις περιοχές ανάντη του Σπερχειού επικρατούν συνθήκες αυξημένου υδροδυναμισμού.

#### 4.1.1.2 ΚΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΙΛΥΟΣ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η περιεκτικότητα των ιζημάτων της περιοχής μελέτης σε ιλύ κυμαίνεται από 3,04 έως 70,26% με μέση τιμή 37,51%. Τα υψηλότερα ποσοστά της απαντώνται από την περιοχή του Κωσταλέξη έως τις εκβολές του ποταμού. Αυτό είναι αποτέλεσμα της μικρότερης κλίσης της κοίτης του ποταμού και των ηπιότερων υδροδυναμικών συνθηκών που επικρατούν στα κατάντη του ποταμού.

#### 4.1.1.3 ΚΛΑΣΜΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ – ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η περιεκτικότητα των ιζημάτων της περιοχής μελέτης σε άργιλο κυμαίνεται από 1,22 έως 29,23% με μέση τιμή 9,09%. Τα ιζήματα σε γενικές γραμμές χαρακτηρίζονται ως φτωχά σε άργιλο. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις τους απαντώνται στο δέλτα του Σπερχειού. Αυτό αποδίδεται στις ηπιότερες κλίσεις της κοίτης του ποταμού που συντελούν στη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την καθίζηση του λεπτοκόκκου υλικού. Στην περιοχή επικρατεί ένα σχετικά ήρεμο υδροδυναμικό περιβάλλον που επιτρέπει την καθίζηση της λεπτόκοκκης φάσης των ιζημάτων. Η απόθεση της λεπτόκοκκης φάσης στο δέλτα ευνοείται και από το γεγονός ότι ο Μαλιακός κόλπος αποτελεί έναν κλειστό, ρηχό κόλπο, που χαρακτηρίζεται από ήρεμες θαλάσσιες συνθήκες και επομένως τα ιζήματα επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από την κυματική δράση, τα θαλάσσια ρεύματα, την παλίρροια και τη δράση μικροοργανισμών (Πεχλιβανίδου, 2012).

### 4.1.2 ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

#### 4.1.2.1 ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο οργανικός άνθρακας στα ιζήματα μπορεί να προέρχεται από τη βιολογική δραστηριότητα οργανισμών που ζουν στο νερό, από φυσικές πηγές ή ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στα ιζήματα του πυθμένα του Σπερχειού ποταμού προσδιορίστηκε η περιεκτικότητά τους σε οργανικό άνθρακα ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0,05% και 2,31% με μέση τιμή 0,75% (Πίνακας 4.2). Οι υψηλότερες τιμές του εμφανίζονται στα σημεία δειγματοληψίας 2, 3, 4 και 6. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία λεπτόκοκκου υλικού (αργίλου και ιλύος) στα ιζήματα των θέσεων αυτών, γεγονός που αιτιολογεί τις υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα σε αυτές, δεδομένου ότι το λεπτόκοκκο υλικό έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης οργανικού άνθρακα. Σε γενικές γραμμές όμως, οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα που ανιχνεύθηκαν στα ιζήματα του Σπερχειού, είναι σχετικά χαμηλές. Αυτό μπορεί εν μέρει να οφείλεται στο γεγονός ότι η οργανική ύλη που προέρχεται από το έδαφος και μεταφέρεται στα ρέματα διαλύεται στο νερό με αποτέλεσμα τη μειωμένη συγκέντρωσή της στη σωματιδιακή φάση, αλλά αποτελεί και μια ένδειξη μη σοβαρής ρύπανσης της περιοχής.

Πίνακας 4.2: Περιεχόμενος οργανικός άνθρακας ( $C_{org}$ ) και pH στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού

Αριθμός δείγματος	$C_{org}$ %	pH
1	0,50	7,85
2	1,13	7,60
3	0,95	7,41
4	2,31	7,91
5	0,09	7,88
6	1,58	7,44
7	0,63	7,78
8	0,81	7,78
9	0,95	7,76
10	0,05	8,60
11	0,45	8,40
12	0,18	8,54
13	0,05	8,58

#### 4.1.2.2 pH

Στα 13 επιφανειακά δείγματα από τα ιζήματα του Σπερχειού ποταμού προσδιορίστηκε το pH (Πίνακας 4.2) και οι τιμές του κυμαίνονται από 7,41 έως 8,60 με μέση τιμή 7,96. Στις αλκαλικές αυτές συνθήκες τα περισσότερα χημικά στοιχεία παρουσιάζουν πολύ χαμηλή έως μέτρια κινητικότητα με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στα ιζήματα. Οι χαμηλότερες τιμές pH εμφανίζονται από το δέλτα του ποταμού έως το Καστρί.

#### 4.1.2.3 ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων ως προς τα βαρέα μέταλλα των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ποταμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Στην Εικόνα 4.2 δίδεται η διαγραμματική απεικόνιση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του ποταμού ανά θέση.

Πίνακας 4.3: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού.

<b>Δείγμα</b>	<b>Mn(mg/kg)</b>	<b>Cr(mg/kg)</b>	<b>Cu(mg/kg)</b>	<b>Ni(mg/kg)</b>	<b>Pb(mg/kg)</b>	<b>Zn(mg/kg)</b>
<b>1</b>	469	76	21	108	5,1	48
<b>2</b>	793	363	28	364	5,5	61
<b>3</b>	541	130	62	112	8,1	91
<b>4</b>	841	218	38	133	8,3	79
<b>5</b>	504	49	13	84	3,5	37
<b>6</b>	788	176	73	142	32	156
<b>7</b>	435	44	15	74	3,9	39
<b>8</b>	490	55	18	87	4,5	45
<b>9</b>	434	44	13	78	3,2	38
<b>10</b>	469	33	9,5	66	2,4	30
<b>11</b>	468	26	14	53	4,4	39
<b>12</b>	510	27	13	54	4,0	40
<b>13</b>	470	30	15	58	4,4	41

Αναλυτικότερα:

Μαγγάνιο (Mn)

Στη λεκάνη του Σπερχειού στα επιφανειακά ιζήματα ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις Mn που κυμαίνονται από 434 έως 841 mg/kg με μέση τιμή 554,77 mg/kg και είναι μικρότερες από τη μέση συγκέντρωση του μαγγανίου σε ιζηματογενή πετρώματα (averageshale: 1100 mg/kg, Wedepohl, 1969) και υψηλότερες από τη μέση τιμή του στον ανώτερο φλοιό της γης (438,59 mg/kg, Rudnick and Gao, 2003).

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα σημεία δειγματοληψίας 2 και 6 στη Γερμανική τάφρο καθώς και στο σημείο 4 στην παλαιά κοίτη. Στα ίδια σημεία ανιχνεύθηκαν και τα μεγαλύτερα ποσοστά οργανικής ουσίας. Το γεγονός ότι η οργανική ύλη έχει την ιδιότητα να δεσμεύει μέταλλα στην επιφάνειά της δικαιολογεί το αποτέλεσμα αυτό.

Οι συγκεντρώσεις του Σπερχειού ποταμού σε Mn είναι πολύ μικρότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στο ρέμα Παλαιάς Καβάλας στη ΒΑ Μακεδονία (600-7900 mg/kg, Giouri et al., 2016), στον Ασωπό ποταμό (799-1413 mg/kg, Botsou et al., 2011) και ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές που έχουν προσδιοριστεί στον Πηνειό ποταμό (250-525 mg/kg, Μπέλλος, 2004). Επίσης είναι υψηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στο Σπερχειό ποταμό σε προηγούμενη μελέτη (380-695 mg/kg, Dassenakis et al., 1995). Γενικά τα ιζήματα του Σπερχειού ποταμού δεν είναι ρυπασμένα ως προς το μαγγάνιο.

#### Ψευδάργυρος (Zn)

Στη λεκάνη του Σπερχειού ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα συγκεντρώσεις Zn που κυμαίνονται από 30 έως 156 mg/kg με μέση τιμή 57.23 mg/kg. Οι τιμές αυτές είναι αντίστοιχες με αυτές στον ανώτερο στερεό φλοιό της γης (67 mg/kg, Rudnick and Gao, 2003) και στα εδάφη (70 mg/kg, Kabata and Pendias, 2011) και επομένως τα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού δεν θεωρούνται ρυπασμένα ως προς τον ψευδάργυρο.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ανιχνεύτηκαν στα κατάντη του ποταμού με την μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται στο δείγμα 6, στη Γερμανική τάφρο. Πιθανότατα οι συγκεντρώσεις αυτές οφείλονται στην τροφοδοσία της τάφρου με λύματα και τοξικές ουσίες από τις περιοχές από τις οποίες διέρχεται.

Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι μεγαλύτερες από αυτές που έχουν μετρηθεί σε προηγούμενη μελέτη στο Σπερχειό ποταμό (22,8-78,7 mg/kg, Dassenakis et al., 1995) και αντίστοιχες με αυτές που έχουν μετρηθεί σε άλλα ποτάμια της Ελλάδας, όπως ο Αχελώος (54,7 mg/kg, Μουντούρης κ.ά., 2005) και ο Αξιός (50-130 mg/kg, Ζαχαριάδης κ.ά., 1997), που κυμαίνονται σε μέτρια σχετικά επίπεδα.

### Χαλκός (Cu)

Στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις Cu που κυμαίνονται από 9,5 έως 73 mg/kg με μέση τιμή 25.58 mg/kg.

Περιεκτικότητα σε χαλκό μεγαλύτερη της μέσης τιμής του στο φλοιό της γης (50 mg/kg) εμφανίζουν το δείγμα 3, στην παλιά κοίτη στις εκβολές του ποταμού και το δείγμα 6, στη Γερμανική τάφρο. Υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού παρατηρούνται προς τα κατάντη του ποταμού και στο γεγονός αυτό πιθανότατα συμβάλλουν οι εντατικές γεωργικές καλλιέργειες. Η κοιλάδα του Σπερχειού καλλιεργείται συστηματικά σε μια έκταση περίπου 400 km<sup>2</sup> με βαμβάκι, δημητριακά, φιστίκια, ελιές, ενώ προς τις εκβολές του ποταμού καλλιεργείται με ρύζι. Έκταση περίπου 200 km<sup>2</sup> αρδεύεται και κοντά στο δέλτα του ποταμού το νερό προέρχεται από κανάλια που φέρνουν νερό από το ποτάμι. Σύμφωνα με τους Dassenakis et al. (2009), περίπου 23.000 τόνοι λιπασμάτων και 300 τόνοι φυτοφαρμάκων χρησιμοποιούνται στις γεωργικές καλλιέργειες της περιοχής.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλκού που προσδιορίστηκαν στο δείγμα 6 στη Γερμανική τάφρο, πιθανά οφείλονται στα αστικά και βιομηχανικά λύματα της πόλης της Λαμίας. Βασικότερες εστίες ρύπανσης του ποταμού από χαλκό αποτελούν τα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών (βιοτεχνίες – εργοστάσια), τα αστικά λύματα των παραποτάμιων χωριών που καταλήγουν ακατέργαστα στην κοίτη, οι παράνομες χωματερές, κ.ά. (Θραψίμης κ.ά., 2010).

Οι συγκεντρώσεις Cu που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά ιζήματα του ποταμού είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές που προσδιορίστηκαν σε προηγούμενη μελέτη στο Σπερχειό ποταμό (12,4-39,7 mg/kg, Dassenakis et al., 1995). Συγκρινόμενες με αντίστοιχες τιμές ιζημάτων διαφόρων ποταμών της Ελλάδας είναι παρεμφερείς με αυτές στον Πηνειό (15,2-50,1 mg/kg, Μπέλλος, 2004) και τον ποταμό Λούρο (26-51,9 mg/kg, Μουντούρης κ.ά., 2005) και ελαφρά υψηλότερες από αυτές που έχουν προσδιοριστεί

στον Αχελώο (7,1-38,4,mg/kg, Μουντούρης κ.ά., 2005) και στον Αξιό (10-30,mg/kg, Ζαχαριάδης κ.ά., 1997). Τα παραπάνω ποτάμια δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη ρύπανση ως προς τον χαλκό.

Με βάση τα παραπάνω, τα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού είναι μη ρυπασμένα ως προς τον χαλκό με εξαίρεση δύο δείγματα που είναι ελαφρώς ρυπασμένα.

#### Νικέλιο (Ni)

Στη λεκάνη του Σπερχειού ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα συγκεντρώσεις Ni που κυμαίνονται από 53 έως 364 mg/kg με μέση τιμή 108.69 mg/kg.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νικελίου προσδιορίστηκαν στη θέση δειγματοληψίας 2, στην τάφρο της Λαμίας, και πιθανότατα οφείλονται στα λύματα της γύρω περιοχής που καταλήγουν σε αυτή καθώς και στις θέσεις 1, 3, 4 και 6. Γενικά οι τιμές του Ni είναι ελαφρώς υψηλότερες στις εκβολές του ποταμού, εκεί που το ιζήμα γίνεται λεπτομερέστερο και αυξάνει η περιεχόμενη οργανική ουσία. Ένα σημαντικό τμήμα του νικελίου που ανιχνεύτηκε στα ιζήματα έχει πιθανά γεωγενή προέλευση και σχετίζεται με τα οφιολιθικά πετρώματα της περιοχής, των οποίων αποτελεί συστατικό και κατά την αποσάθρωση τους εμπλουτίζουν τα ιζήματα του ποταμού σε νικέλιο.

Οι συγκεντρώσεις του Ni είναι ελαφρώς υψηλότερες από τη μέση τιμή του που έχει προσδιοριστεί στη λιθόσφαιρα (100 mg/kg, Ιωάννου, 2001). Το γεγονός ότι οι τιμές τους δεν αποκλίνουν πολύ, επιβεβαιώνει ότι ένα ποσοστό του νικελίου στα ιζήματα του Σπερχειού οφείλεται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και ένα μικρότερο ποσοστό τους σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι συγκεντρώσεις του Ni είναι επίσης μεγαλύτερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στον Αχελώο (87,8 mg/kg, Μουντούρης κ.ά., 2005) και στον Αλιάκμονα (45 mg/kg, Αντωνόπουλος, 2011) και χαμηλότερες από αυτές που έχουν μετρηθεί στον Πηνειό ποταμό (90.1-320 mg/kg με μέση τιμή 190 mg/kg, Μπέλλος, 2004) καθώς και στο Σπερχειό (227-620 mg/kg, Dassenakis et.al., 1995). Γενικά το ανάντη τμήμα του Σπερχειού δεν είναι επιβαρυνμένο ως προς το Ni, σε αντίθεση με τις εκβολές του όπου υπάρχει επιβάρυνση των ιζημάτων.

#### Χρώμιο (Cr)

Στη λεκάνη του Σπερχειού ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα συγκεντρώσεις Cr που κυμαίνονται από 26 έως 363 mg/kg με μέση τιμή 97,77 mg/kg.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις χρωμίου ανιχνεύθηκαν στα δείγματα 2, 3, 4 και 6 με μεγαλύτερη αυτή στο σημείο δειγματοληψίας 2 στην τάφρο της Λαμίας. Το χρώμιο, όπως και τα περισσότερα βαρέα μέταλλα, δεσμεύεται στην επιφάνεια της οργανικής ύλης και στο λεπτόκκοκο κλάσμα των ιζημάτων, γεγονός που ερμηνεύει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του στα κατάντη του ποταμού. Επίσης ένα μέρος του χρωμίου πιθανώς προέρχεται από τα υπερβασικά πετρώματα (οφιόλιθοι) της Υποπελαγονικής ζώνης, τα οποία είναι εμπλουτισμένα σε πιθανώς τοξικά στοιχεία, όπως το χρώμιο, το νικέλιο, ο χαλκός, το αρσενικό κ.ά. Στο γεγονός αυτό συντελεί και το ότι η μέση τιμή του είναι αντίστοιχη με αυτή που έχει ανιχνευτεί στο στερεό φλοιό της γης (92 mg/kg).

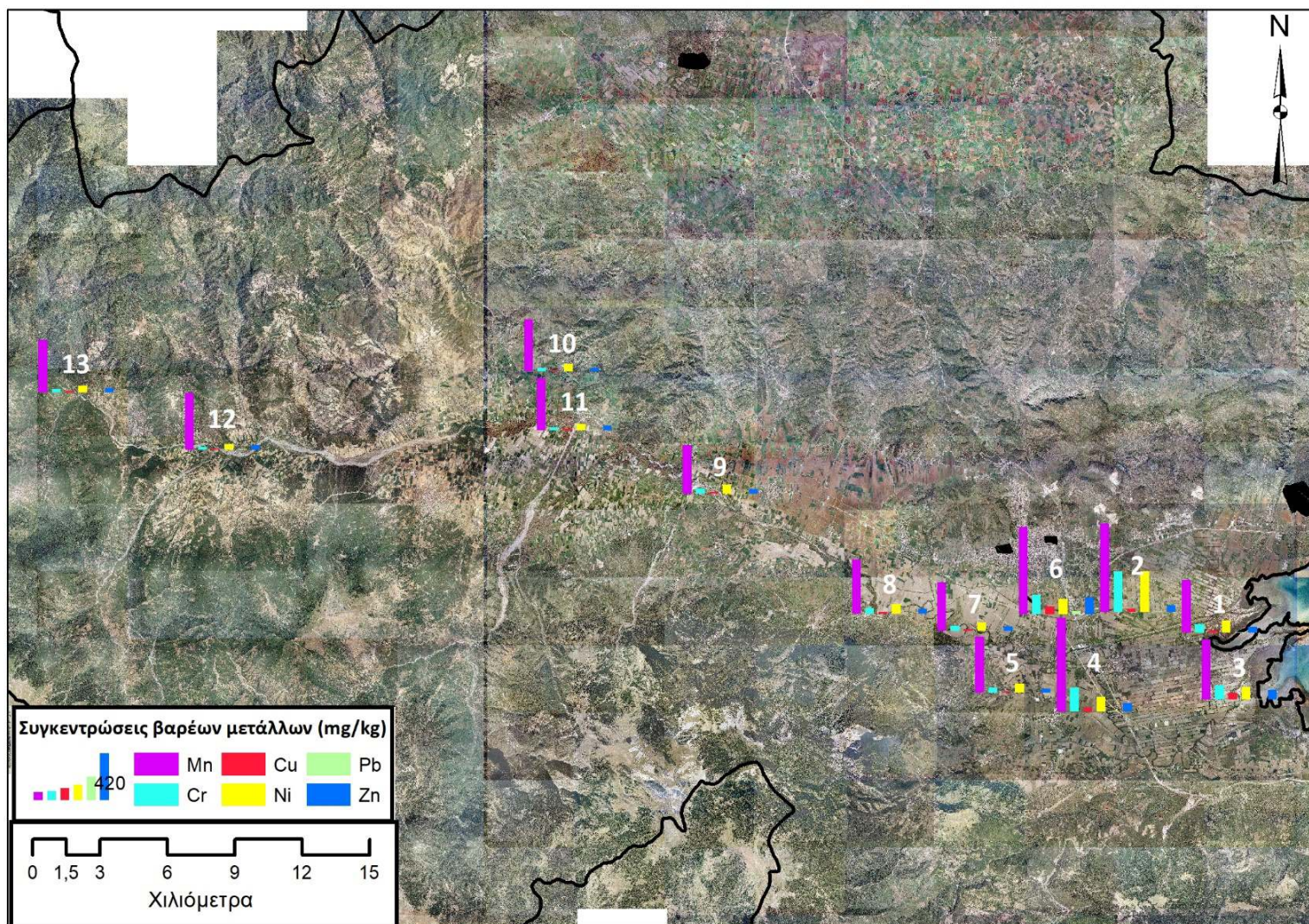
Οι συγκεντρώσεις Cr που προσδιορίστηκαν στα επιφανειακά ιζήματα του ποταμού είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές που προσδιορίστηκαν σε προηγούμενη μελέτη στο Σπερχειό ποταμό (77,4-188 mg/kg, Dassenakis et al., 1995). Συγκρινόμενες με συγκεντρώσεις που έχουν μετρηθεί σε άλλα ποτάμια είναι ψηλότερες από αυτές στο Λούρο ποταμό (63,4-118 mg/kg, Dassenakis et al., 1995) και τον Αξιό (39-180 mg/kg, Karageorgis et al. 2003). Γενικά, τα περισσότερα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού δεν είναι επιβαρυνμένα σε χρώμιο, με εξαίρεση τα δείγματα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις που δείχνουν μια ελαφρά επιβάρυνση.

#### Μόλυβδος (Pb)

Στη λεκάνη του Σπερχειού ανιχνεύτηκαν στα επιφανειακά ιζήματα συγκεντρώσεις Pb που κυμαίνονται από 2,4 έως 32 mg/kg με μέση τιμή 6,87 mg/kg.

Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά χαμηλές συγκρινόμενες με τη μέση συγκέντρωση του Pb στον ανώτερο φλοιό της γης, που είναι περίπου 17 mg/kg (Rudnick and Gao, 2003), αλλά και τιμές σε ιζήματα αντίστοιχων ποταμών, όπως ο Αξιός (30 - 80 mg/kg, Ζαχαριάδης κ.ά., 1997) ή ο Αλιάκμονας (10,9 mg/kg, Αντωνόπουλος, 2011) και τα ιζήματα του Σπερχειού δεν θεωρούνται ρυπασμένα ως προς τον μόλυβδο.





Εικόνα 4.2 Διαγραμματική απεικόνιση ρύπανσης επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού ανά θέση.

#### 4.1.2.4 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

- **Δείκτης γεωσυσσώρευσης (I<sub>geo</sub>: Index of geoaccumulation)**

Με βάση τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που ανιχνεύθηκαν στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού υπολογίστηκαν οι δείκτες γεωσυσσώρευσης I<sub>geo</sub> για κάθε δείγμα. Για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων χρησιμοποιήθηκε το ολικό κλάσμα του ιζήματος.

Στη συνέχεια δίνεται ο πίνακας 4.4 με τους δείκτες γεωσυσσώρευσης I<sub>geo</sub> των δειγμάτων.

Πίνακας 4.4: Τιμές των δεικτών γεωσυσσώρευσης I<sub>geo</sub> των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού.

Δείγμα	Mn I <sub>geo</sub>	Cr I <sub>geo</sub>	Cu I <sub>geo</sub>	Ni I <sub>geo</sub>	Pb I <sub>geo</sub>	Zn I <sub>geo</sub>
1	-1,81	-0,83	-1,68	0,08	-2,56	-1,57
2	-1,06	1,43	-1,27	1,84	-2,45	-1,22
3	-1,61	-0,05	-0,12	0,13	-1,89	-0,65
4	-0,97	0,69	-0,83	0,38	-1,85	-0,85
5	-1,71	-1,46	-2,38	-0,28	-3,10	-1,95
6	-1,07	0,38	0,11	0,48	0,09	0,13
7	-1,92	-1,62	-2,17	-0,46	-2,94	-1,87
8	-1,75	-1,30	-1,91	-0,23	-2,74	-1,66
9	-1,93	-1,62	-2,38	-0,39	-3,23	-1,91
10	-1,81	-2,03	-2,83	-0,63	-3,64	-2,25
11	-1,82	-2,38	-2,27	-0,94	-2,77	-1,87
12	-1,69	-2,32	-2,38	-0,92	-2,91	-1,83
13	-1,81	-2,17	-2,17	-0,81	-2,77	-1,80

Με βάση τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι τα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού είναι κατά κανόνα μη ρυπασμένα ως προς τα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν με εξαίρεση κάποια σημεία προς τις εκβολές του ποταμού.

Αναλυτικότερα:

Ως προς το **μαγγάνιο (Mn)**, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως μη επιβαρυμένη περιοχή, αφού όλα τα δείγματα ανήκουν στην I<sub>geo</sub> - τάξη ίση με 0.

Ως προς το **χρώμιο (Cr)**, η μεγαλύτερη έκταση χαρακτηρίζεται ως μη επιβαρυμένη περιοχή με I<sub>geo</sub> - τάξη ίση με 0, με εξαίρεση τις περιοχές στο σημείο δειγματοληψίας 2, η οποία χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή με I<sub>geo</sub> - τάξη ίση με 2, και

στα σημεία δειγματοληψίας 4 και 6, που χαρακτηρίζονται ως μη επιβαρυμένες έως ελαφρώς επιβαρυμένες περιοχές με Igeo - τάξη ίση με 1.

Ως προς τον χαλκό (**Cu**), τα ιζήματα είναι μη επιβαρυμένα με Igeo - τάξη ίση με 0, με εξαίρεση τις περιοχές στο σημείο δειγματοληψίας 6, όπου η περιοχή χαρακτηρίζεται από μη επιβαρυμένη έως ελαφρώς επιβαρυμένη με Igeo - τάξη ίση με 1.

Ως προς το νικέλιο (**Ni**), οι περιοχές στα σημεία δειγματοληψίας 1, 3, 4 και 6, δηλαδή στο δέλτα του Σπερχειού, χαρακτηρίζονται από μη επιβαρυμένες έως ελαφρώς επιβαρυμένες περιοχές με Igeo - τάξη ίση με 1 και η περιοχή στο σημείο 2 (δέλτα) χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή με Igeo - τάξη ίση με 2. Το υπόλοιπο τμήμα του ποταμού θεωρείται μη επιβαρυμένο ως προς το Ni.

Ως προς τον μόλυβδο (**Pb**), τα ιζήματα του Σπερχειού χαρακτηρίζονται ως μη ρυπασμένα με Igeo - τάξη ίση με 0, εκτός από την περιοχή του δείγματος 6, η οποία χαρακτηρίζεται από μη επιβαρυμένη έως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή και Igeo - τάξη ίση με 1.

Ως προς τον ψευδάργυρο (**Zn**), η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως μη ρυπασμένη με Igeo - τάξη ίση με 0, εκτός από την περιοχή του δείγματος 6, η οποία χαρακτηρίζεται από μη επιβαρυμένη έως ελαφρώς επιβαρυμένη περιοχή και Igeo - τάξη ίση με 1.

- **Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines SQGs) ERL- ERM**

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα κριτήρια ποιότητας (Sediment Quality Guidelines SQGs) ERL-ERM κατά Long et al. (1995) (πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5: Κριτήρια ποιότητας ERL και ERM των ιζημάτων για ιχνοστοιχεία που προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία (σε ppm ξηρού βάρους δείγματος). ERL= Effects Range – Low, ERM= Effects Range – Median, σύμφωνα με τους Long et al. (1995).

Στοιχείο	Κριτήρια ποιότητας ιζημάτων	
	ERL	ERM
Cr	81	370
Cu	34	270
Pb	46.7	218
Ni	20.9	51.6
Zn	150	410



Εφαρμόζοντας τα δύο κριτήρια ποιότητας ιζημάτων (Sediment Quality Guidelines – SQGs: ERM και PEL) κατά Long et al. (1995) στα ιζήματα του Σπερχειού ποταμού, διαπιστώθηκε ότι:

Για το **χρώμιο (Cr)** (26-363 mg/kg):

- ✓ 9 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 69,23%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μικρότερες των παραπάνω κριτηρίων (ERL 81 ppm και ERM 370 ppm) και συνεπώς παρουσιάζουν μη τοξικές συγκεντρώσεις.
- ✓ 4 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 30,77%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του κριτηρίου τοξικότητας ERL (81 ppm) και χαμηλότερες του κριτηρίου ERM (370 ppm), επομένως αντιστοιχούν σε μέτρια ρυπασμένα ιζήματα.

Για τον **χαλκό (Cu)** (9,5-73mg/kg):

- ✓ 10 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 76,92%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μικρότερες των παραπάνω κριτηρίων (ERL 34 ppm και ERM 270 ppm) και συνεπώς παρουσιάζουν μη τοξικές συγκεντρώσεις και αντιστοιχούν σε μη ρυπασμένα ιζήματα.
- ✓ 3 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 23,08%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του κριτηρίου τοξικότητας ERL (34 ppm) και χαμηλότερες του ERM (270 ppm) και συνεπώς αντιστοιχούν σε μέτρια ρυπασμένα ιζήματα με πιθανή την εκδήλωση τοξικών φαινομένων.

Για το **νικέλιο (Ni)** (53-364 mg/kg):

Όλα τα δείγματα (ποσοστό 100%) εμφάνισαν τοξικές συγκεντρώσεις αφού υπερβαίνουν και τα δύο κριτήρια (ERL 20,9 ppm και ERM 51,6 ppm) και αντιστοιχούν σε ρυπασμένα ιζήματα.

Για τον **μόλυβδο (Pb)** (2.4-32 mg/kg):

- ✓ Όλα τα δείγματα (ποσοστό 100%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μικρότερες των παραπάνω κριτηρίων (ERL 46,7 ppm και ERM 218 ppm) και συνεπώς παρουσιάζουν μη τοξικές συγκεντρώσεις και αντιστοιχούν σε μη ρυπασμένα ιζήματα.

Για τον **ψευδάργυρο (Zn)** (30-156 mg/kg):

- ✓ 12 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 92,31%) εμφάνισαν συγκεντρώσεις μικρότερες των παραπάνω κριτηρίων (ERL 150 ppm και ERM 410 ppm) και συνεπώς παρουσιάζουν μη τοξικές συγκεντρώσεις και αντιστοιχούν σε μη ρυπασμένα ιζήματα.
- ✓ 1 από τα 13 δείγματα (ποσοστό 7,69%) εμφάνισε οριακά συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του κριτηρίου τοξικότητας ERL (150 ppm) και χαμηλότερες του ERM (410 ppm) και συνεπώς αντιστοιχεί σε μέτρια ρυπασμένα ιζήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο Σπερχειός ποταμός αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Στερεάς Ελλάδας, με μεγάλη οικολογική σημασία για την ευρύτερη περιοχή. Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του, όπως η ποικίλη χλωρίδα και πανίδα του, οι ιαματικές πηγές του, το δέλτα του και το φυσικό κάλλος του, το καθιστούν σημαντικό οικοσύστημα της περιοχής.

Ο Σπερχειός είναι εποχιακός ποταμός και η μέση παροχή του παρουσιάζει μέγιστη τιμή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Αύγουστο, δηλαδή παρουσιάζει χαμηλή στάθμη το καλοκαίρι και υψηλή τον χειμώνα. Οι παροχές του Σπερχειού και των παραποτάμων του παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλες διακυμάνσεις. Κατά τους χειμερινούς και τους εαρινούς μήνες έχουν πλούσια ροή, αντίθετα κατά τους θερινούς μήνες η παροχή του Σπερχειού είναι σημαντικά μικρότερη, ενώ η παροχή ορισμένων παραποτάμων σχεδόν μηδενίζεται. Οι μεγάλες παροχές (υδατοπαροχές και στερεοπαροχές) είναι υπεύθυνες, κατά κύριο λόγο, για τις προσχώσεις και τα πλημμυρικά φαινόμενα που εμφανίζονται στον ποταμό. Η αυξημένη στερεοπαροχή συντελεί στη μείωση της ταχύτητας ροής των υδάτων της κεντρικής κοίτης στο Μαλιακό κόλπο και στην υπερανάπτυξη του δέλτα, που ευνοούν επιπλέον τα μικρά βάθη και οι, μειωμένης έντασης, θαλάσσιες διεργασίες του Μαλιακού κόλπου. Η σπουδαιότητα του οικοσυστήματος των εκβολών του ποταμού είναι μεγάλη και το δέλτα του Σπερχειού ανήκει στο δίκτυο Natura.

Σημαντική είναι η παρουσία στη λεκάνη του Σπερχειού ενός συνόλου από 519 πηγές και ένα ενεργό γεωθερμικό σύστημα, αποτέλεσμα του οποίου αποτελούν οι θερμές πηγές των περιοχών Υπάτης, Θερμοπυλών, Πλατυστόμου και Παλαιοβράχας.

Από ιζηματολογική άποψη το ποτάμι εμφανίζει ανομοιογένεια και απαρτίζεται από πέντε διαφορετικούς τύπους ιζημάτων με επικρατέστερους αυτούς της «Ιλυώδους άμμου» και της «Αμμώδους ιλύος». Στο δέλτα του Σπερχειού επικρατεί η λεπτόκοκκη φάση, υποδηλώνοντας ήπιες υδροδυναμικές συνθήκες, ενώ στα ανάντη τμήματα του ποταμού επικρατεί η χονδρόκοκκη φάση υποδηλώνοντας έντονο υδροδυναμικό περιβάλλον.

Ο Σπερχειός είναι ο φυσικός αποδέκτης όλων των λυμάτων της περιοχής της λεκάνης του, που είναι κυρίως αποτελέσματα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι βασικές ανθρωπογενείς εστίες ρύπανσης του Σπερχειού είναι τα υγρά απόβλητα των εργοστασίων, βιοτεχνιών και ελαιοτριβείων, τα αστικά λύματα των παραποτάμιων χωριών που οδηγούνται ανεξέλεγκτα στην κοίτη, οι παράνομες χωματερές, οι εντατικές καλλιέργειες, οι κτηνοτροφικές μονάδες κ.ά.

Ως προς τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών ιζημάτων του ποταμού:

Τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από αλκαλικές συνθήκες με τις χαμηλότερες τιμές pH να εμφανίζονται στα χαμηλότερα υψόμετρα του ποταμού.

Ο περιεχόμενος οργανικός άνθρακας βρίσκεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα υποδηλώνοντας μη ουσιαστική επιβάρυνση των ιζημάτων σε ρύπους.

Οι συγκεντρώσεις των επιφανειακών ιζημάτων του Σπερχειού σε βαρέα μέταλλα συγκρίθηκαν με αντίστοιχες επιφανειακών ιζημάτων άλλων ποταμών καθώς και με τις φυσικές συγκεντρώσεις των στοιχείων στα ιζήματα, τα εδάφη ή/και στο στερεό φλοιό της γης. Με βάση τη σύγκριση αυτή προέκυψε ότι τα περισσότερα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού ποταμού χαρακτηρίζονται ως μη ρυπασμένα ως προς το μαγγάνιο, τον ψευδάργυρο, τον χαλκό και τον μόλυβδο. Εξάιρεση αποτελούν τα δείγματα στη γερμανική τάφρο τα οποία εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις που πιθανά οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή. Ως προς το χρώμιο και κυρίως ως προς το νικέλιο υπάρχει μια επιβάρυνση των ιζημάτων στα κατάντη του ποταμού και στην τάφρο της Λαμίας. Ένα σημαντικό ποσοστό του χρωμίου και του νικελίου έχει γεωγενή προέλευση που σχετίζεται με τα υπερβασικά πετρώματα (οφιόλιθοι) της Υποπελαγονικής ζώνης τα οποία δομούν μεγάλο μέρος της λεκάνης του Σπερχειού και είναι εμπλουτισμένα στα στοιχεία αυτά, αλλά οι τιμές του νικελίου υποδεικνύουν και ανθρωπογενή ρύπανση. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έχουν ανιχνευτεί στις εκβολές του ποταμού, όπου δεσμεύονται στην επιφάνεια του λεπτόκοκκου κλάσματος του ιζήματος και στην οργανική ουσία.

Η εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων του Σπερχειού από βαρέα μέταλλα πραγματοποιήθηκε και με τον υπολογισμό περιβαλλοντικών δεικτών, όπως του δείκτη γεωσυσσώρευσης Igeo και των δεικτών ποιότητας των ιζημάτων ERL-ERM. Με βάση τους

δείκτες αυτούς επιβεβαιώνονται τα παραπάνω και τα επιφανειακά ιζήματα του Σπερχειού κατά κανόνα δεν είναι ρυπασμένα με εξαίρεση την τάφρο της Λαμίας και τις εκβολές του ποταμού όπου οι δείκτες είχαν μεγαλύτερες τιμές. Ρύπανση των ιζημάτων στις περιοχές αυτές προέρχεται κυρίως από το νικέλιο και σε μικρότερο βαθμό από το χρώμιο, τον χαλκό, και τον ψευδάργυρο.

Για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας στην περιοχή απαιτούνται ολοκληρωμένα σχέδια διαχείρισης. Ένα πρόγραμμα παρακολούθησης της ποιότητας των υδάτων και των ιζημάτων της λεκάνης απορροής, ένας σωστός σχεδιασμός για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αποβλήτων όλων των οικισμών, των βιομηχανιών και των κτηνοτροφικών μονάδων της περιοχής, η ελεγχόμενη χρήση φυτοφαρμάκων στις γεωργικές καλλιέργειες, αποτελούν μερικά βασικά μέτρα πρόληψης και προστασίας του ευαίσθητου οικοσυστήματος της κοιλάδας του Σπερχειού ποταμού.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνόπουλος Α., 2011. Αξιολόγηση της χημικής και οικολογικής κατάστασης των εσωτερικών επιφανειακών υδάτινων σωμάτων της Ελλάδας με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις μετάλλων. Διδακτορική διατριβή. ΕΜΠ. Αθήνα. Σελ. 77.
- Βακιρτζίδης Ν., 1995. Οι παραγωγικοί τομείς στη λεκάνη του Σπερχειού ποταμού. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 16-21.
- Βακιρτζίδης Ν., 1997. Παραγωγικοί τομείς και επενδύσεις. Στο : Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού - Πρόγραμμα Life. Ερευνητική Μελέτη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.
- Βαλαβανίδης Αθ., 2007. Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία. Ερευνητική μεθοδολογία για την εκτίμηση οικολογικού κινδύνου από επικίνδυνες χημικές ουσίες, Εκδόσεις: Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βαρνάβας, Σ., 1986. Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Γαλανοπούλου Σ., 2005. Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη θαλάσσιων επιφανειακών ιζημάτων περιοχής λιμένος Κερατσινίου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Αθήνα, σελ. 200.
- Γεωργίου Κ., 1995. Οικολογική και γεωργική θεώρηση. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 203-215.
- Δαουλάς Ε., 1995. Τα αντιπλημμυρικά έργα στον ποταμό Σπερχειό. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 163-172.
- Δασενάκης Εμ., Καστρίτης Σ., Τριανταφυλλάκη Σ., Μπούρου Π., Παρασκευοπούλου Β., 2005 : Διακίνηση Ρύπων στη Λεκάνη Απορροής του Σπερχειού και Επιδράσεις στην Παράκτια ζώνη.
- Ζαχαριάδης Γ., Ανθεμίδης Α., Στράτης Ι., Βουλγαρόπουλος Α., Βασιλικιώτης Γ. 1997. Αναλυτικοί προσδιορισμοί βαρέων μετάλλων στα ιζήματα του ποταμού Αξιού. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας & Αλιείας, - ΤΟΜΟΣ ΙΙ.
- Ζαχαρίας Ι., 1997. Αριθμητικό μοντέλο ποτάμιας κυκλοφορίας. Στο: Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού - Πρόγραμμα Life. Ερευνητική Μελέτη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.
- Θραψίμης Β., Πλαλή Μ., Σανοζίδου Μ, 2010. Παρεμβάσεις για την ποιοτική και ποσοτική διαχείριση του υδάτινου δυναμικού των λεκανών απορροής του Σπερχειού ποταμού. Τεχνικό Επιμελητήριο Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας.
- Ιωάννου Δ., 2001. Μελέτη της προσρόφησης βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων στα ιζήματα του Θερμαϊκού κόλπου, με τη χρήση μαθηματικών προτύπων επιφανειακής συμπλοκοποίησης. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 159.
- Καλλιδρομίτου Δ., 1995. Δορυφορική τηλεπισκόπηση Σπερχειού. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 203-215.
- Καπνιάς Δ., 2000. «Η κοιλάδα του Σπερχειού στο χωροχρόνο», Πάτρα.
- Κάρλη Α., 2013. Υδρογεωλογικές και Υδροχημικές Συνθήκες των Υδροφόρων της Λεκάνης του Σπερχειού Ποταμού. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας. Πάτρα. Σελ. 6-10, Σελ. 21, σελ. 35-42.
- Κουιμτζής Θ., 1989. Χημεία Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη. Εκδ. Ζήτη.

- Κουτσάκης Γ., 1995. Η αλιεία και η υδατοκαλλιέργεια στο δέλτα του Σπερχειού και στο Μαλιακό κόλπο. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 111-115.
- Κουτσογιάννης Δ., Τσακαλίας Γ., Μαμάσης Ν., Κουκοβίνος Α., 1997. Επιφανειακοί υδάτινοι πόροι. Στο : Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού - Πρόγραμμα Life. Ερευνητική Μελέτη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.
- Μαρουκιάν Χ., Παυλόπουλος Κ., 1997. Γεωλογία, υδρογεωλογία και γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής του Σπερχειού ποταμού. Στο : Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού - Πρόγραμμα Life. Ερευνητική Μελέτη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.
- Μεντζαφού Α., Μαργογιάννη Β. και Δημητρίου Η., 2015. Τεχνική έκθεση με τις χωροχρονικές μεταβολές των περιβαλλοντικών παραμέτρων. ΚΡΗΠΙΣ-ΙΘΑΒΙΠΕΥ, σελ. 147.
- Μουντούρης Α., Βουτσάς Ε., Τασιός Δ., 2005. Ρύπανση ιζήματος από βαρέα μέταλλα σε ελληνικές περιοχές: η υφιστάμενη κατάσταση και η προτεινόμενη δράση. Τεχνικά Χρονικά. ΤΕΕ.
- Μπέλλος Δ., 2004. Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων - βαρέων μετάλλων και ραδιοκαϊσίου στο νερό – ιζήμα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού. Διδακτορική διατριβή. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Σελ. 187.
- Μποναζούντας Μ., Καλλιδρομίτου Δ., Ζαχαρίας Ι., Περγαντής Φ., Βασιλείου Π. και συν., 1996. Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού. Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος. Σύμβαση LIFE 92-2/gr/004, B4-3200, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ΓΔ/11, 7.
- Μποναζούντας Μ., Καλλιδρομίτου Δ., Ζαχαρίας Ι., Περγαντής Φ., Βασιλείου Π. και συν., 1996. Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού. Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος. Σύμβαση LIFE 92-2/gr/004, B4-3200, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ΓΔ/11, 7.
- Μπότσου Φ., Δασενάκης Μ., Καραγεώργης Α., Σκούλλος Μ. 2006. Κατανομή βαρέων μετάλλων σε επιφανειακά ιζήματα από το εκβολικό σύστημα του Ασωπού ποταμού. 8<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας.
- Ντούρμας Β. 2012. Διασυνοριακή ποταμιαία ρύπανση: επιπτώσεις, θεσμικό πλαίσιο και διεθνείς συμφωνίες. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Αθήνα. Σελ. 79.
- Παντέρα Α., Γαλανοπούλου Σ., 2015. Σημειώσεις για το μάθημα: Δασική Εδαφολογία. Καρπενήσι.
- Παπαδέας Δ., 1992. Γεωλογική - Τεκτονική - Υδροχημική - Γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη Σπερχειού Φθιώτιδας. ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- Περγαντής Φ., 1997. Βιοτικό φυσικό περιβάλλον. Στο : Ολοκληρωμένη διαχείριση ποτάμιου οικοσυστήματος Σπερχειού - Πρόγραμμα Life. Ερευνητική Μελέτη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.
- Περιβαλλοντική Τεχνική Έκθεση, 1997. Τόμοι I-IX, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15770 Ζωγράφου.
- Πεγλιβανίδου, 2012. Ιζηματολογικά και φυσικογεωγραφικά μοντέλα ανάπτυξης ολοκαινικών δελταϊκών ακολουθιών στην κοιλάδα του Σπερχειού ποταμού. Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 233.
- Ρίζος Δ., 1995. Ιδιαιτερότητες του οικοσυστήματος του Μαλιακού κόλπου. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 116-121.

- Σιδέρης Α. Χ., 2009. Διερεύνηση της δράσεως του καδμίου και άλλων βαρέων μετάλλων στη συμπεριφορά, αντιοξειδωτική κατάσταση, ένζυμα και βιογενείς αμίνες εγκεφάλου επιμυών. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Ιατρικής ΕΚΓΑ, Αθήνα. Σελ. 150.
- Σοφιάνσκα Ε., 2013. Γεωχημική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων σε εδάφη, ύδατα και φυτά, στο Δυτικό Τμήμα της λεκάνης της Δράμας, από την παρουσία και εκμετάλλευση κοιτασμάτων μαγγανίου στην ευρύτερη περιοχή. Πειραματική αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών. Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη. Σελ. 468.
- Στασινός Κ., 1995. Οι απειλές των υδροτόπων της Φθιώτιδας. Πρακτικά ημερίδας "Σπερχειός 2000+, Περιβάλλον και Ανάπτυξη", 140-147.
- Τάντος Β., Παπαϊωάννου Α., 2006. Δασική Εδαφολογία. ΤΕΙ Λάρισας.
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. 2009. Το πρόβλημα του Ασωπού ποταμού-προτάσεις αντιμετώπισής του, Αθήνα.
- Χατζηνικολάου Γ., 2007. Επίδραση διαχειριστικών πρακτικών στην ποιότητα νερού και στην οικολογία των ποταμών της Ελλάδας. Ο Πηνειός (Θεσσαλίας) ως ειδική περίπτωση μελέτης. Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη. Σελ. 720.
- Χριστόπουλος Η., 2010. Γεωμορφολογική μελέτη αλουβιακών ριπιδίων και των αντίστοιχων λεκανών απορροής στη λεκάνη του Σπερχειού ποταμού (Κεντρική Ελλάδα). Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, σελ. 100.
- Banat K., Howari F., Al-Hamad A. 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks? *Environmental Research*, 97: 258–273.
- Bartlett R. 1986. Soil redox behavior. In: *Soil Physical Chemistry*, Sparks, D. J., ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 179p.
- Bossard M., Feranec J., Otahel J., 2000. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report, N° 40, Copenhagen (EEA).
- Botsou F., Karageorgis A., Dassenakis E., Scoullou M. 2011. Assessment of heavy metal contamination and mineral magnetic characterization of the Asopos River sediments (Central Greece). *Marine Pollution Bulletin*, 547-563.
- Chettri M. K. and Sawidis T. 1997. Impact of Heavy Metals on Water Loss from Lichen Thalli. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 37: 103 - 111.
- Chettri M. K., Sawidis T., Zachariadis G. A. and Stratis J. A. 1997. Uptake of heavy metals by living and dead *Cladonia thalli*. *Environ. and Exp. Bot.* 37: 39 - 52.
- Chettri M. K., Cook C. M., Vardaka E., Sawidis T. and Lanaras T. 1998. The effect of Cu, Zn, and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis*. *Environ. Exper. Bot.* 39: 1 - 10.
- Dassenakis M., Degaita A., Scoullou M. 1995. Trace metals in sediments of a Mediterranean estuary affected by human activities (Acheloos river estuary, Greece). *The Science of the Total Environment* 168, 19-31.
- Djingova R., Kuleff I., Arpadjan S., Alexandrov S., Voulgaropoulos A. and Sawidis T. 1987. Neutron activation analysis of *Ulva lactuca* and *Gracilaria verrucosa* from Thermaikos Gulf, Greece. *Toxicol. and Environ. Chem.*, 15: 149 - 158.
- Folk, R., L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company Austin, Texas.
- Gartzos E., and Stamatidis G. 1996. Genesis of the thermal springs of the Sperchios graben, Greece. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh. H.*, 2:91-115.

- Hutchinson T. C., Fedorenko A., Fitchko J., Kuja A., Van Loon J. and Lichwa J. 1975. Trace substances in Environmental Health - IX. In D. D. Hemphill (Ed), Movement and compartmentation of nickel and copper in an aquatic ecosystem. Univ. Missouri, Columbia, 89-105 pp.
- Kabala C. and Singh B. 2001. Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *Journal of Environmental Quality* 30 (2), pp. 485-492.
- Kabata - Pendias A. and Dudka S. 1989. Evaluating Baseline Data for Cadmium in Soils and plants in Poland element concentration cadasters in ecosystems H., Lieth and Markert (Eds), VCH Weinheim.
- Kabata - Pendias A. and Pendias H. 2001. Trace Metals in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition 413p.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer, Berlin 550p
- Kabata - Pendias A. 2011. Trace Elements in Soils and Plants, CRCPressInc., BocaRaton, Florida. 505 p.
- Karageorgis A., Nikolaidis N., Karamanos H., Skoulikidis N., 2003. Water and sediment quality assessment of the Axios River and its coastal environment. *Continental Shelf Research* 23, 1929–1944.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine ecosystems. *Environmental Management*, 19, 81-97.
- Madrid E., Díaz-Barrientos E., Madrid F. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere* 49: 1301–1308.
- Martínez C. and Motto H. 2000. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution* 107 (1):153–158.
- Martínez-Martínez S., Acosta J., Faz Cano A., Carmona D., Zornoza R., Cerda C. 2013. Assessment of the lead and zinc contents in natural soils and tailing ponds from the Cartagena-La Unión mining district, SE Spain. *Journal of Geochemical Exploration* 124: 166–175.
- Massas I., Kalivas D., Ehaliotis C., Gasparatos D. 2013. Total and available heavy metal concentration in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution index. *Environmental Monitoring Assessment* 185 (8):6751-6766. DOI 10.1007/s10661-013-3062-1.
- McKenzie R. 1980. The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Australian Journal of Soil Research* 18, 61,
- Milenkovic N., Damjanovic M., Ristic M. 2005. Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 14, No 6, 781-787.
- Müller G. 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veränderungen seit (1971). *Umschau*, (79), 778-783.
- Müller G. 1981. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung* 105:157–164.
- Newman M. C. and McIntosh A. W. 1982. The influence of lead in component of a freshwater ecosystem on molluscan tissue lead concentrations. *Aqua. Toxicol.* 2. 1-19.

- Pip E. 1990. Cadmium, copper and lead in aquatic macrophytes in Shoal Lake (Manitoba-Ontario). *Hydrobiologia*, 208: 253-260.
- Piskunov L. I. and Gushchyn V. M. 1981. Uptake of radionuclides by freshwater plants under natural conditions. *Radiobiol.(USSR)*, 21: 730-736.
- Poulos S.E., Collins M.B., Shaw H.F., 1996. Deltaic sedimentation, including clay mineral deposition patterns, associated with small mountainous rivers and shallow marine embayments of Greece (SE Alpine Europe). *Journal of Coastal Research* 12(4), 940-952.
- Psomiadis E., Parcharidis I., Poulos S., Stamatis G., Migiros G., Pavlopoulos A., 2005. Earth observation data in seasonal and long term coastline changes monitoring: The case of Sperchios River delta. In: Fouache E., Pavlopoulos K., (Eds.), *Zeitschrift fur Geomorphologie: Sea level changes in eastern Mediterranean during Holocene*. Gebruder Borntraeger, 159-175.
- Rudnick R. L., & Gao S. 2003. Composition of the continental crust, treatise on geochemistry. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64.
- Sawidis T., Zachariadis G., Stratis I. and Ladoukakis E. 1993. Mosses as biological indicators for monitoring of heavy metal pollution. *Fresenius Envir. Bull.* 2: 193 - 199.
- Sawidis T., Chettri M. K., Zachariadis G. A. and Stratis I. 1995. Heavy metals in aquatic plants and sediments from water systems in Macedonia, Greece. *Ecotox. Environ. Safety*, 32: 73-80.
- Sawidis T. and Reiss H. - D. 1995. Effects of heavy metals on pollen tube growth and ultrastructure. *Protoplasma*, 185: 113 - 122.
- Sawidis T. 1997. Accumulation and effects of heavy metals in *Lilium* pollen. *Proc. Int. Symp. on pollination. Acta Hort.* 437: 153-157.
- Sawidis T., Brown M. T., Zachariadis G. and Stratis I. 2001. Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. *Environ. Internat.* 27: 43 - 47.
- Schlote F. R. W., Rayermann - Grondal M., Tucks M. T., Hiller B. and Buhren B. 1989. *Immitted Heavy Metals. Is Lead Another Reason for Forest Decline - Investigations by Means of Multielement Analysis in Element Concentration Cadasters in Ecosystems* (Eds). H. Lieth, B. Markert.
- Stratis J. A., Simeonov V., Zachariadis G., Sawidis T., Mandjukov P. and Tsakovski 1996. Chemometrical approaches to evaluate analytical data from aquatic macrophytes and marine algae. *Fresenius J. Anal. Chem* 355: 65 - 70.
- Sutherland R. 2000. Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39:611-627.
- Wagner G. 1989. Variability of Element Concentrations in Tree Leaves Depending on Sampling Parameters. In: *Element Concentration Cadasters in Ecosystems* By H - Lieth, B. Markert. (Ed.) VCH, Weinheim.
- Walkley A. and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff methods for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil. Sci.* 37: 29-38.
- Wedepohl K.H. 1969, 1978. *Handbook of geochemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Zabetoglou K., Voutsas D. and Samara C. 2002. "Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece", *Chemosphere*, 17-26.

Zamani A., Maroukian X. 1979. A morphological study of an old delta of the Sperchios River. VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Institute of Geological and Mining Research, 417-424.

Zamani A., Maroukian X. 1980. Deltaic sedimentation of the Sperchios River in historical times. *AnnalesGeologiquesDesPaysHelleniques*, 431-440.

<http://votaniki.gr/> (πρόσβαση 20-2-2020).

<https://www.google.gr/maps> (πρόσβαση 12/10/2019).

<http://www.google maps.com> (πρόσβαση 5/11/2019).