



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ  
ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΒΑΣΕΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ &  
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΑΣΩΠΟΥ»



ΤΖΑΝΑΒΑΡΗ ΙΩΑΝΝΑ, ΤΜΣ1705

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΣΙΟΝΤΟΡΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2019

## ΔΗΛΩΣΗ

Copyright ©, 2019

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τζαναβάρη Ιωάννα και την επιβλέπουσα καθηγήτρια Σιοντόρου Χριστίνα εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στην εν λόγω μεταπτυχιακή φοιτήτρια και την επιβλέπουσα καθηγήτρια από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο ως συν συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο.

(Υπογραφή)

\_\_\_\_\_

Τζαναβάρη Ιωάννα

(Υπογραφή)

\_\_\_\_\_

Σιοντόρου Χριστίνα

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας κα. Χριστίνα Σιοντόρου κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας καθώς και για την επιμονή της κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της. Η βοήθεια και η καθοδήγησή της για την επίλυση διαφόρων ζητημάτων ήταν πολύτιμη. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική τους συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας και για την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα εγχώρια ύδατα αποτελούν κομμάτι του φυσικού πλούτου της Ελλάδας και η ποιότητά τους θα πρέπει να διαχειρίζεται με τον βέλτιστο τρόπο προκειμένου να διαφυλαχθεί τόσο η δημόσια υγεία όσο και το περιβάλλον.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ευρύτερη περιοχή του Ασωπού έχει μελετηθεί από πληθώρα επιστημόνων αναφορικά με την ρύπανση της από το εξασθενές χρώμιο τόσο λόγω της βιομηχανίας που δραστηριοποιείται στην περιοχή και παράγει χρωμιούχα απόβλητα τα οποία διοχετεύονται ανεξέλεγκτα στον ποταμό όσο και λόγω της σύστασης των πετρωμάτων της περιοχής που περιέχουν σημαντικές περιεκτικότητες χρωμίου.

Η ταυτοποίηση των πηγών ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της περιοχής από τον τοξικό αυτόν ρύπο καθώς και η ανάπτυξη του περιβαλλοντικού πλαισίου βάσει γεωλογικών και υδρογεωλογικών κριτηρίων όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στην παρούσα εργασία είναι απαραίτητα για την κατανόηση του μεγέθους της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και την λήψη κατάλληλων μέτρων για την αποκατάσταση και την παρακολούθησή της.

Τέλος, παρατίθενται τρία (3) διαφορετικά σενάρια - προβλέψεις αναφορικά με την εξέλιξη της ρύπανσης της περιοχής στο μέλλον βάσει κλιματολογικών, τεχνολογικών και κοινωνικών παραγόντων καθώς και βάσει άλλων επιστημονικών απόψεων επί του θέματος.

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:**

Εξασθενές χρώμιο, γεωλογία, ανθρωπογενής προέλευση, τεχνολογίες απορρύπανσης, προτάσεις διαχείρισης ρύπανσης, μελλοντικές προβλέψεις

## **ABSTRACT**

Domestic waters are an integral part of Greece's natural wealth and their quality should be managed so as to preserve both public health and the environment.

The last decades, the wider Asopos area has been studied by many scientists regarding its pollution by hexavalent chromium, both because of the industry activating in the area and produces chromium waste and the composition of the rocks in the area containing significant chromium content.

The identification of contamination sources of the surface and underground water of the area by this toxic pollutant as well as the development of the environmental framework based on geological and hydrogeological criteria as presented in detail in this project, are necessary to understand the extend of environmental degradation, and take appropriate measures for remediation and monitoring of the phenomenon.

Lastly, three (3) different predictions – scenarios, about the evolution of the Asopos Basin contamination in the future, are described based on climatological, technological and social factors as well as other scientific reports.

## **KEYWORDS:**

Hexavalent Chromium, geology, human sources, remediation technologies, contamination management, future predictions

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1.1.Γεωγραφική – Γεωμορφολογική τοποθέτηση περιοχής μελέτης.....	8
1.2.Κλίματολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	9
1.3.Οικότοποι – Θέσεις οικολογικού ενδιαφέροντος.....	10
1.4.Χρήση επιφανειακού και υπόγειου νερού .....	11
1.5.Συγκεντρώσεις χρωμίου στα εδάφη της Ελλάδας .....	12
2.ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ .....	14
2.1.Γεωλογία.....	14
2.2.Υδρογεωλογία .....	16
2.2.1.Υδροφόροι ορίζοντες – Κατεύθυνση υπόγειου νερού .....	21
3.ΧΡΩΜΙΟ .....	24
3.1.Οξείδωση – Αναγωγή χρωμίου .....	24
3.2.Τοξικότητα εξασθενούς χρωμίου.....	26
4.ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ .....	27
4.1.Ιστορικό .....	27
4.2.Νομοθεσία – Περιβαλλοντικά πρότυπα .....	27
4.3.Βιομηχανική δραστηριότητα.....	29
4.4.Πρωτογενής τομέας .....	32
4.4.1.Γεωργική Δραστηριότητα.....	32
4.4.2.Κτηνοτροφία.....	34
4.5. Πηγές ρύπανσης – Δειγματοληψία 2008.....	35
5.ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ.....	38
6.ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	45
7.ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ .....	48
7.1. Τεχνολογίες & Ενέργειες απορρύπανσης νερού στην Λεκάνη του Ασωπού.....	48

7.2. Προτάσεις.....	52
8. ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ – ΕΞΕΛΙΞΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ .....	55
9.ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	60

## ΛΙΣΤΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ/ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Σχήμα 1:</b> Λεκάνη απορροής Ασωπού ποταμού.....	8
<b>Σχήμα 2:</b> Μετεωρολογικοί σταθμοί περιοχής μελέτης.....	9
<b>Σχήμα 3:</b> Περιοχές Natura 2000 και καταφύγια άγριας ζωής εντός της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. ....	11
<b>Σχήμα 4:</b> Ποσοστιαία κατανομή υδατικών αναγκών ανά χρήση στην περιοχή μελέτης.....	12
<b>Σχήμα 5:</b> Μετρήσεις συγκεντρώσεων χρωμίου στα εδάφη της Ελλάδας.....	13
<b>Σχήμα 6:</b> Ποσοστιαία κατανομή γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη απορροής του Ασωπού. .	14
<b>Σχήμα 7:</b> Γεωλογικός χάρτης λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού με τις κύριες λιθολογίες.....	16
<b>Σχήμα 8:</b> Υδρογεωλογικός χάρτης λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού όπου παρουσιάζονται οι περατές, ημιπερατές και αδιαπέρατες λιθολογίες.....	20
<b>Σχήμα 9:</b> Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού .....	22
<b>Σχήμα 10:</b> Χάρτης υδραυλικού φορτίου υπόγειων υδροφορέων στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού. ....	22
<b>Σχήμα 11:</b> Ροή υπόγειου νερού Καρστικών υδροφόρων σχηματισμών .....	23
<b>Σχήμα 12:</b> Κύκλος χρωμίου στο υδατικό περιβάλλον.....	25
<b>Σχήμα 13:</b> Βιομηχανική εξέλιξη δεκαετίας 1997-2007.....	30
<b>Σχήμα 14:</b> Αριθμός βιομηχανικών μονάδων, εγκατεστημένοι στην περιοχή μελέτης. ....	31
<b>Σχήμα 15:</b> Χάρτης χρήσεων γης.....	33
<b>Σχήμα 16:</b> Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού .....	34
<b>Σχήμα 17:</b> Θέση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και περιεκτικότητες εξασθενούς χρωμίου. ....	37

<b>Σχήμα 18:</b> Συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στους υπόγειους υδροφορείς της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού.....	40
<b>Σχήμα 19:</b> Οικολογική και χημική κατάσταση Ασωπού ποταμού.....	45
<b>Σχήμα 20:</b> Χάρτης υδροσημείων παρακολούθησης υπόγειων υδάτων..	54

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1:</b> Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής από μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης....	10
<b>Πίνακας 2:</b> Νομοθετικές διατάξεις και οδηγίες αναφορικά με το εξασθενές χρώμιο και τον ποταμό Ασωπό. ....	27
<b>Πίνακας 3:</b> Αριθμός μονάδων ανά βιομηχανικό κλάδο την δεκαετία 1997-2007. ....	29
<b>Πίνακας 4:</b> Ετήσια φορτία BOD, N, P υδάτων Ασωπού από σημειακές πηγές ρύπανσης. ....	46
<b>Πίνακας 5:</b> Ετήσια φορτία BOD, N, P υδάτων Ασωπού από διάχυτες πηγές ρύπανσης. ....	46
<b>Πίνακας 6:</b> Συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και άλλες φυσικοχημικές παράμετροι στον Ασωπό ποταμό - 2018.....	47

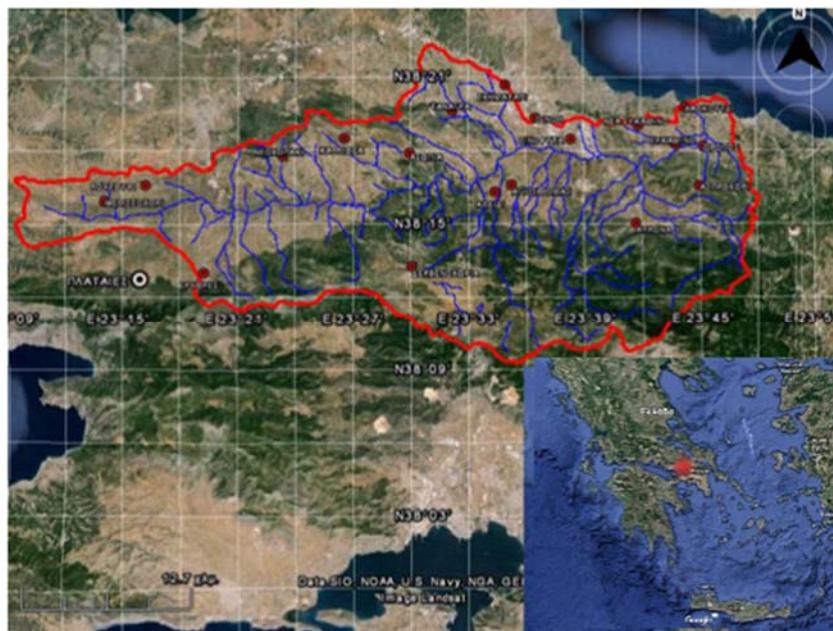


# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1.Γεωγραφική – Γεωμορφολογική τοποθέτηση περιοχής μελέτης

Ο Ασωπός ποταμός είναι ένας ποταμός μήκους 57 km που διασχίζει το μεγαλύτερο μέρος του νομού Βοιωτίας και το βορειοανατολικό τμήμα του νομού Αττικής. Η κύρια πηγή του ποταμού εντοπίζεται στον Κιθαιρώνα, περίπου 30 km Νότια της Θήβας, ενώ στην πορεία του συναντώνται και άλλα μικρότερα ρεύματα. Ο ποταμός έχει γενική διεύθυνση Δ-Α και εκβάλλει στον Νότιο Ευβοϊκό κόλπο αφού διέλθει από τις οικιστικές περιοχές Συκάμινο, Ωρωπός, Σχηματάρι και Οινόφυτα.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού (EL0725) που αποτελεί και την περιοχή μελέτης (**Σχήμα 1**) οριοθετείται από τις πόλεις Θήβα – Αυλίδα – Αυλώνα – Ωρωπός, συμπεριλαμβανομένων των Δήμων Τανάγρας, Σχηματαρίου και Οινόφυτων, από τις οροσειρές της Πάρνηθας και του Κιθαιρώνα στα Νότια και από χαμηλότερα υψόμετρα με μεγαλύτερο αυτό του Ψηλώματος στα Βόρεια. Έχει έκταση περίπου 721 km<sup>2</sup> και περίμετρο 170 km. Το κύριο σύστημα ρηγμάτων της περιοχής (Δ-Α) συμπίπτει με τον κύριο άξονα της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. Στην λεκάνη εντοπίζονται δύο ακόμα συστήματα ρηγμάτων (ΒΔ- ΝΑ & ΒΑ- ΝΔ), με επικρατέστερο όμως το σύστημα Α-Δ. (Καλλιστράτου 2011, Νίκα et al. 2015).



**Σχήμα 1:** Λεκάνη απορροής Ασωπού ποταμού. (Νίκα et al., 2015)

## 1.2. Κλίματολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Η λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού χαρακτηρίζεται από μεσογειακό ηπειρωτικό κλίμα, με σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες, καθώς τα όρη που την οριοθετούν δεν επιτρέπουν την θαλάσσια επίδραση. Χαρακτηριστικό είναι επίσης το μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, περίπου 20°C.

Εντός της περιοχής μελέτης εντοπίζεται ένας κύριος μετεωρολογικός σταθμός, αυτός της Τανάγρας, με συντεταγμένες 38°20'6.00'', 23°33'43.20'' και σε υψόμετρο 139 m, ενώ οι μετεωρολογικοί σταθμοί Αλιάρτου, Τατοΐου και Ελευσίνας αν και βρίσκονται εκτός της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού, επηρεάζουν περιοχές εντός αυτής (**Σχήμα 2**). Συγκεκριμένα, η περιοχή επιρροής του μετεωρολογικού σταθμού της Τανάγρας υπολογίζεται ότι είναι 494,73 km<sup>2</sup> από τα συνολικά 721 km<sup>2</sup>, ενώ των μετεωρολογικών σταθμών Αλιάρτου, Ελευσίνας και Τατοΐου είναι 57,93 km<sup>2</sup>, 56,76 km<sup>2</sup> και 111,64 km<sup>2</sup> αντίστοιχα. Ο σταθμός της Τανάγρας λόγω της θέσης του και της τοπογραφίας της περιοχής επηρεάζει περισσότερο την περιοχή μελέτης. (Νίκα et al., 2015)



**Σχήμα 2:** Μετεωρολογικοί σταθμοί περιοχής μελέτης. Προετοιμασία σε Google Earth Pro.

Τα πιο πρόσφατα δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) από το 1958-1997 για τον μετεωρολογικό σταθμό της Αλιάρτου και από το 1958-2000 για τους υπόλοιπους 3 σταθμούς, για παραμέτρους όπως η θερμοκρασία και το ύψος βροχής δίνονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 1**) σε μέσες ετήσιες τιμές.

**Πίνακας 1:** Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής από μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Δεδομένα από: [http://www.emy.gr/emyl/el/climatology/climatology\\_city](http://www.emy.gr/emyl/el/climatology/climatology_city) [Πρόσβαση: 28/01/2019]

Σταθμός Παρατήρησης	Τανάγρα	Αλίαρτος	Ελευσίνα	Τατόι
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	452,9	595,29	371,23	435,09
Μέση ετήσια θερμοκρασία (° C)	15,73	16,74	17,83	16,02

Από τον Πίνακα 1 προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην μελετώμενη περιοχή είναι χαμηλό για τα ελληνικά δεδομένα. Αντίθετα η μέση θερμοκρασία είναι στα ίδια επίπεδα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας.

### 1.3.Οικότοποι – Θέσεις οικολογικού ενδιαφέροντος

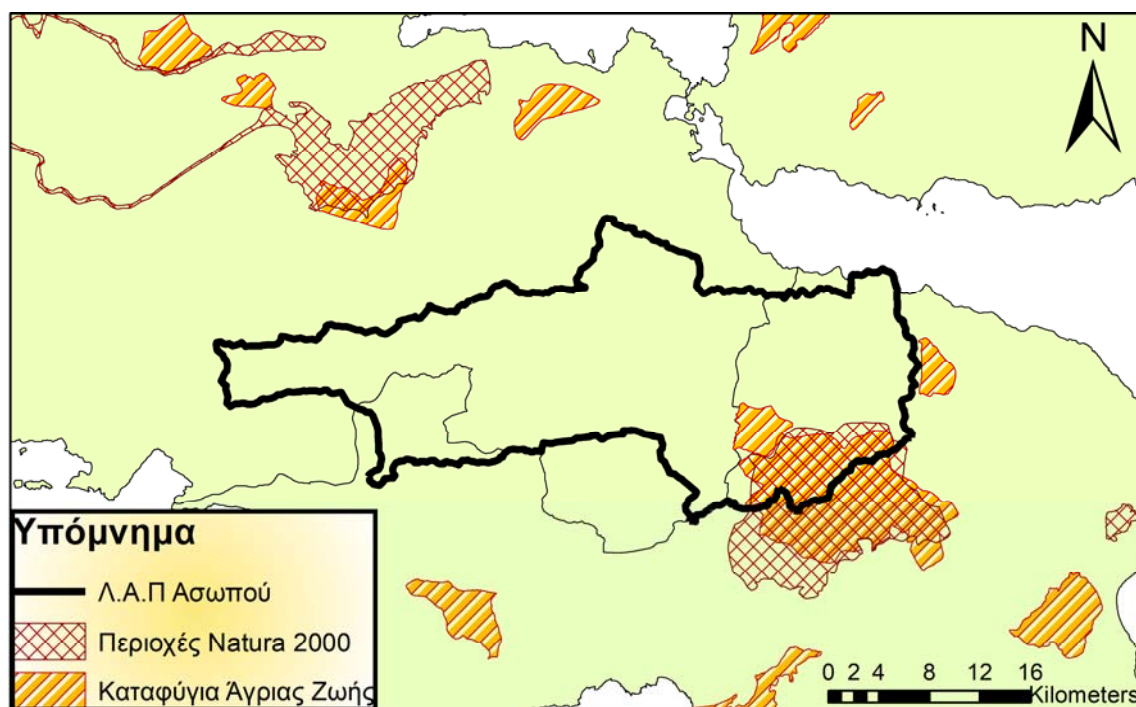
Στο Νότιοανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού, όπως φαίνεται και στο παρακάτω χάρτη (Σχήμα 3) εκτείνεται μια Περιοχή Κοινοτικού Ενδιαφέροντος, τύπου Α, που ενσωματώνεται στο δίκτυο Natura 2000 (GR 3000001). Η εν λόγω περιοχή συνολικής εκτασης 14.902,43 ha, χαρακτηρίζεται και ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας της άγριας ορνιθοπανίδας σύμφωνα με το άρθρο 4.4. της οδηγίας 79/409/ΕΟΚ (Birds Directive) καθώς επίσης και ως κυρηγμένος Εθνικός Δρυμός από το 1961, στα πλαίσια του Α.Ν. 856/1937. Αποτελεί μια δασώδη έκταση αποτελούμενη κυρίως από ενδημική Κεφαλληνιακή ελάτη<sup>1</sup>, μακκία βλάστηση, εύκρατα δάση κωνοφόρων<sup>2</sup>, βραχώδεις λόφους και ορεινά λιβάδια. (Νίκα, 2014)

Βορειοανατολικά της λεκάνης απορροής και συγκεκριμένα στις εκβολές του Ασωπού ποταμού στον Νότιο Ευβοϊκό, εντοπίζεται μια ακόμα περιοχή κοινοτικού ενδιαφέροντος, τύπου Β', (GR 3000002), όπου μαζί με την λιμνοθάλασσα του Ωρωπού αποτελούν ένα ενιαίο υγροτοπικό σύστημα που χαρακτηρίζεται ως σημαντικό καταφύγιο άγριας ορνιθοπανίδας της Αττικής και ενδιάμεσο σταθμό ανάπαυσης για πολλά μεταναστευτικά πουλιά. Η προστατευόμενη αυτή περιοχή αποτελείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά από ένα

<sup>1</sup> *Abies cephalonica*

<sup>2</sup> *Pinus halepensis*

σύνθετο σύστημα αμμωδών και λασπωδών εκτάσεων, μια μικρή ελώδη έκταση αρκετά περιορισμένη λόγω των παρακείμενων οικιών και τη λιμνοθάλασσα του Ωρωπού. Οι όχθες του ποταμού σε απόσταση περίπου 100 m από την ακτή καλύπτονται από υδρόφιλη βλάστηση. (Καρακώστας 2011, Μπέλλου 2010)

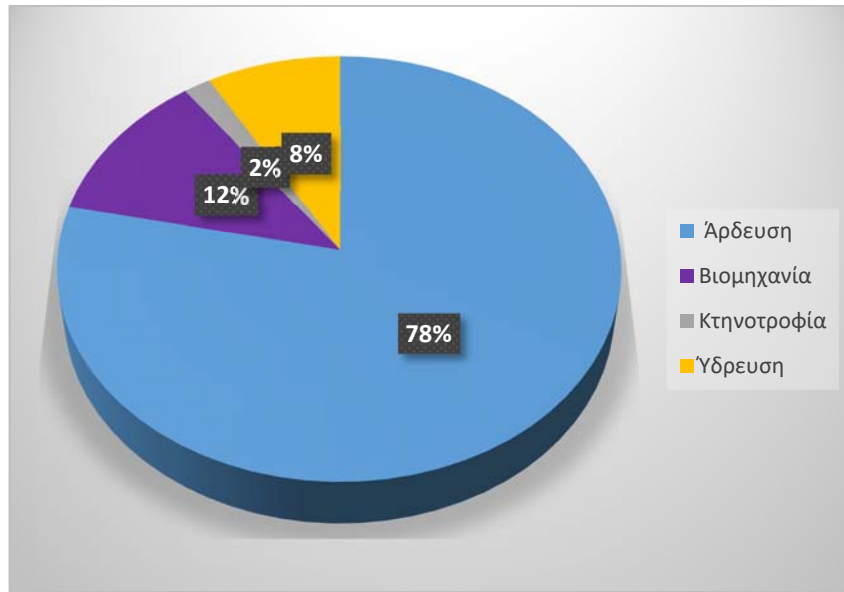


**Σχήμα 3:** Περιοχές Natura 2000 και καταφύγια άγριας ζωής εντός της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. Προετοιμασία σε ArcGIS 10.5.

#### 1.4.Χρήση επιφανειακού και υπόγειου νερού

Το νερό του ποταμού Ασωπού καθώς και το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο στους υπόγειους υδροφορείς καλύπτει σημαντικές ανάγκες των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι χρήσεις νερού στην λεκάνη απορροής του Ασωπού διακρίνονται σε ύδρευση, άρδευση, κτηνοτροφία και βιομηχανία. Οι συνολικές υδατικές ανάγκες στη περιοχή υπολογίστηκαν σε  $71.378.138 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , με το μεγαλύτερο μέρος να αφορά τις ανάγκες άρδευσης ( $55.919.146 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ), ενώ ακολουθεί η βιομηχανία με  $8.298.529 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , η ύδρευση με  $5.953.654 \text{ m}^3/\text{έτος}$  και τέλος η κτηνοτροφία με  $1.206.809 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Οι υδατικές ανάγκες της κτηνοτροφίας και της βιομηχανίας καλύπτονται εξ' ολοκλήρου από υπόγεια υδατικά σώματα. Οι ανάγκες άρδευσης καλύπτονται ως επί το πλείστο από υπόγεια ύδατα (92,2%) και οι ανάγκες ύδρευσης καλύπτονται κατά 59% από υπόγεια ύδατα και κατά 41% από τα επιφανειακά υδατικά συστήματα. Στο ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 4) παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των υδατικών αναγκών ανά χρήση στην περιοχή μελέτης. (ΥΠΕΝ, 2017)





**Σχήμα 4:** Ποσοστιαία κατανομή υδατικών αναγκών ανά χρήση στην περιοχή μελέτης.

#### 1.5. Συγκεντρώσεις χρωμίου στα εδάφη της Ελλάδας

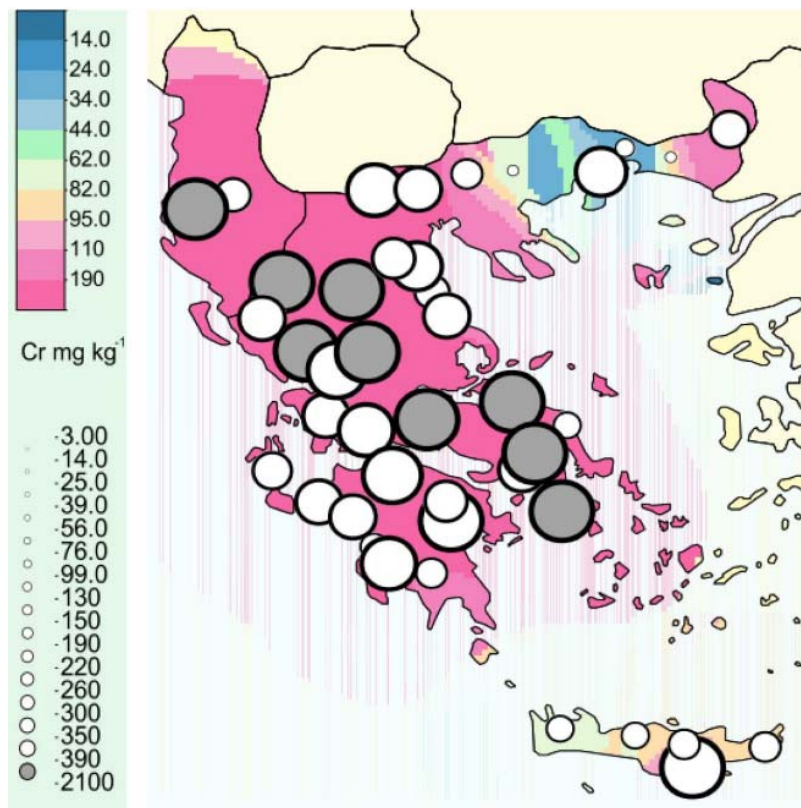
Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν βιομηχανίες οι οποίες από το 1969 διοχετεύουν, ανεξέλεγκτα, λύματα στο ποτάμι του Ασωπού. Τα χρωμιούχα απόβλητα που προκύπτουν από αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων από το εξαιρετικά τοξικό εξασθενές χρώμιο, μια από τις πιο συνηθισμένες ενώσεις του χρωμίου, που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον και δύναται να εξαπλωθεί με την συνέργεια των βασικών μηχανισμών μεταφοράς μάζας (μεταγωγή<sup>3</sup>, διασπορά<sup>4</sup>, διάχυση<sup>5</sup>) σε μεγάλες αποστάσεις εντός του υδροφόρου (Καββαδάς, 2013). Η προέλευση του εξασθενούς χρωμίου που βρίσκεται διαλυμένο στα υπόγεια ύδατα εκτός από ανθρωπογενής μπορεί να είναι και γηγενής λόγω της σύστασης των πετρωμάτων σερπεντίνη. Στην Ελλάδα υπάρχουν σημαντικές εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων που ευθύνονται για τη γηγενή ρύπανση με χρώμιο και η οποία επιβεβαιώνεται από τον γεωχημικό Άτλα της Ελλάδας. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 5**), στην Ελλάδα οι συγκεντρώσεις

<sup>3</sup> Κατά τη μεταγωγή ή υδραυλική μεταφορά, ο ρύπος παρασύρεται κατά την κίνησή του διαμέσου των πόρων, από το υπόγειο νερό, με τη συγκέντρωσή του να μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Η μεταγωγή του ρύπου εξαρτάται από την ταχύτητα μεταγωγής (υδραυλική αγωγιμότητα εδάφους) και το μέγεθος της υδραυλικής κλίσης (κίνηση) του υπόγειου νερού.

<sup>4</sup> Η διασπορά του ρύπου οφείλεται σε μεταβολές της ταχύτητας του νερού λόγω ανομοιογένειας του υδροφορέα. Η διασπορά πρόκειται για μεταγωγή σε μικροσκοπική κλίμακα (κλίμακα εδαφικών πόρων).

<sup>5</sup> Κατά τη διάχυση ή μοριακή διάχυση, ο ρύπος διαχέεται εντός του υπόγειου νερού από περιοχές υψηλής προς περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης (λόγω ύπαρξης διαφοράς συγκέντρωσης). Η διάχυση δεν εξαρτάται από την κίνηση του υπόγειου νερού.

χρωμίου στα εδάφη είναι αρκετά αυξημένες και μεγαλύτερες από 190 mg/kg στο μεγαλύτερο κομμάτι της χώρας.

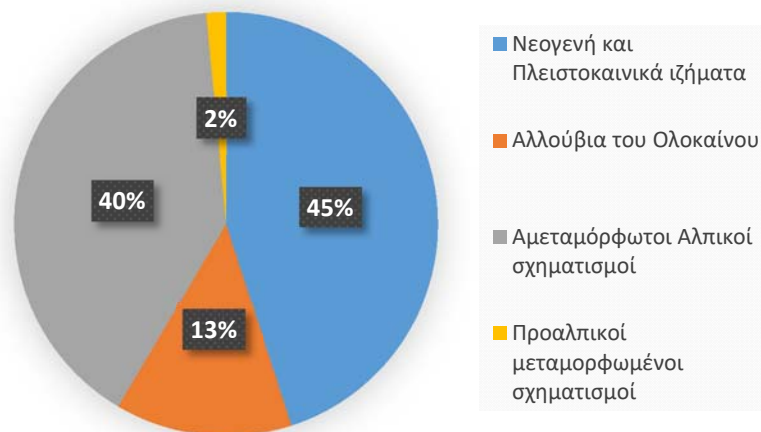


**Σχήμα 5:** Μετρήσεις συγκεντρώσεων χρωμίου στα εδάφη της Ελλάδας (Χίου, 2014: σελ. 2)

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

### 2.1. Γεωλογία

Η λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού εντάσσεται γεωτεκτονικά στην ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας με το παλαιοτεκτονισμένο κατώτερο τμήμα της Υποπελαγωνικής, όπου σε γενικές γραμμές συναντώνται μη μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούν το υπόβαθρο και τα περιθώρια ενός τεκτονικού βυθίσματος (Λεκάνη Ωρωπού) και μεταλλικές αποθέσεις, οι οποίες το πληρώνουν. Ποσοστιαία, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6**, το 45% της λεκάνης αποτελείται από Νεογενή και Πλειστοκαινικά ιζήματα και το 13,5% από αλλουβιακούς σχηματισμούς του Ολοκαίνου. Συνολικά, οι μεταλλικοί σχηματισμοί κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής (58,5%) ενώ οι αμεταμόρφωτοι αλπικοί σχηματισμοί το 40%. Το υπόλοιπο 1,5% αποτελείται από προαλπικούς μεταμορφωμένους σχηματισμούς του Περμοτριάδικου κυρίως στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης (Μπέλλου, 2010).



**Σχήμα 6:** Ποσοστιαία κατανομή γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη απορροής του Ασωπού.

Στο **Σχήμα 7** παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. Αναλυτικότερα, η στρωματογραφική κολώνα της περιοχής περιλαμβάνει τους εξής γεωλογικούς σχηματισμούς από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

- Κλαστικοί σχηματισμοί (αργιλικόι σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, φυλλίτες, χαλαζιακά κροκαλοπαγή), που λιθοσικά ομοιάζουν με φλύσχη, και εντός αυτών περιέχονται ολισθόλιθοι ασβεστολίθων, Παλαιοζωϊκής ηλικίας. Ηλικία σχηματισμού: Περμοτριάδικό.

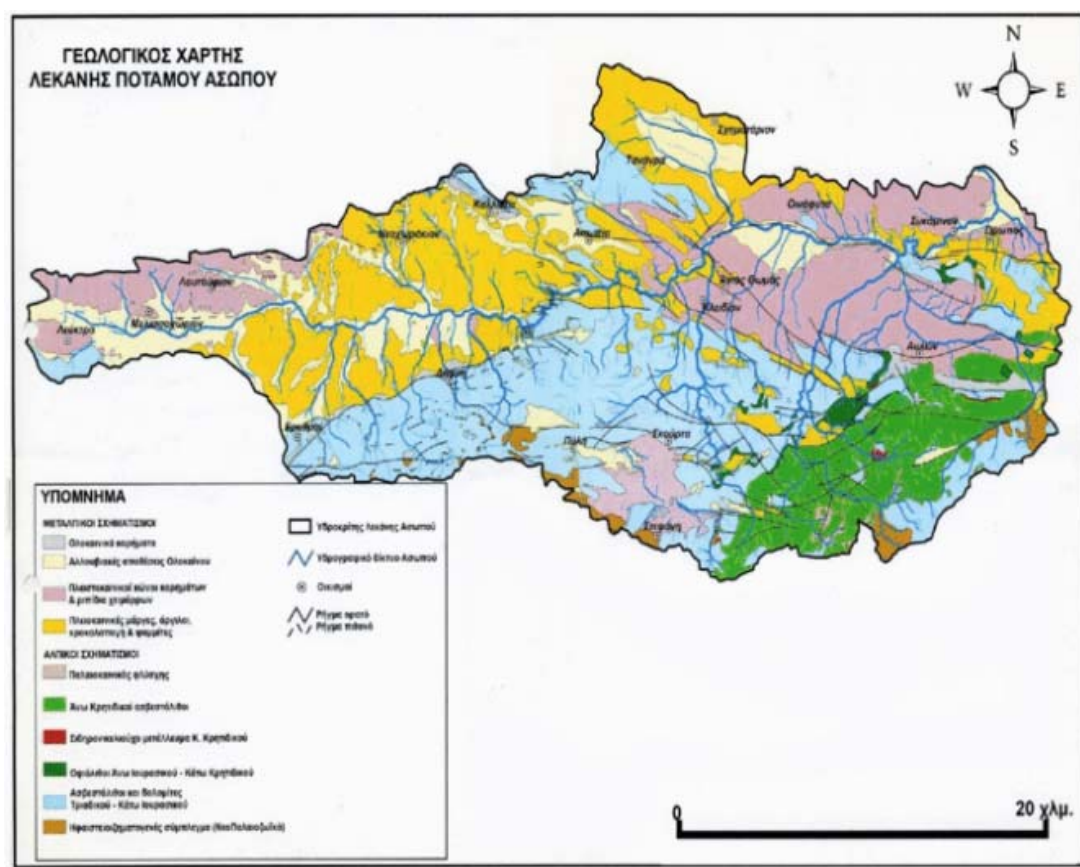
- Κονδυλώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι φάσης Ammonitico rosso, που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα και περιέχουν ενστρώσεις ηφαιστειακών σχηματισμών όπως βασάλτες, σπιλίτες, τοφφίτες. Ηλικία: Μέσο Τριαδικό.
- Ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστολίθων με απολιθώματα όπως Megalodon, Gyroporella, Diplorora. Ηλικία: Άνω Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό.
- Ανοιχτόχρωμοι Ασβεστόλιθοι, μέσο - παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις δολομιτικοί με Cladocoropsis. Ηλικία: Κιμμερίδιο – Τιθώνιο (Άνω Ιουρασικό).
- Κερατόλιθοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι και ψαμμίτες με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις (σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση), Άνω Ιουρασικής – Κάτω Κρητιδικής ηλικίας.
- Κάλυμμα οφιολίθων<sup>6</sup>, επωθημένο πάνω στην παλαιοτεκτονισμένη νηριτική πλατφόρμα, αποτελείται εξολοκλήρου από υπερβασικά πετρώματα όπως σερπεντινωμένους περιδοτίτες οι οποίοι κατά θέσεις εγκλείουν κοιτάσματα λευκόλιθου.
- Κροκαλοπαγή και ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι του Κενομανίου (Ανωκρητιδική επίκλυση).
- Κονδυλώδεις και Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που στα ανώτερα στρώματα γίνονται παχυστρωματώδεις, τεφροί και καρστικοποιημένοι με ρουδιστές. Ηλικία: Άνω Κρητιδικό (Κενομάνιο – Τουρώνιο)
- Εναλλαγές ψαμμιτών - πηλιτών και κλαστικοί ασβεστολίθοι με Globotrucana στη βάση (τουρβιδιτικοί σχηματισμοί φλυσχοειδούς χαρακτήρα). Αποτελούν μεταβατικούς σχηματισμούς προς τον φλύσχη. Ηλικία: Άνω Κρητιδικό (Καμπάνιο – Μαιστριχτίο).
- Φλύσχης (εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, με ενστρώσεις λεπτοστρωματώδων και τεφρών ασβεστολίθων). Ηλικία: Παλαιόκαινο (Δάνιο) – Ηώκαινο.
- Νεογενή – Τεταρτογενή ιζήματα: αλλουβιακές αποθέσεις και παράκτιοι σχηματισμοί του Ολοκαίνου, καστανόχρωμοι άμμοι και πηλοί και μη συνεκτικά κροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου πάχους 120 - 150 m, τοποθετημένοι ασύμφωνα πάνω στις υποκείμενες

---

<sup>6</sup> Οι οφιολίθοι της λεκάνης του Ασωπού ανήκουν στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Υποπελαγονικής ενότητας (εξωτερικό οφιολιθικό σύμπλεγμα Ελληνίδων) και αποτελούν υπολείμματα ωκεάνιου φλοιού, ο οποίος αφού υποβυθίστηκε, λόγω του κλεισίματος του ωκεανού της Τηθύος, βγήκε μετά από εκατομμύρια χρόνια στην επιφάνεια.



Άνω-Μειοκαινικές αποθέσεις, νεογενή (Άνω – Μειοκαινικά) ιζήματα που διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, από την Αυλίδα μέχρι τον Ωρωπό εντοπίζονται ποταμοχερσαίες αποθέσεις μεγάλου πάχους (>300 m), στις περιοχές Σχηματάρι - Οινόφυτα παρατηρούνται σε γενικές γραμμές λιθολογίες όπως μάργες, άργιλοι, πηλοί, κροκάλες και άμμοι σημαντικού πάχους (500-600m), στην περιοχή Συκάμινο συναντώνται μάργες όπου στα ανώτερα στρώματα μεταβαίνουν σε μαργαϊκούς ασβεστολίθους σε εναλλαγές με τραβερτίνες, ενώ τέλος στις περιοχές Θήβας – Τανάγρας - Ασωπίας εντοπίζονται μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, άμμοι και κροκάλες λιμναίας κυρίως φάσης, συνολικού πάχους περίπου 200-250m. (Γιαννουλόπουλος 2008, Παπανικολάου 2015)



**Σχήμα 7:** Γεωλογικός χάρτης λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού με τις κύριες λιθολογίες. (ΥΠΕΝ, 2010: σελ. 22)

## 2.2.Υδρογεωλογία

Σημαντική είναι η εκπόνηση μιας υδρογεωλογικής μελέτης στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Ασωπού ώστε να γίνει καθορισμός της φύσης των υδροφόρων σχηματισμών και

ποια είναι η συμπεριφορά τους απέναντι στις διάφορες τοξικές ουσίες που είναι δυνατόν να τους ρυπάνουν.

Η περατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα<sup>7</sup> εκφράζει την ικανότητα που έχει ένας γεωλογικός σχηματισμός να επιτρέπει τη διείσδυση και την κυκλοφορία του νερού μέσα στη μάζα του. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού διακρίνονται σε γενικές γραμμές σε υδροπερατούς (μικροπερατούς και μακροπερατούς) και υδατοστεγείς ή αδιαπέρατους σχηματισμούς. Μικροπερατοί ονομάζονται οι σχηματισμοί που μπορεί να είναι συμπαγείς ή χαλαροί αλλά η σύνδεση και η συγκόλληση των κόκκων έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει πρωτογενές πορώδες (κενά μεταξύ των κόκκων) οπότε το νερό κυκλοφορεί εύκολα μέσα σε αυτούς. Μακροπερατοί ονομάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δεν έχουν πρωτογενές πορώδες (δεν έχουν δηλαδή πόρους), αλλά δευτερογενές (ρωγμές και έγκοιλα) οπότε η κίνηση του νερού γίνεται προς ορισμένες κατευθύνσεις και όχι σε όλη την έκταση του πετρώματος, με εξαίρεση αν το πέτρωμα είναι κατακερματισμένο οπότε και συμπεριφέρεται ως μικροπερατός σχηματισμός. Η παρουσία δευτερογενούς πορώδους σε ένα πέτρωμα είναι αποτέλεσμα τεκτονικών αιτιών, απότομης ψύξης σε περίπτωση ηφαιστειακών πετρωμάτων και διάλυσης από το νερό σε περίπτωση ανθρακικών σχηματισμών. Τέλος, αδιαπερατοί ή υδατοστεγείς ονομάζονται οι σχηματισμοί που δεν επιτρέπουν την διείσδυση και την κίνηση του νερού μέσα στη μάζα τους. (Λέκκας, Αλεξόπουλος, 2009)

Το ποσοστό των κενών των γεωλογικών σχηματισμών εκφράζεται από το πραγματικό πορώδες, που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών του σχηματισμού προς τον συνολικό όγκο του σχηματισμού (Vκενών/ Vολικό). Στους μικροπερατούς σχηματισμούς το πορώδες εξαρτάται από το σχήμα, τη διάταξη και το μέγεθος των κόκκων ενώ στους μακροπερατούς σχηματισμούς το πορώδες ρυθμίζεται από το άνοιγμα και την πυκνότητα των ρωγμών. Με το βάθος, το δευτερογενές πορώδες των ανθρακικών σχηματισμών αυξάνεται καθώς αυτοί διαλύονται στο νερό. Αντίθετα, σε πετρώματα που δεν διαλύονται στο νερό όπως είναι οι φλύσχης και τα αργιλικά πετρώματα, το δευτερογενές πορώδες μειώνεται με το βάθος. (Λέκκας, Αλεξόπουλος, 2009)

---

<sup>7</sup> Μονάδες μέτρησης υδραυλικής αγωγιμότητας : m/s (μονάδες ταχύτητας)

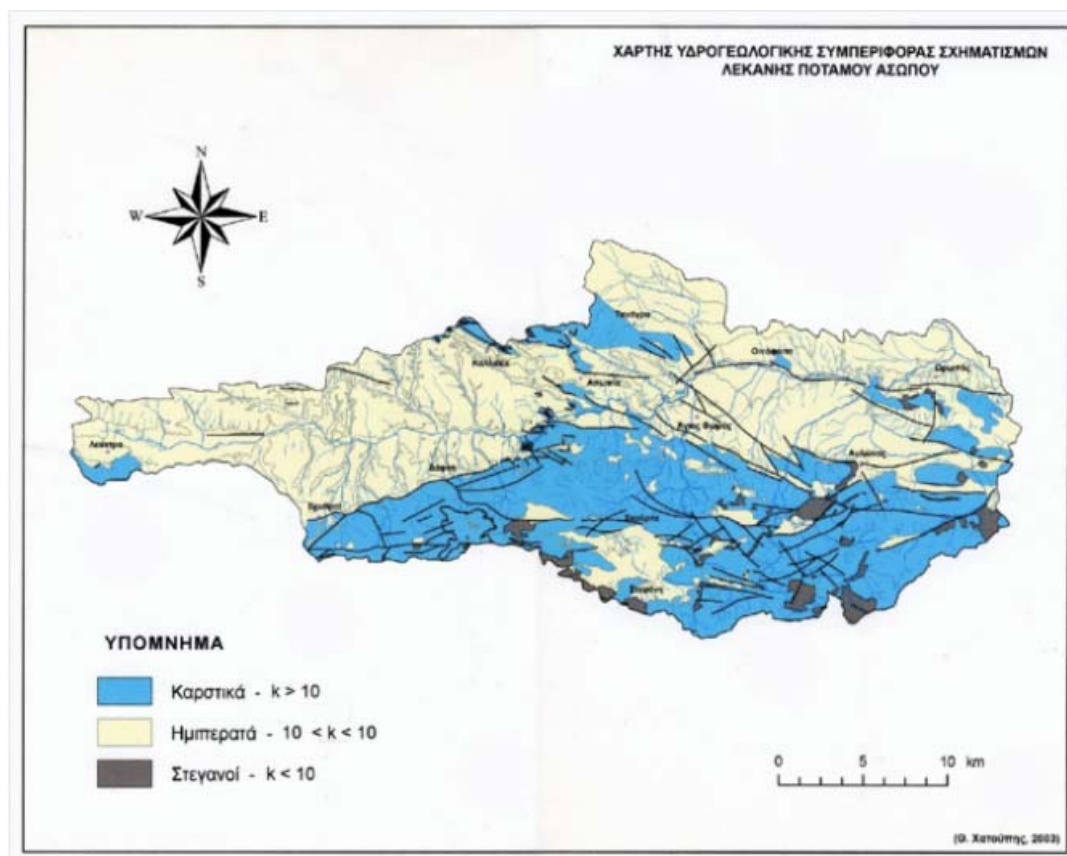
Πιο αναλυτικά, ξεκινώντας από τους παλαιότερους προς τους νεότερους γεωλογικούς σχηματισμούς, μπορούμε να τους κατατάξουμε ως εξής με βάση την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά:

- Οι κλαστικοί σχηματισμοί (αργιλικό σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, φυλλίτες, χαλαζιακά κροκαλοπαγή), που λιθοψικά ομοιάζουν με φλύσχη παρουσιάζουν ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών μέσα από τις οποίες κυκλοφορεί το νερό προς τα βαθύτερα στρώματα, τα κατερχόμενα όμως νερά διαλύουν το μητρικό πέτρωμα και τα προϊόντα της διάλυσης παρασύρονται από το κινούμενο νερό με αποτέλεσμα να αποτίθενται σε άλλες θέσεις που φράσουν τελικά τη δίοδό του. Κατά αυτό τον τρόπο, οι σχηματισμοί αυτοί γίνονται πρακτικά αδιαπέρατοι. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται επιφανειακά σε αντικλινική μορφή κατά μήκος της οροσειράς της Πάρνηθας, αποτελώντας και το νότιο υδραυλικό όριο της υδρογεωλογικής λεκάνης του Ασωπού ποταμού.
- Οι κονδυλώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι φάσης Ammonitico rosso, που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα και περιέχουν ενστρώσεις ηφαιστειακών σχηματισμών όπως βασάλτες, σπιλίτες, τοφφίτες αποτελούν σε γενικές γραμμές υδροπερατούς σχηματισμούς και μάλιστα μακροπερατούς καθώς οι ασβεστόλιθοι είναι πετρώματα που διαλύονται στο νερό οπότε δημιουργούνται ρωγμές και έγκοιλα (δευτερογενές πορώδες) και οι ηφαιστειακές ενστρώσεις παρουσιάζουν ρωγμές και διακλασεις που οφείλονται σε συνθήκες σταθεροποίησης τους και επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού σε βάθος. Παρόλα αυτά η μαργαϊκή φύση των εν λόγω ασβεστόλιθων τους καθιστά κατά θέσεις ημιπερατούς σχηματισμούς.
- Οι ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστολίθων με απολιθώματα Megalodon, Gyroporella, Diplorora και οι ανοιχτόχρωμοι ασβεστόλιθοι, μέσο - παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις δολομιτικοί με Cladocoropsis, αποτελούν έναν ενιαίο, από υδρογεωλογικής άποψης σχηματισμό, συνολικού πάχους ως και 1000 m. Ο σχηματισμός αυτός είναι υδροπερατός (μακροπερατός), εντός του οποίου αναπτύσσονται αξιόλογοι καρστικοί υδροφόροι ορίζοντες. Χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό δευτερογενούς πορώδους καθώς παρουσιάζει έντονο τεκτονισμό και υψηλό βαθμός καρστικοποίησης.
- Κερατόλιθοι, αργιλικό σχιστόλιθοι και ψαμμίτες με ασβεστολιθικές ενδιαστρώσεις (σχιστοψαμμιτοκερατολιθική διάπλαση). Οι λιθολογίες αυτές δημιουργούν έναν πρακτικά αδιαπέρατο σχηματισμό που κατά θέσεις όμως μπορεί να παρουσιάσει

τοπικής σημασίας υδροφορίες λόγω των ασβεστολιθικών ενστρώσεων, οι οποίες ενισχύονται κατά μήκος ρηξιγενών ζωνών και διαρρήξεων.

- Το κάλυμμα των οφιολίθων που αποτελείται εξολοκλήρου από υπερβασικά πετρώματα όπως σερπεντινωμένους περιδοτίτες, οι οποίοι κατά θέσεις εγκλείουν κοιτάσματα λευκόλιθου, δεν έχουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον και χαρακτηρίζονται ως ημιπερατοί – αδιαπέρατοι σχηματισμοί αναλόγως του ποσοστού του δευτερογενούς πορώδους.
- Τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι του Κενομανίου είναι υδροπερατά πετρώματα με πρωτογενές αλλά και δευτερογενές πορώδες.
- Οι κονδυλώδεις και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που στα ανώτερα στρώματα γίνονται παχυστρωματώδεις, τεφροί και καρστικοποιημένοι με ρουδιστές δημιουργούν έναν υδρογεωλογικό σχηματισμό που κατά βάση είναι υδροπερατός με αξιόλογη συμμετοχή στους μηχανισμούς λειτουργίας και την κίνηση του υπόγειου νερού στο καρστικό σύστημα της Πάρνηθας
- Οι μεταβατικοί προς τον φλύσχη σχηματισμοί περιλαμβάνουν εναλλαγές ψαμμιτών - πηλιτών και κλαστικούς ασβεστολίθους με Globotrucana στη βάση (τουρβιδιτικοί σχηματισμοί φλυσχοειδούς χαρακτήρα). Στο σύνολό του ο σχηματισμός αυτός είναι υδροπερατός - ημιπερατός. Οι ψαμμίτες είναι μικροπερατά πετρώματα όπως και οι κλαστικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι μπορούν να χαρακτηριστούν και ως μακροπερατοί αναλόγως του δευτερογενούς τους πορώδους, ενώ οι πηλίτες είναι πετρώματα που περιέχουν λεπτή άμμο, λίγο αργιλική, οπότε συγκαταλέγονται στους μικροπερατούς σχηματισμούς αλλά με πολύ βραδεία κίνηση του νερού εντός αυτών.
- Φλύσχης (εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, με ενστρώσεις λεπτοστρωματώδων και τεφρών ασβεστολίθων). Σε γενικές γραμμές αποτελεί έναν αδιαπέρατο σχηματισμό.
- Τα νεογενή – τεταρτογενή ιζήματα διαφοροποιούνται αρκετά ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά από περιοχή σε περιοχή. Οι αλλουβιακές αποθέσεις και οι παράκτιοι σχηματισμοί του Ολοκαίνου αποτελούν γενικά υδροπερατούς σχηματισμούς. Οι καστανόχρωμοι άμμοι και πηλοί και τα μη συνεκτικά κροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου χαρακτηρίζονται ως υδροπερατοί – ημιπερατοί σχηματισμοί, με την περατότητά τους να ποικίλει αναλόγως της λιθολογικής σύστασης και του ποσοστού ανάμειξης των λεπτομερέστερων φάσεων. Οι ποταμοχερσαίες αποθέσεις του Νεογενούς στην περιοχή Δήλεσι –Αυλίδας είναι υδροπερατοί - αδιαπέρατοι

σχηματισμοί καθώς συνίσταται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες που είναι μικροπερατές λιθολογίες και καστανέρυθρους πηλούς και αργίλους που είναι πρακτικά αδιαπέρατοι. Στην περιοχή Σχηματαρίου – Οινοφύτων εντοπίζονται τόσο υδροπερατές όσο και αδιαπέρατες λιθολογίες (μάργες, άργιλοι, πηλοί, κροκάλες και άμμοι σημαντικού πάχους), ενώ αναπτύσσονται και εκμεταλλεύσιμες υδροφορίες σε βάθη συνήθως μεγαλύτερα από 100 - 150m. Στην περιοχή Συκάμινο, οι μάργες, που αποτελούν αδιαπέρατα πετρώματα, στα ανώτερα στρώματα μεταβαίνουν σε μαργαϊκούς ασβεστολίθους σε εναλλαγές με τραβερτίνες, όπου και παρουσιάζουν αξιόλογη υδροπερατότητα. Σε γενικές γραμμές οι Νεογενείς αποθέσεις αποτελούν ημιπερατούς σχηματισμούς. (Γιαννουλόπουλος 2008, Λέκκας Αλεξόπουλος 2009)



**Σχήμα 8:** Υδρογεωλογικός χάρτης λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού όπου παρουσιάζονται οι περατές, ημιπερατές και αδιαπέρατες λιθολογίες. (ΥΠΕΝ, 2010: σελ. 20)

### 2.2.1. Υδροφόροι ορίζοντες – Κατεύθυνση υπόγειου νερού

Οι υδροφόροι ορίζοντες<sup>8</sup> γενικά διακρίνονται σε ελεύθερους, περιορισμένους και υδροφόρους ορίζοντες με διαρροές. Οι ελεύθεροι υδροφόροι διαθέτουν ελεύθερη στάθμη, με μηδενική υδραυλική πίεση, ενώ οι υπό πίεση ή περιορισμένοι αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς ανάμεσα σε δύο αδιαπέρατους, με την πίεση του νερού να είναι μεγαλύτερη από την πίεση της ατμόσφαιρας.

Στην περίπτωση της λεκάνης του Ασωπού διακρίνουμε σε γενικές γραμμές δύο υδροφόρους ορίζοντες. Έναν ανώτερο προσχωματικό – κοκκώδης υδροφόρο ορίζοντα (ελεύθερος) εντός των Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων (αλλουβιακές αποθέσεις και προσχώσεις Ολοκαίνου, ψαμμιτοκροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου και Μειοκαίνου) και ένα βαθύτερο Καρστικό υδροφόρο ορίζοντα (περιορισμένος) εντός των ασβεστολιθικών σχηματισμών του Τριαδικού – Ιουρασικού, πάχους ως και 1000m. Οι δύο υδροφόροι ορίζοντες χωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα αργίλου χαμηλής υδραυλικής αγωγιμότητας, με τον μεν προσχωματικό/ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα να εκτείνεται από την επιφάνεια ως και 200 m υπό του εδάφους. (Γιαννουλόπουλος 2008, Λέκκας Αλεξόπουλος 2009)

#### Ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας:

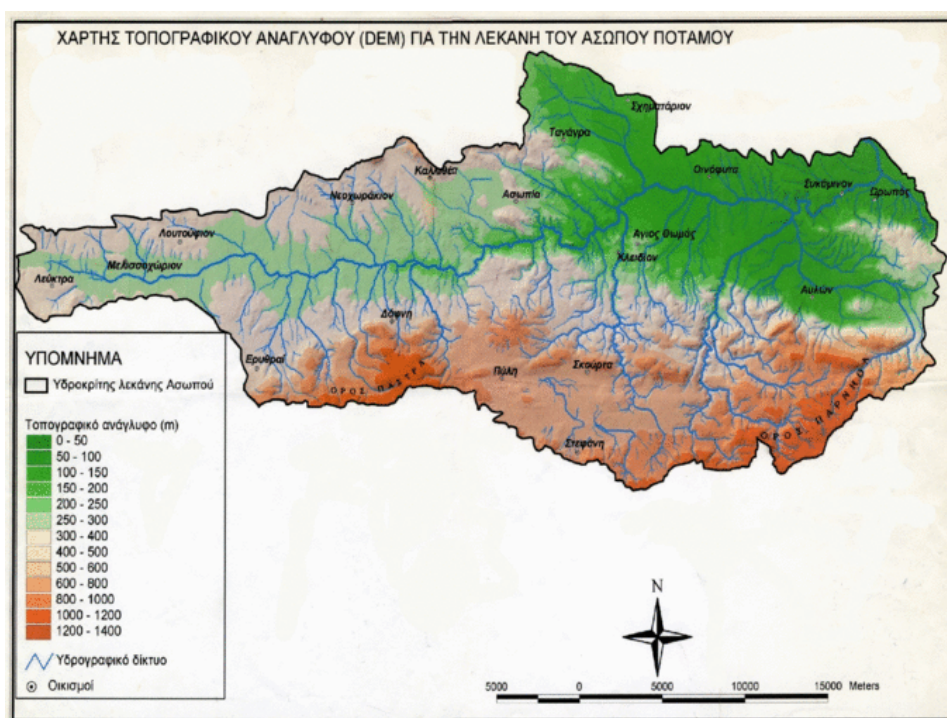
Ο ανώτερος υδροφόρος τροφοδοτείται με νερό της βροχής και τα ύδατα του Ασωπού ποταμού ακολουθώντας ΝΑ - Β ροή υδάτων και έχει ετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα 32 εκ. m<sup>3</sup>. Λόγω της αργιλικής φύσης του στρώματος, η διήθηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εκτιμάται ότι είναι μόλις 5,5% και θεωρώντας ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα που παρατέθηκαν στην εισαγωγή, είναι 480 mm, η διήθηση υπολογίζεται ότι είναι 0,026m/yr. Αναφορικά με την κίνηση του υπόγειου νερού στον ελεύθερο υδροφορέα, αυτή δικαιολογείται από την γεωμορφολογία της περιοχής και το υδραυλικό φορτίο<sup>9</sup> (Μπέλλου, 2010). Από τον χάρτη τοπογραφικού ανάγλυφου της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού (**Σχήμα 9**), γίνεται αντιληπτό ότι στο Νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής υπάρχει λοφώδης μορφολογία, με υψόμετρο 800-1000 m, ενώ στο Βόρειο τμήμα

<sup>8</sup>Υδροφόρος ορίζοντας είναι κάθε γεωλογικός σχηματισμός που περιέχει μέσα στους πόρους του ή στα κενά του νερό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή υδατικών πόρων κάτω από γενικά αποδεκτούς οικονομικούς όρους (Λέκκας, Αλεξόπουλος, 2009).

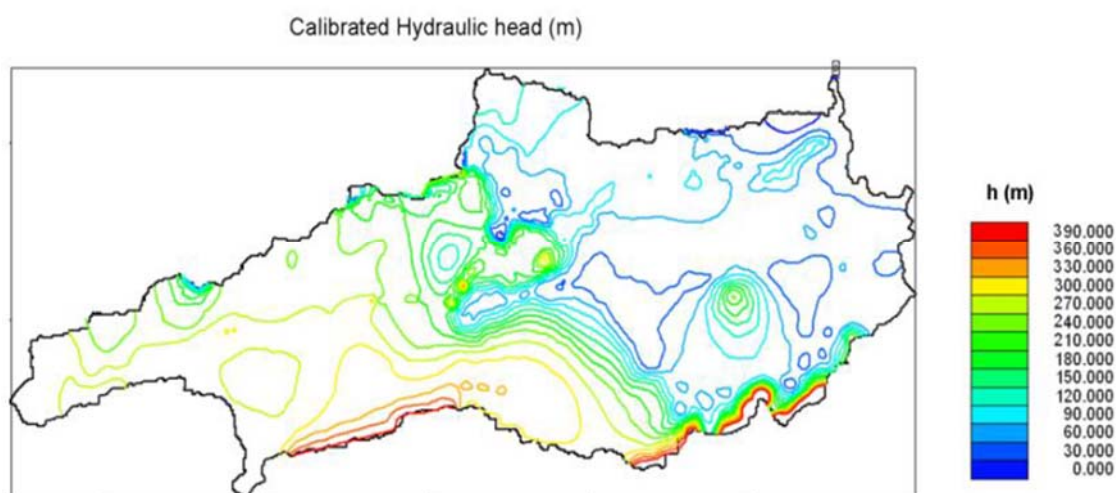
<sup>9</sup> Ως υδραυλικό φορτίο (h) ορίζεται η συνολική ενέργεια ανά μονάδα βάρους (ή όγκου) του νερού που είναι το άθροισμα της κινητικής, της δυναμικής και της ενέργειας λόγω πίεσης (υδροστατική). Μονάδα μέτρησης του υδραυλικού φορτίου είναι τα m (μονάδες μήκους/ ύψους). Το υδραυλικό φορτίο, και συγκεκριμένα η διαφορά του από θέση σε θέση σε έναν υδροφόρο ορίζοντα είναι το αίτιο που προκαλεί την ροή (κίνηση) του υπόγειου νερού (Λέκκας, Αλεξόπουλος, 2009).



της λεκάνης η μορφολογία είναι ηπία (<150 m) πλησιάζοντας προς την ακτογραμμή του Ευβοϊκού κόλπου. Αντίστοιχα από τον χάρτη υδραυλικών φορτίων (Σχήμα 10) είναι εμφανές ότι οι μέγιστες τιμές αυτής της μεταβλητής εντοπίζονται στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης απορροής (390 m) και οι ελάχιστες στο Βόρειο (<90 m), επομένως η κίνηση του υπόγειου νερού συμβαίνει από περιοχές υψηλού προς περιοχές χαμηλού υδραυλικού φορτίου.



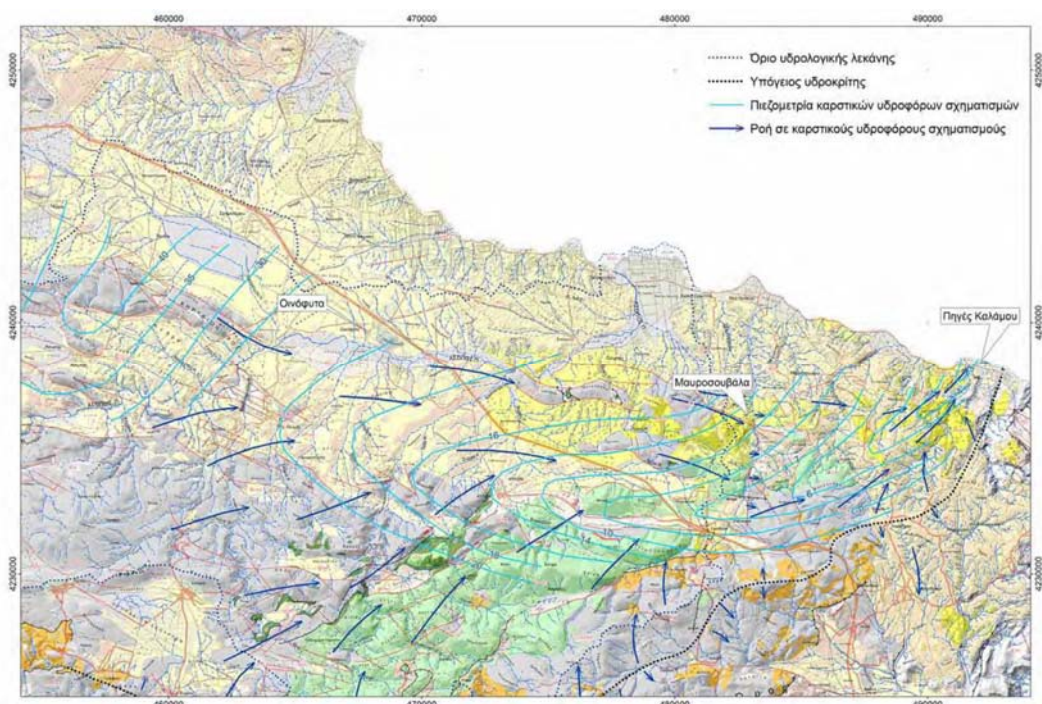
Σχήμα 9: Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Λεκάνης απορροής Ασωπού ποταμού (ΥΠΠΕΝ, 2010: σελ. 6)



Σχήμα 10: Χάρτης υδραυλικού φορτίου υπόγειων υδροφορέων στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού. (Dokou et.al., 2015)

Κατώτερος υδροφόρος ορίζοντας:

Όσον αφορά τον υποκείμενο υδροφορέα αυτός τροφοδοτείται από κατακόρυφες διηθήσεις σε περιοχές όπου παρουσιάζει επιφανειακή ανάπτυξη, ενώ δεν τροφοδοτείται σημαντικά από κατακόρυφες διηθήσεις νερών του ανώτερου, λόγω της ύπαρξης αδιαπέρατου αργιλικού στρώματος ανάμεσά τους, παρά μόνο στην περιοχή Δυτικά των Οινόφυτων. Τα ύδατα που καταλήγουν από τον κοκκώδη στον Καρστικό υδροφόρο ακολουθούν την ροή των υπόγειων υδάτων ΒΑ προς την περιοχή της Μαυροσουβάλας και εκβάλλουν ανατολικά στις υφάλμυρες πηγές στην περιοχή του Καλάμου. Τα ετήσια ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα εκτιμώνται στα 111 εκ. m<sup>3</sup>. Η κατεύθυνση ροής του υπόγειου νερού είναι ΝΔ – ΒΑ και ΝΑ- ΒΑ όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα (**Σχήμα 11**). Αναφορικά με το υδραυλικό φορτίο του κατώτερου υδροφορέα αυτό είναι μεγαλύτερο από του ελεύθερου υδροφορέα λόγω της μεγαλύτερης πίεσης που υφίσταται το αποθηκευμένο νερό εντός αυτού (περιορισμένος υδροφόρος ορίζοντας). (Μπέλλου, 2010)



**Σχήμα 11:** Ροή υπόγειου νερού Καρστικών υδροφόρων σχηματισμών (ΤΕΕ,2009)

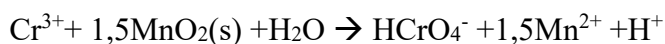


## 3.ΧΡΩΜΙΟ

### 3.1.Οξείδωση – Αναγωγή χρωμίου

Το χρώμιο βρίσκεται σε αφθονία στη φύση σε δύο μορφές κατά κύριο λόγο, στην τρισθενή και στην εξασθενή. Το εξασθενές χρώμιο αποτελεί έναν ανόργανο ρύπο, του οποίου η συμπεριφορά ποικίλλει όταν αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού (Καββαδάς, 2013).

Η οξείδωση του τρισθενούς χρωμίου - Cr(III) σε εξασθενές χρώμιο - Cr(VI) είναι μια αργή διαδικασία, ενώ η αναγωγή του εξασθενούς σε τρισθενές είναι ταχύτατη, από μερικά δευτερόλεπτα ως λίγες ώρες. Η μετατροπή τρισθενούς σε εξασθενές χρώμιο, σε γενικές γραμμές, είναι δυνατή σε αλκαλικές και οξειδωτικές συνθήκες (pH > 6 & Eh > 0). Στα φυσικά συστήματα υπάρχουν λίγοι οξειδωτικοί παράγοντες που είναι ικανοί να προκαλέσουν την οξείδωση του Cr(III) σε Cr(VI), όπως το οξυγόνο που προέρχεται από το διοξείδιο του μαγγανίου (MnO<sub>2</sub>) και το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), με το πρώτο να θεωρείται το πιο σημαντικό οξειδωτικό μέσο του Cr(III) στα υπόγεια ύδατα και κυρίως σε υδροφόρους με pH = 6,5-8,5. Να σημειωθεί ότι η μεγάλη ειδική επιφάνεια MnO<sub>2</sub> πετρώματος συνεπάγεται μεγάλη προσροφητική ικανότητα εξασθενούς χρωμίου. Η οξείδωση Cr(III) σε Cr(VI) γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:

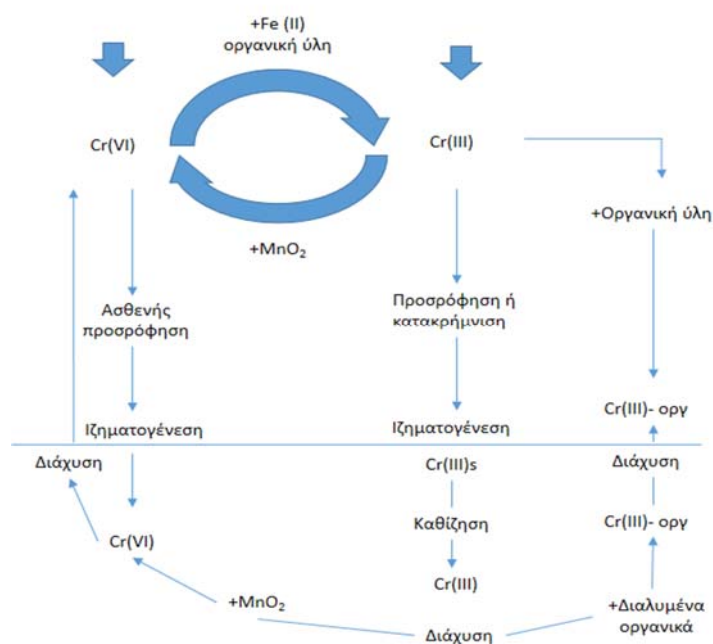


Όσον αφορά τη λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού, τα οξείδια του μαγγανίου (με πιο γνωστό τον πυρολουσίτη και τον μπιρνεσίτη<sup>10</sup>) μπορούν να βρίσκονται ως ορυκτολογικά συστατικά, ως ενστρώσεις ή αποθέσεις σε ρωγμές εντός ασβεστολιθικών σχηματισμών και σε μεταμορφωμένα πετρώματα, σε μικρό όμως ποσοστό και σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα στους οφιολίθους και στα βασικά πυριγενή πετρώματα (πχ. Βασάλτης) των μαργαϊκών ασβεστολίθων, φάσης Ammonitico rosso, της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας. Η οξείδωση του Cr (III) σε Cr(VI) εκτός από την παρουσία οξειδίων του Mn ευνοείται και από τον έντονο τεκτονισμό των υπερβασικών πετρωμάτων, που διευκολύνει την αλληλεπίδραση με το νερό οπότε δημιουργούνται ευνοϊκές φυσικοχημικές συνθήκες για την οξείδωση του τρισθενούς χρωμίου.

<sup>10</sup> Μπιρνεσίτης = ορυκτό πλούσιο σε Mn<sup>3+</sup> και Mn<sup>4+</sup> που συνυπάρχει με υπερβασικά πετρώματα και οδηγεί σε φυσική αύξηση του εξασθενούς χρωμίου.

Η αναγωγή του εξασθενούς - Cr(VI) σε τρισθενές - Cr(III) χρώμιο συμβαίνει ταχέως με την παρουσία αναγωγικών μέσων. Οι κύριοι αναγωγικοί παράγοντες είναι το οργανικό υλικό και ιόντα του σιδήρου (δισθενής σίδηρος –Fe(II)), τα οποία υπάρχουν σε όλα τα εδάφη και τα υπόγεια ύδατα, με αποτέλεσμα η αναγωγή του Cr(VI) σε Cr(III) να συμβαίνει ευρέως σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα. Η μετατροπή εξασθενούς σε τρισθενές χρώμιο ελέγχεται από διαλυμένο δισθενή σίδηρο ή ορυκτά που περιέχουν δισθενή σίδηρο σε συνθήκες ουδέτερες ως αλκαλικές (pH>6), ενώ σε όξινες συνθήκες (pH<6), άλλα αναγωγικά μέσα, όπως η οργανική ύλη μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά. Τα ιόντα δισθενούς σιδήρου προκύπτουν με φυσικό τρόπο, από την αποσάθρωση ορυκτών δισθενούς σιδήρου όπως ο Ολιβίνης - (Mg,Fe<sup>+2</sup>)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, ο Χρωμίτης - (Mg, Fe<sup>2+</sup>)(Cr, Fe<sup>3+</sup>, Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, οι Πυρόξενοι (αυγίτης, εδενβεργίτης), οξειδία του σιδήρου όπως ο αιματίτης, ιλμενίτης, μαγνητίτης και σουλφίδια όπως ο σιδηροπυρίτης, κ.α. και με ανθρωπογενή τρόπο από τις αποθέσεις βιομηχανικών αποβλήτων. Στην περιοχή του Ασωπού ποταμού, υπάρχουν λιθολογίες, όπως οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες του οφιολιθικού καλύμματος της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας, στις οποίες εντοπίζονται ορυκτά του δισθενούς σιδήρου. (Vasilatos et al. 2008, Kazakis, et al. 2015, Κουτούπη 2016, Οικονόμου 2008, Τσάκου 2011)

Στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 12**) απεικονίζεται ο κύκλος του χρωμίου στο υδατικό περιβάλλον, όπου περιγράφονται διαγραμματικά υπό ποιες συνθήκες γίνεται οξείδωση και αναγωγή του χρωμίου.



**Σχήμα 12:** Κύκλος χρωμίου στο υδατικό περιβάλλον (Richard & Bourg, 1991)

### 3.2.Τοξικότητα εξασθενούς χρωμίου

Σε αντίθεση με το τρισθενές χρώμιο, το οποίο θεωρείται ζωτικό για τους οργανισμούς καθώς θεωρείται βασικό ιχνοστοιχείο της ανθρώπινης διατροφής που ενεργοποιεί την ινσουλίνη, ενώ υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα στα φυτά και στο έδαφος, το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικό και αποδεδειγμένα καρκινογόνο. Το εξασθενές χρώμιο είναι ιδιαίτερα ευδιάλυτο στο νερό, είναι 100 ως 1000 φορές πιο τοξικό από το τρισθενές, και μπορεί να εισέλθει στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής, της κατάποσης και της δερματικής επαφής δημιουργώντας πληθώρα προβλημάτων υγείας, από κνησμό, ερεθισμό, νεφροπάθειες, ακόμα και θάνατο. Επιπλέον, πειραματικά δεδομένα έχουν αποδείξει ότι το εξασθενές χρώμιο μπορεί να καταστρέψει το γενετικό υλικό και να προκαλέσει μεταλλάξεις. Είναι λοιπόν σαφές ότι η βέλτιστη πρόσληψη εξασθενούς χρωμίου δεν υφίσταται καθώς είναι πάρα πολύ επικίνδυνο, σε αντίθεση με το τρισθενές χρώμιο το οποίο θα πρέπει να προσλαμβάνει ένας ανθρώπινος οργανισμός σε ημερήσιες ποσότητες 20-45 mg. (Vasilatos, et al. 2008, Κουτούπη 2016, ΤΕΕ 2009)

## 4.ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

### 4.1.Ιστορικό

Το ιστορικό ρύπανσης της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού ξεκίνησε το 1969 με την έκδοση προεδρικού διατάγματος σύμφωνα με το οποίο επετράπη η εγκατάσταση βιομηχανιών στην ευρύτερη περιοχή των Οινοφύτων, χωρίς όρους αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας τους. Το 1979, η διανομαρχιακή απόφαση υπ' αριθμ. 19640/14-11-79, κατ' εφαρμογή της Ε1β/221/65 Υγ. Διάταξης επέτρεψε τη ρίψη αποβλήτων στον ποταμό Ασωπό προϋποθέτοντας όμως ότι θα ελέγχονται για τις ποσότητες χρωμίου που περιέχουν. Έπειτα, μέχρι και το 1994, κανένας επίσημος φορέας ή αρχή δεν ασχολήθηκε με το πρόβλημα, ως ότου το ΥΠΕΧΩΔΕ (σημερινό ΥΠΕΝ) έδωσε εντολή για κάποιες πρώτες ενέργειες απορρύπανσης, οι οποίες όμως δεν ολοκληρώθηκαν ποτέ. Το 1996, το ΥΠΕΧΩΔΕ ανέθεσε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο την εκπόνηση ειδικής μελέτης για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή του Ασωπού ποταμού, ενώ το 2001 δημιουργήθηκε και ο Σύνδεσμος Διαχείρισης Αποβλήτων Ασωπού. Η ανίχνευση υψηλών συγκεντρώσεων χρωμίου στο πόσιμο νερό, έγινε για πρώτη φορά το Νοέμβριο του 2004, ενώ τις επόμενες χρονιές ακολούθησε καταγραφή ακόμα μεγαλύτερων συγκεντρώσεων. Το 2007, ο Δήμος Οινοφύτων πήρε την πρωτοβουλία για συστηματικές αναλύσεις και παρακολούθηση των ρυπασμένων υδάτων, ενώ το έτος 2007-2008 εκπονήθηκε η ολοκληρωμένη μελέτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) σχετικά με το πρόβλημα του Ασωπού από το εξασθενές χρώμιο, στην οποία παρουσιάστηκαν η κατάσταση ρύπανσης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών της λεκάνης απορροής του ποταμού. Το 2010, πάρθηκε η πρώτη στοχευμένη νομοθετική πρωτοβουλία για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του ποταμού, με υπογραφή κοινής υπουργικής απόφασης (ΚΥΑ 20488/10), όπου καθορίστηκαν αυστηρά ποιοτικά όρια εξασθενούς χρωμίου (11 mg/L) και εκπομπών βιομηχανικών υγρών αποβλήτων στην ευρύτερη περιοχή (30 mg/L) (Διάτσου 2018, ΤΕΕ 2009).

### 4.2.Νομοθεσία – Περιβαλλοντικά πρότυπα

Στην Ελλάδα, σχετικά με το εξασθενές χρώμιο έχουν θεσπιστεί διάφορες νομοθετικές διατάξεις και οδηγίες οι οποίες καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (**Πίνακας 2**).

**Πίνακας 2:** Νομοθετικές διατάξεις και οδηγίες αναφορικά με το εξασθενές χρώμιο και τον ποταμό Ασωπό.

Οδηγία/ Διάταξη	Ημερομηνία	Τροποποιήθηκε από	Τίτλος	Σχόλια
Οδηγία 98/83/ΕΚ	3/11/1998	Οδηγία 2015/1787	«Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης»	Στόχος της οδηγίας είναι η προστασία της δημόσιας υγείας των καταναλωτών της ΕΕ.
ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/11.7.2001)	11/7/2001	ΥΑ Γ1(δ)/ΓΠ οικ.67322 (ΦΕΚ Β' 3282/2017)	«Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ»	Θέσπιση ανώτατου επιτρεπτού ορίου ολικού χρωμίου για το πόσιμο νερό στην ΕΕ τα 50 µg/L, χωρίς ωστόσο να υπήρχε μέχρι πρότινος ανώτατο επιτρεπτό όριο για το εξασθενές χρώμιο.
ΚΥΑ 4859/726 (ΦΕΚ253/9.3.2001)	9/3/2001	Στις 22/12/2012 καταργήθηκε από την ΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103 (ΦΕΚ Β' 1909/2010) ως προς τις παραμέτρους που περιλαμβάνει το Παράρτημα Ι για τα πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος ουσιών προτεραιότητας και άλλων ρύπων.	«Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος»	Ρύθμιση εκπομπών ολικού χρωμίου από απόβλητα βιομηχανιών σε υδάτινους αποδέκτες, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται ανάλογα με τη φύση του αποδέκτη από 0,6 έως 3 µg/L ενώ οι εκπομπές των ρύπων των βιομηχανιών στην Ελλάδα μπορούν να καθοριστούν από τις Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, κατά περίπτωση, και κυμαίνονται για το εξασθενές χρώμιο από 0,3 έως 1 µg/L στα υγρά απόβλητα.
ΚΥΑ 20488/10 (ΦΕΚ 749/31.5.2010)	31/5/2010	ΥΑ οικ. 100079/2015, (ΦΕΚ 135/Β/22.1.2015)	«Καθορισμός ποιοτικών περιβαλλοντικών προτύπων στον ποταμό Ασωπό και οριακών τιμών εκπομπών υγρών	Ορισμός οριακής τιμής εκπομπής εξασθενούς χρωμίου τα 30 µg/L, ενώ για τον Ασωπό ποταμό, τους παραποτάμους και τα ρεύματα που βρίσκονται στην λεκάνη

			βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού.»	απορροής, η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου ορίζεται στα 11μg/L.
--	--	--	---	--

#### 4.3.Βιομηχανική δραστηριότητα

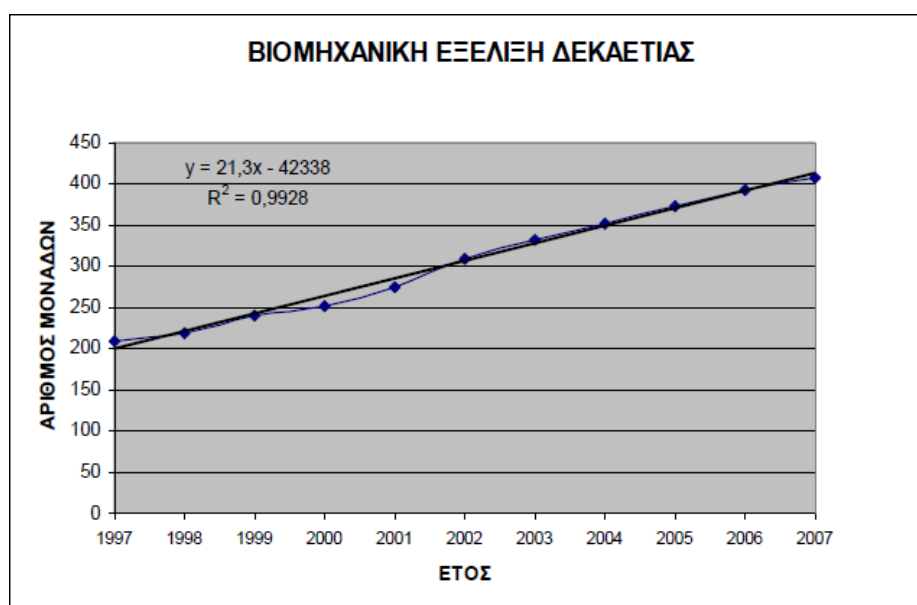
Η γεωγραφική περιοχή που εκτείνεται ΒΑ της κοίτης του ποταμού Ασωπού χαρακτηρίζεται από έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, ήδη από τα τέλη του 1960 και αυξάνεται συνεχώς τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Συγκεκριμένα, το 1997 καταγράφηκαν επίσημα, από μελέτη που εκπόνησε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 281 βιομηχανίες εκ των οποίων οι 208 είχαν καθαρά βιομηχανική – βιοτεχνική δραστηριότητα. Εν έτη 2007, ο αριθμός των βιομηχανικών μονάδων, όπως προέκυψε από το Μητρώο Αδειών της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας Οινοφύτων, ανήλθε στις 407 (Μασούρα, 2008). Τα πλέον πιο πρόσφατα δεδομένα δείχνουν ότι στην ευρύτερη περιοχή Οινοφύτων – Σχηματαρίου δραστηριοποιούνται πάνω από 700 βιομηχανίες και βιοτεχνικές μονάδες διαφόρων κλάδων, όπως επεξεργασίας μετάλλων, χημικών προϊόντων, χυτήρια, παραγωγής προϊόντων αλουμινίου, βαφεία – φινιριστήρια, κλωστοϋφαντουργίας και βυρσοδεψίας. Εξ αυτών, οι 151 χρησιμοποιούν κατά την παραγωγική τους διαδικασία χρώμο ή παράγουν χρωμιούχα απόβλητα και οι 385 είναι δυνητικά ρυπογόνες βιομηχανίες. (Καραγιώργη, 2013)

Στον **Πίνακα 3** που ακολουθεί και στο αντίστοιχο **Σχήμα 13** παρουσιάζεται η εξέλιξη των βιομηχανικών μονάδων την δεκαετία 1997-2007. (Δημαράς, Μαστρογιάννης, 2010).

**Πίνακας 3:** Αριθμός μονάδων ανά βιομηχανικό κλάδο την δεκαετία 1997-2007 (Δημαράς, Μαστρογιάννης, 2010)

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΛΑΔΟΣ	1997	2007
ΚΛΩΣΤΟΨΦΑΝΤΟΥΡΓΕΙΑ	17	22
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	51	164
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΤΙΚΩΝ	6	12
ΕΙΔΩΝ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ	21	73
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	10	20

ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΦΑΡΜΑΚΩΝ	3	8
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	4	13
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΒΕΡΝΙΚΙΩΝ	6	9
ΒΥΡΣΟΔΕΨΕΙΑ	1	1
ΆΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	89	85
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>208</b>	<b>407</b>



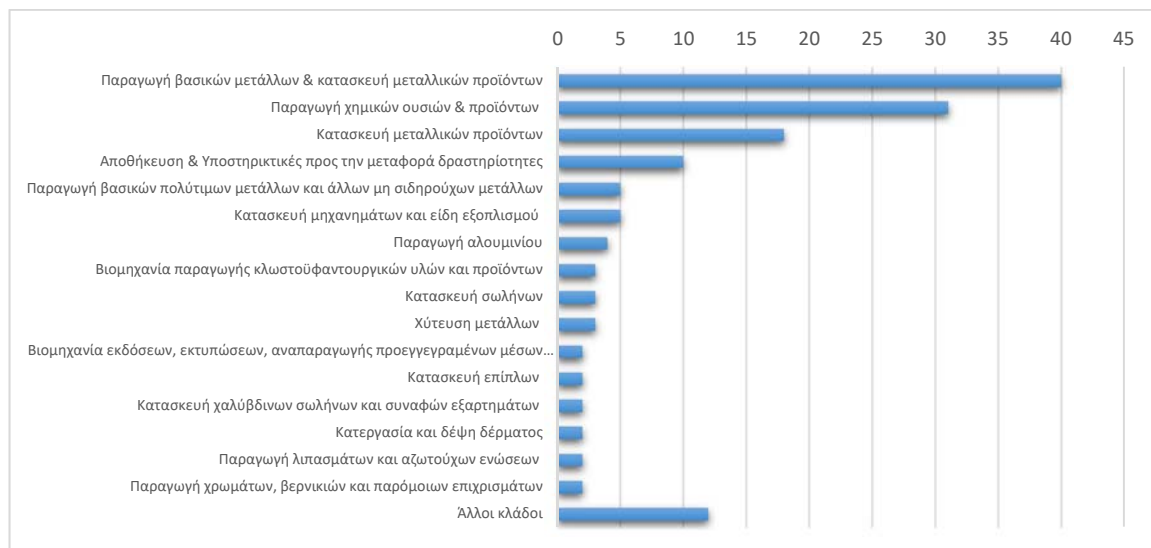
**Σχήμα 13:** Βιομηχανική εξέλιξη δεκαετίας 1997-2007 (Μασούρα, 2008)

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 3** ο αριθμός των βιομηχανικών μονάδων έχει αυξηθεί σε βάθος δεκαετίας σε ποσοστό 95,7%. Η αύξουσα πορεία των βιομηχανικών μονάδων χαρακτηρίζεται από μια γραμμική σχέση πρώτης τάξης όπως παρουσιάζεται στο

**Σχήμα 13.** Ο πολλαπλασιασμός των βιομηχανικών μονάδων έχει σαν αποτέλεσμα και τον αντίστοιχο πολλαπλασιασμό των παραγόμενων βιομηχανικών αποβλήτων.

Τα τελευταία χρόνια, σύμφωνα με την υπ' αριθμ. 3943/2015 απόφαση του Ε' Τμήμα του Συμβουλίου της Επικρατείας, η αύξηση των βιομηχανικών μονάδων στην περιοχή μελέτης είναι σημαντική, σε ποσοστό που φτάνει το 57% σε σχέση με το 1997. Στο παρακάτω ιστόγραμμα (**Σχήμα 14**) απεικονίζονται οι διάφοροι βιομηχανικοί κλάδοι και ο αριθμός των

μονάδων που είναι εγκατεστημένοι στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Ασωπού και είναι υπεύθυνες για τα χρωμιούχα απόβλητα που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες, σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα. (Τέττας, 2012)



**Σχήμα 14:** Αριθμός βιομηχανικών μονάδων, εγκατεστημένοι στην περιοχή μελέτης. (Τέττας, 2012)

Το εξασθενές χρώμιο, κατά το πλείστον, προκύπτει από την κατεργασία μεταλλικών επιφανειών, κυρίως αλουμινίου, κατά την παραγωγή κράματος σιδηροχρωμίου, κατά την ηλεκτρολυτική επίστρωση για επιχρίσματα επιφανειών και κατά την παραγωγή χρωστικών ουσιών. Τα βαφεία – φινιριστήρια δεν είναι υπεύθυνα για την απόρριψη τοξικών αποβλήτων χρωμίου καθώς οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται πλέον δεν περιέχουν εξασθενές χρώμιο.

Τα χρωμιούχα απόβλητα των βιομηχανιών της περιοχής καταλήγουν στο επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο, στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και με τη συνέργεια των μηχανισμών μεταφοράς μάζας, στην θαλάσσια περιοχή μεταξύ Αυλίδας και Ωρωπού, είτε με απευθείας απόρριψη στον ποταμό Ασωπό είτε με εναπόθεσή τους στο έδαφος, και είναι υπεύθυνα για την πλειοψηφία των συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου. Ακόμα, πιθανές πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης της περιοχής με εξασθενές χρώμιο, εκτός από τα απόβλητα των βιομηχανιών, αποτελούν οι 7 ενεργοί χώροι εξόρυξης μετάλλων, το εθνικό σιδηροδρομικό δίκτυο, λόγω της χρησιμοποίησης σκύρων που προέρχονται από τον σερπεντινωμένο περιδοτίτη και επιδεινώνει ακόμα περισσότερο την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, και τέλος οι 12 Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (ΧΑΔΑ) και οι 2 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2009, Οικονόμου 2008, ΤΕΕ 2009, Τέττας 2012)



#### 4.4.Πρωτογενής τομέας

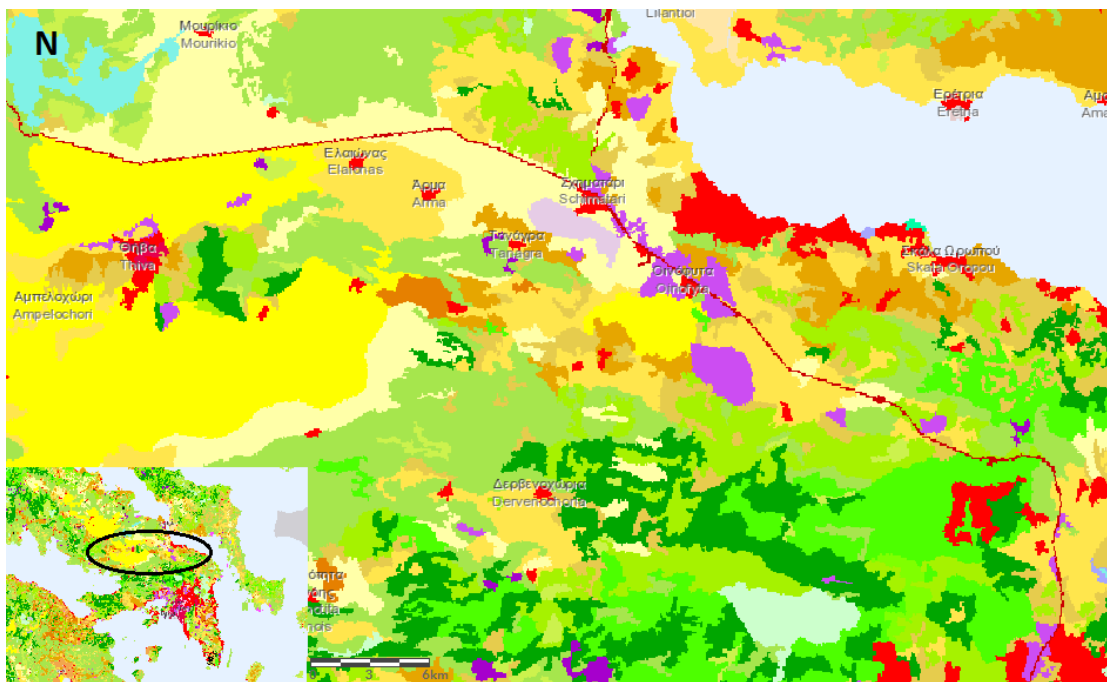
##### 4.4.1.Γεωργική Δραστηριότητα

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Ασωπού χαρακτηρίζεται από εδάφη κατάλληλα για γεωργικές δραστηριότητες και επομένως καλές προοπτικές εξέλιξης του πρωτογενούς τομέα, λόγω των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών (**βλ.1.2.Κλίματολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης**) που συντελούν στην μεγάλη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επιπλέον, τα εδάφη στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από υψηλή παραγωγικότητα, αφού είναι πλούσια σε ασβέστιο και άνθρακα. Σύμφωνα με τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (Ε.Σ.Υ) για τις χρήσεις Γης στην χώρα μας, στην περιοχή μελέτης καλλιεργούνται περίπου 351.400 στρέμματα γης<sup>11</sup> (Ε.Σ.Υ,2005). Την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι αρδευόμενες καλλιέργειες και οι καλλιέργειες λαχανικών, οι οποίες συναντώνται στα πεδινά των εκβολών του Ασωπού ποταμού, στην περιοχή της Μαλακάσας και νότια αυτής, καθώς και στις κοίτες του μιας και το έδαφος εκεί είναι κατάλληλο για γεωργικές εργασίες. Συγκεκριμένα, απαντώνται καλλιέργειες σκληρού σιταριού (43%), οπωροφόρα ή άλλα δενδρώδη (πχ. ελαιόδεντρα σε ποσοστό 15%), λαχανικά (6,6%), αμπελώνες (6,8%), βαμβάκι (6,7%), χαμηλές καλλιέργειες ή ακόμα και αραιά δάση πεύκων σε εδάφη Πλειστοκαινικών αποθέσεων. Σε εδάφη του Νεογενούς εντοπίζονται δενδρώδεις καλλιέργειες και δασικές εκτάσεις. Η υψηλή συγκέντρωση εξασθενούς χρωμίου μπορεί να αποδοθεί και σε γεωργικές δραστηριότητες λόγω της αυξημένης χρήσης αγροχημικών (χημικά λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα – παρασιτοκτόνα – φυτοφάρμακα), ιδίως φωσφορικών λιπασμάτων τα οποία περιέχουν χρώμιο. Ακόμα, η άρδευση καλλιεργειών με ήδη ρυπασμένο νερό είναι πιθανόν να προκαλέσει συσσώρευση Cr(VI) στο έδαφος καθώς επίσης και να διαλύσει το γηγενές τρισθενές χρώμιο που υπάρχει ήδη εκεί και το οποίο είναι ιδιαίτερα ζωτικό. (Δημαράς, Μαστρογιάννης 2010, Νίκα 2014, Τέττας 2012)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης κάλυψης/ χρήσεων Γης (Corine Land Cover) - **Σχήμα 15**.

---

<sup>11</sup> Σημειώνεται ότι το 45% της καλλιεργήσιμης έκτασης αποτελεί αρδευόμενη γη ενώ το 55% ξηρική ή μη αρδευόμενη.



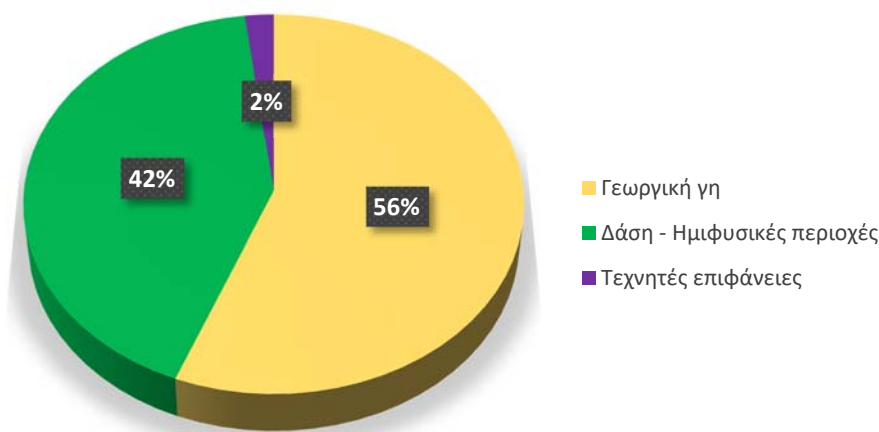
**Σχήμα 15:** Χάρτης χρήσεων γης. Προετοιμασία σε Arc GIS online map viewer (Copernicus Land Monitoring Service, 2012)

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 15**, η λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού καλύπτει ένα μεγάλο εύρος χρήσεων Γης όπως:

- Τεχνητές επιφάνειες: συνεχής αστικός ιστός (φούξια χρώμα), ασυνεχής αστικός ιστός (κόκκινο χρώμα), βιομηχανικές – εμπορικές ζώνες (μωβ χρώμα)
- Γεωργικές περιοχές: μη αρδευόμενη αρόσιμη γη (μπεζ χρώμα), μόνιμες καλλιέργειες όπως αμπελώνες (καφέ χρώμα), οπωροφόρα δέντρα (ανοιχτό καφέ χρώμα), και ετερογενείς γεωργικές περιοχές όπως σύνθετες καλλιεργούμενες γαίες με διάφορους τύπους καλλιεργειών (κίτρινο χρώμα)
- Δάση και ημι-φυσικές περιοχές: δάση κωνοφόρων (σκούρο πράσινο χρώμα), θαμνώδης και ποώδης βλάστηση (ανοιχτό πράσινο χρώμα), μικτά δάση (λαχανί χρώμα) και φυσικοί βοσκότοποι (γκρι χρώμα).

Στην πλειοψηφία της, όπως αναφέρθηκε, η λεκάνη αποτελείται από γεωργικές περιοχές και κυρίως ετερογενείς γεωργικές περιοχές (σύνθετες καλλιέργειες), οπωροφόρα δέντρα και μη αρδευόμενη αρόσιμη γη. Η χαμηλή βλάστηση (θαμνώδης και ποώδης) έχει επίσης σημαντική εμφάνιση στην λεκάνη απορροής, ενώ σε μικρό ποσοστό εμφανίζονται κωνοφόρα και μικτά δάση και φυσικοί βοσκότοποι. Ο αστικός ιστός και οι βιομηχανίες εντοπίζονται συγκεκριμένα σε μεγάλες οικιστικές περιοχές (Θήβα, Τανάγρα, Σχηματάρι, Οινόφυτα, Ωρωπός), με το

μεγαλύτερο μέρος των βιομηχανιών να βρίσκονται γύρω από τα Οινόφυτα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια η καλλιεργούμενη γεωργική γη έχει μειωθεί λόγω της οικοπεδοποίησης με σκοπό την χωροθέτηση βιομηχανικών εγκαταστάσεων (Νίκα, 2014). Ποσοστιαία, η κατανομή των κύριων χρήσεων Γης στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού παρουσιάζεται στο ακόλουθο **Σχήμα 16**. Συντηρητικά εκτιμάται ότι αν συνεχιστεί αυτή η κατάσταση, το ποσοστό των τεχνητών επιφανειών που σήμερα αγγίζει το 2%, θα αυξηθεί εις βάρος της γεωργικής γης, με επιπτώσεις σημαντικές, όπως θα αναλυθούν εκτενέστερα στο τελευταίο κεφάλαιο.



**Σχήμα 16:** Ποσοστιαία κατανομή χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού

#### 4.4.2.Κτηνοτροφία

Αναφορικά με την κτηνοτροφία στη λεκάνη απορροής του Βοιωτικού Ασωπού, αυτή εντοπίζεται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές όπως οι ορεινοί δασικοί βοσκότοποι και οι μη καλλιεργήσιμες πεδινές περιοχές. Οι κτηνοτροφικές μονάδες που απασχολούνται στην περιοχή είναι μικρής, μεσαίας και μεγάλης δυναμικότητας όπως προβατοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και πτηνοτροφεία. Τα χοιροστάσια, σε αντίθεση με τα βουστάσια και τα πτηνοτροφεία, δεδομένης της υγρής φύσης των αποβλήτων που παράγουν, κρίνονται άξια αναφοράς καθώς η απόρριψή τους, χωρίς να έχει προηγηθεί επεξεργασία τους, τροφοδοτεί με σημαντικό ρυπαντικό φορτίο τους υδατικούς και εδαφικούς αποδέκτες της περιοχής. Ωστόσο, και τα πτηνοτροφικά απόβλητα, αν και κατά κύριο λόγο είναι στερεά, χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών (αμμωνιακά -  $\text{NH}_4^+$ , φωσφορικά -  $\text{PO}_4^{3-}$  και κάλιο -  $\text{K}^+$ )

με αποτέλεσμα, εφόσον απορριφθούν στο φυσικό περιβάλλον, να υποβαθμίζουν την οικολογική και χημική κατάσταση της μελετώμενης περιοχής. (Νίκα, 2014)

#### 4.5. Πηγές ρύπανσης – Δειγματοληψία 2008

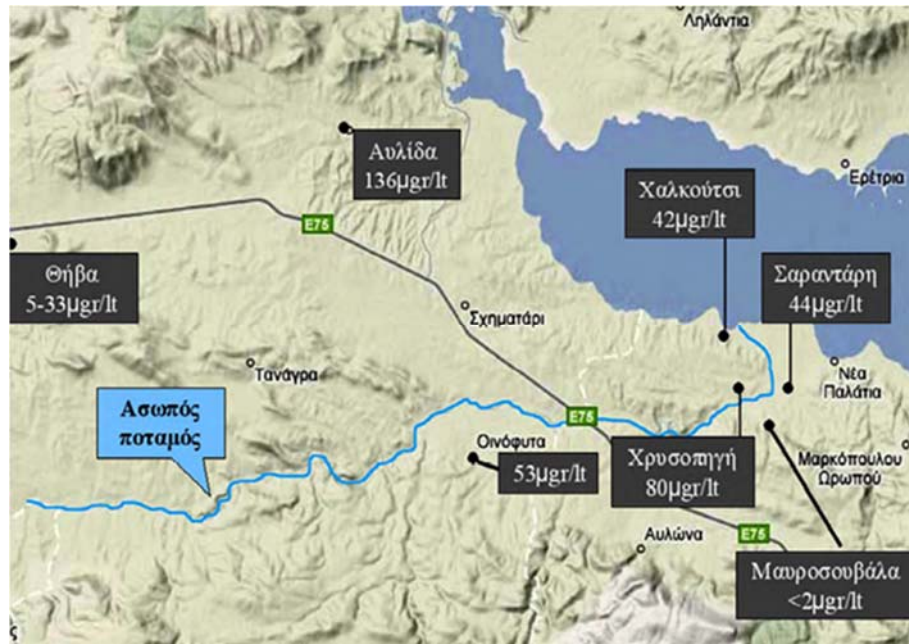
Οι πηγές ρύπανσης της περιοχής μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, ως προς τον τρόπο που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Στις σημειακές πηγές, αυτές δηλαδή που επιβαρύνουν τα επιφανειακά νερά του Ασωπού και τους υπόγειους αποδέκτες λόγω ανεξέλεγκτης διάθεσης βιομηχανικών αποβλήτων, στις διάχυτες ή κατανεμημένες πηγές, που θεωρούνται οι επιφανειακές απορροές υδάτων που αποπλένουν γεωργικές εκτάσεις και τροφοδοτούν τον Ασωπό με σημαντικό ρυπαντικό φορτίο<sup>12</sup> και η απομάκρυνση ρυπασμένου εδαφικού υλικού από περιοχή σε περιοχή (διάβρωση) λόγω γεωργικών επεμβάσεων<sup>13</sup>, καθώς και στις φυσικές πηγές. Ύστερα από ελέγχους της Επιθεώρησης περιβάλλοντος, διαπιστώθηκε ότι συνολικά επτά (7) δραστηριότητες (5 στην Στερεά Ελλάδα και 2 στην Αττική) είναι υπαίτιες για την ρύπανση του Ασωπού και αφορούν σημειακές πηγές ρύπανσης δηλαδή ανεξέλεγκτη διάθεση επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων από βιομηχανίες μετάλλων σε έδαφος και υπέδαφος και ανεξέλεγκτη ταφή επικίνδυνων και μη αποβλήτων από άγνωστους φορείς εκμετάλλευσης. (Δημαράς, Μαστρογιάννης 2010, Τέττας 2012, ΥΠΕΝ 2016)

Στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού, την τελευταία δεκαετία, έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές δειγματοληψίες επιφανειακών και υπόγειων νερών όπου η ανάλυση αυτών κατέδειξε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου, ολικού χρωμίου και άλλων τοξικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, το 2008, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 17** οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στο νερό του δικτύου υδροδότησης των οικιστικών περιοχών Χρυσοπηγή, Οινοφύτων και Αυλίδας είχαν ξεπεράσει κατά πολύ το επιτρεπτό όριο (80mg/L, 53 mg/L και 136 mg/L αντίστοιχα), ενώ αρκετά υψηλές ήταν και οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στο υπόγειο νερό που τροφοδοτεί το δίκτυο υδροδότησης της πόλης των Θηβών (5-33mg/L). Ακόμα, στο δίκτυο υδροδότησης του Σχηματαρίου εκτός από υψηλή περιεκτικότητα εξασθενούς χρωμίου (40 mg/L) προσδιορίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις και άλλων τοξικών στοιχείων όπως As (34mg/L). Οι παραπάνω δειγματοληπτικές γεωτρήσεις ήταν τοποθετημένες σε μεγάλου πάχους Νεογενείς σχηματισμούς (ανώτερος προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας), γεγονός που αιτιολογεί τον υψηλό λόγο Mg/Ca καθώς και τον χαμηλό

<sup>12</sup> Ανάντη του ποταμού η γεωργία παρουσιάζει ανάπτυξη με αποτέλεσμα η κατάντη περιοχή να τροφοδοτείται με πλήθος ρυπογόνων στοιχείων (πχ. Εξασθενές χρώμιο).

<sup>13</sup> Γεωργική επέμβαση μπορεί να θεωρηθεί η αφαίρεση της εδαφοκάλυψης στα περιθώρια των χωραφιών, η άροση κάθετα στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής σε επικλινείς περιοχές, η συμπίεση της γεωργικής γης από βαρύ εξοπλισμό, η όψιμη σπορά των χειμερινών σιτηρών κ.α.

λόγο Ca/Fe. Αντίθετα, στην περιοχή της Μαυροσουβάλας, η δειγματοληπτική γεώτρηση τοποθετήθηκε σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς του Τριαδικού – Ιουρασικού (βαθύτερος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας) και η ανάλυση έδειξε ότι τα νερά είναι αρκετά καλής ποιότητας (περιεκτικότητα εξασθενούς χρωμίου <2 mg/L) ενώ ο λόγος Ca/Fe ήταν υψηλός και ο λόγος Mg/ Ca χαμηλός, σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις των Νεογενών σχηματισμών. Αξίζει να τονιστεί ότι τα στοιχεία Ca και Mg συνδέονται στενά με τις συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και επιβεβαιώνουν τον ρόλο των κατιόντων σαν δείκτες αναγνώρισης της προέλευσης του υπεδαφικού νερού και της ρύπανσής του από εξασθενές χρώμιο. Η συγκέντρωση του εξασθενούς χρωμίου εξαρτάται από τον τύπο του υδροφόρου ορίζοντα, το βάθος του και τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά, ενώ σημαντική παράμετρος που ελέγχει την εξάπλωσή του στο υπέδαφος είναι η ειδική επιφάνεια. Συγκεκριμένα, το δευτερογενές πορώδες του καρστικού υδροφόρου έχει μικρότερη ειδική επιφάνεια από το πρωτογενές πορώδες του προσχωματικού. Επομένως, το εξασθενές χρώμιο στην περιοχή της Μαυροσουβάλας είναι σε λογικά επίπεδα και αυτό δικαιολογείται τόσο λόγω του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα (>150m) και των διαφορετικών υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής σε σχέση με άλλες περιοχές της λεκάνης απορροής (καρστικοποιημένοι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί στους οποίους το Cr(VI) γηγενούς προέλευσης βρίσκεται σε αμελητέες ποσότητες ~ 11mg/kg) όσο και λόγω της απουσίας βιομηχανικής δραστηριότητας στην εν λόγω περιοχή. Αντίθετα, οι Νεογενείς σχηματισμοί (ρηχός προσχωματικός υδροφόρος ορίζοντας <150m) τροφοδοτούνται από ιζηματογενές υλικό που προέρχεται από την αποσάθρωση και τη διάβρωση παρακείμενων πετρωμάτων με περιεκτικότητα Cr που ποικίλει από 5-1800 mg/kg. Την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε Cr εμφανίζουν τα αργιλούχα ιζήματα ενώ τα όξινα πυριγενή και ιζηματογενή, τα οποία εντοπίζονται σπάνια στη μελετώμενη περιοχή, εμφανίζουν μικρές ποσότητες Cr (5-120 mg/kg). Επιπλέον, οι οφιόλιθοι παρουσιάζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε χρώμιο. Η ποσότητα του ολικού Cr που δύναται να εκχυλιστεί από ένα τέτοιο πέτρωμα στον υπόγειο υδροφόρο είναι 100 – 170 mg/L. Παρόλα αυτά οι τόσο υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου δεν μπορούν να αιτιολογηθούν μόνο από την γηγενή του προέλευση αλλά και από την ανθρωπογενή προέλευση αυτού. (Vasilatos et al. 2008, Kaprara et al. 2014, Kazakis et al. 2015, Μπέλλου 2010, Οικονόμου 2008)



**Σχήμα 17:** Θέση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και περιεκτικότητες εξασθενούς χρωμίου. (Οικονόμου, 2008)

## 5. ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΟΥΣ ΧΡΩΜΙΟΥ

Η λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού αποτελεί μια ιδιαίτερα ρυπασμένη από χρώμιο περιοχή τόσο λόγω της γηγενούς προέλευσης του από τα υπερβασικά πετρώματα όσο και λόγω της έντονης βιομηχανικής δραστηριότητας των τελευταίων 50 ετών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και άλλων τοξικών μετάλλων που ανιχνεύθηκαν στο υπόγειο νερό της περιοχής, κατόπιν δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, καθιστούν ιδιαίτερα επιτακτική την ανάγκη εξεύρεσης των πηγών ρύπανσης με εξασθενές χρώμιο και τον λόγο εξάπλωσής αυτού στο υπέδαφος βάσει υδρογεωλογικών κριτηρίων.

Πιθανές πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης με εξασθενές χρώμιο αποτελούν τα θαμμένα στερεά απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε Cr(VI) ή/και οι υγρές διαρροές που φτάνουν στο υπόγειο νερό ακολουθώντας τις υπόγειες ροές. Το εξασθενές χρώμιο όπως ήδη αναφέρθηκε είναι ιδιαίτερα ευδιάλυτο και ευκίνητο. Έχει την ικανότητα να διυλίζεται στο έδαφος, να εισάγεται στα υπόγεια νερά και να μεταναστεύει πολύ εύκολα μακριά από την πηγή προέλευσής του.

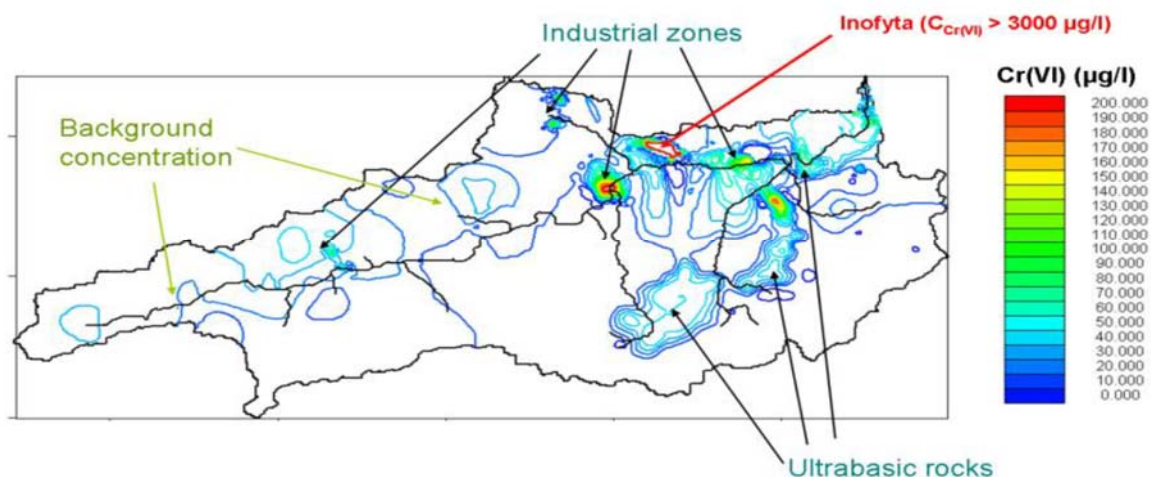
Η παρουσία αλλά και η κίνηση του εξασθενούς χρωμίου στο υπέδαφος επηρεάζονται κυρίως από το τοπικό υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής. Οι περατοί σχηματισμοί (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι κ.τ.λ.) επιτρέπουν την εξάπλωση της ρύπανσης στο υπέδαφος λόγω της μεγάλης ταχύτητας των υδάτων που διέρχονται από αυτούς (0,1-5 m/ημέρα). Αντίθετα, οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί (άργιλοι), δεν επιτρέπουν την κίνηση του νερού με μεγάλη ταχύτητα (μερικά cm/ χρόνο), με αποτέλεσμα το χρώμιο να μην εκτείνεται μακριά από την πηγή προέλευσής του. Συγκεκριμένα, στην περιοχή των Οиноφύτων η τοπική υδρογεωλογία (αδιαπέρατοι σχηματισμοί) ευνοεί την μη επέκταση του ρυπαντικού πεδίου σε μεγάλη απόσταση καθώς η ταχύτητα των υπόγειων υδάτων είναι πολύ χαμηλή (0,63 – 1,58 m/ χρόνο) όπως και η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά την περιοχή των Οиноφύτων ιδανική για την εφαρμογή τεχνολογιών απορρύπανσης με μεγάλη αποτελεσματικότητα. (Ε.Μ.Π 2018, Τσάκου 2011)

Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στη μεταφορά του Cr είναι η θερμοκρασία, το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, ο βαθμός ανάμειξης, οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες και η παρουσία οργανικής ύλης. Η κινητικότητα του εξασθενούς χρωμίου είναι μέτρια ως μεγάλη σε ρηχά υπόγεια νερά ενώ σε μεγάλο βάθος είναι μικρή. Αυτό αποδεικνύεται από τις υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στον ρηχό προσχωματικό υδροφόρο ορίζοντα (5-70 mg/L) και τις πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις αυτού στον βαθύτερο καρστικό υδροφόρο



ορίζοντα (<2 mg/L). Ο υπερκείμενος κοκκώδης υδροφόρος και ο υποκείμενος καρστικός θα μπορούσαν είχαν μια υδραυλική σχέση μεταξύ τους με τα διηθούμενα νερά του πρώτου να κινούνται προς τον δεύτερο ακολουθώντας την κατεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων, εάν δεν υπήρχε ανάμεσά τους το αδιαπέρατο αργιλικό στρώμα. Υπό αυτές τις συνθήκες, ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως υδροφόρος υψηλής τρωτότητας ή ρυπαντικής επιδεκτικότητας, καθώς λόγω της μεγάλης υδροπερατότητάς του θα ήταν πολύ εύκολο να εισέλθει ένας ρύπος, να κινηθεί εντός αυτού και να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι τον τελικό αποδέκτη, οδηγώντας σε μια ταχεία και μεγάλης έκτασης ποιοτική υποβάθμιση του υδροφόρου. Ωστόσο, η ύπαρξη του αδιαπέρατου αργιλικού στρώματος ανάμεσα στους δύο υδροφορείς δεν ευνοεί την διήθηση μεγάλης ποσότητας υδάτων στον καρστικό υδροφόρο και συνεπώς της εξάπλωση εξασθενούς χρωμίου εντός αυτού, επομένως η ρύπανση περιορίζεται μόνο στον ανώτερο προσχωματικό υδροφορέα και μάλιστα στα κατώτερα στρώματα αυτού. Αναλυτικότερα, η αργιλική σύσταση του ανώτερου μέρους του ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα δεν ευνοεί ούτε την κατακόρυφη ούτε την οριζόντια εξάπλωση του ρύπου στο στρώμα αυτό. Η ρύπανση εντοπίζεται μόνο γύρω από τις πηγές ρύπανσης (οφιολιθικό πέτρωμα και λύματα Ασωπού ποταμού). Αντίθετα, οι πιο περατές λιθολογίες του κατώτερου μέρους του ελεύθερου υδροφόρου (χαλίκια, κροκάλες, άμμοι), ευνοούν την εξάπλωση του ρύπου εντός του στρώματος ακολουθώντας την κατεύθυνση της υπόγειας ροής (βλ. **2.2.1.Υδροφόροι ορίζοντες – Κατεύθυνση υπόγειου νερού**). Η ρύπανση σε αυτό το στρώμα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε γηγενή αίτια λόγω της διείδυσης οφιολιθικών πετρωμάτων και η εξάπλωσή της είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ταχύτητας των υπόγειων υδάτων (0,1-5 m/ημέρα). (Γιαννουλόπουλος 2008, Ε.Μ.Π 2018, Μπέλλου 2010)





**Σχήμα 18:** Συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στους υπόγειους υδροφορείς της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. (Dokou et al., 2015)

Από το παραπάνω σχήμα (**Σχήμα 18**) παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου είναι μεγαλύτερες στα ρηχά υπόγεια νερά, εκεί δηλαδή που το υδραυλικό φορτίο είναι χαμηλό, και γύρω από τις πηγές ρύπανσης (οφιολιθικά πετρώματα, βιομηχανικές ζώνες). Επιπλέον, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής που έχει παρατεθεί πιο πάνω (**Σχήμα 7**), οι μέγιστες συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου (κόκκινο χρώμα) παρατηρούνται σε αλλουβιακές αποθέσεις, γεγονός που αιτιολογείται τόσο από την γεινίαση του βιομηχανικού πάρκου των Οινοφύτων όσο και από τη γηγενή του προέλευση λόγω υδρόλυσης των αστρίων και των κοινών υπερβασικών ορυκτών (αυγίτης, βιοτίτης) που υπάρχουν στις αλλουβιακές προσχώσεις και προκαλούν αλκαλικές συνθήκες, συνδυαστικά με την απουσία αναγωγικών μέσων (δισθενής σίδηρος, οργανική ύλη). (Ε.Μ.Π 2018, Λέκκας, Αλεξόπουλος 2009, Τσάκου 2011, Kazakis et al. 2015)

Εν συνεχεία θα εξεταστούν ξεχωριστά τρεις διαφορετικές περιπτώσεις προέλευσης εξασθενούς χρωμίου στον Ασωπό ποταμό και το πιθανότερο σενάριο το οποίο μπορεί να υποστηριχθεί και να αιτιολογηθεί από τις μετρήσεις που προέκυψαν μέσω των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Στην πρώτη περίπτωση εξετάζεται η προέλευση του εξασθενούς χρωμίου αποκλειστικά από φυσικές πηγές όπως τα υπερβασικά πετρώματα της περιοχής. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζεται η προέλευση του χρωμίου να προκύπτει αποκλειστικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες δηλαδή από απευθείας αποθέσεις βιομηχανικών αποβλήτων στον Ασωπό ποταμό. Τέλος, η τρίτη περίπτωση που θα εξεταστεί αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων δηλαδή απόθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων από βιομηχανίες στο ποτάμι και ταυτόχρονες φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν στο υπέδαφος οι οποίες ανάγουν την τρισθενή μορφή του χρωμίου στην εξασθενή του μορφή

μέσω αντιδράσεων στα πετρώματα. Η τρίτη περίπτωση αποτελεί και το πιθανότερο σενάριο στην περίπτωση του Ασωπού ποταμού όπως θα αιτιολογηθεί στη συνέχεια.

**Περίπτωση 1:** Αποκλειστική προέλευση εξασθενούς χρωμίου από φυσικές πηγές (υπερβασικά πετρώματα)

Το χρώμιο, όπως είναι γνωστό, βρίσκεται σε αφθονία στον φλοιό της γης (100 ppm ή mg/kg) και συνίσταται σε τρεις σταθερές μορφές στην φύση, ως μεταλλικό ή στοιχειακό Cr(0), τρισθενές Cr(III) και εξασθενές Cr(VI). Το στοιχειακό χρώμιο απαντάται σπάνια στη φύση. Στην πλειοψηφία τους τα πετρώματα περιέχουν χρώμιο σε περιεκτικότητες που κυμαίνονται από 5 -1800 μg/kg. Το τρισθενές χρώμιο απαντάται ευρέως στην φύση σαν κύριο στοιχείο στο ορυκτό χρωμίτης με γενικό τύπο  $(Mg, Fe^{2+})(Cr, Fe^{3+}, Al)_2O_4$ , ενώ σε μικρότερη αναλογία φιλοξενείται στα πυριτικά ορυκτά (ολιβίνης <70 mg/kg, πυρόξενος, σερπεντίνης ~ 100 mg/kg). Ο χρωμίτης εξορύσσεται από κοιτάσματα μαγματικής προέλευσης που φιλοξενούνται σε συμπλέγματα βασικών – υπερβασικών πετρωμάτων. Στα περισσότερα εδάφη, το χρώμιο υπάρχει σε χαμηλές περιεκτικότητες (2-60 μg/kg) και συγκεκριμένα σε ανθρακικά ιζήματα η συγκέντρωση χρωμίου είναι αρκετά χαμηλή (11 mg/kg), ενώ είναι λίγο μεγαλύτερη σε εδάφη με γρανιτικό και ψαμμιτικό υπόβαθρο (22 και 35 mg/kg αντίστοιχα). Όσον αφορά το εξασθενές χρώμιο, αυτό εντοπίζεται στα σπάνια ορυκτά κροκοϊτης, με γενικό τύπο  $PbCrO_4$ , και ιρανίτης, με γενικό τύπο  $PbCr_4OH_2O$ , τα οποία φιλοξενούνται σε υπερβασικά πετρώματα. Ακόμα, φυσική πηγή χρωμίου αποτελούν και τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα (πχ. νικελιούχοι λατερίτες) όπου σε αυτά το χρώμιο φιλοξενείται εντός των ορυκτών χρωμίτης και γκαιτίτης. Φυσιολογικά στα επιφανειακά ύδατα οι συγκεντρώσεις χρωμίου κυμαίνονται από 1 - 10 μg/L, ενώ στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις αυτού κυμαίνονται από 0,4 - 8 μg/L, ενώ σε παγκόσμια κλίμακα η μέση τιμή χρωμίου στα εδάφη είναι 54 mg/kg. (Kapra et al. 2014, Kazakis et al. 2015, Κουτούπη 2016, Οικονόμου 2008, Σκαρπέλης 2006)

Στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού, οι εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων είναι μικρές ενώ η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν εντός αυτής αγγίζει τα 20 Km<sup>2</sup>, με τις περισσότερες εμφανίσεις να συναντώνται στο Νότιο τμήμα της λεκάνης σε παρυφές βουνών. Συγκεκριμένα, στις περιοχές Αυλώνα, Άγιος Νικόλαος, Πρόδρομος και Ωρωπός εμφανίζεται το κάλυμμα των οφιολίθων της ενότητας της Ανατολικής Ελλάδας αποτελούμενο από σερπεντινωμένους περιδοτίτες που κατά θέσεις δύναται να περιλαμβάνουν και κοιτάσματα λευκόλιθου, τα οποία είναι αποτέλεσμα δευτερογενών διεργασιών υδροθερμικής δράσης στο στάδιο της τεκτονικής τοποθέτησης (επώθησης) των

οφιολίθων. Οι δύο πρώτες περιοχές έχουν τις υψηλότερες εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων. Νοτιοδυτικά του Αυλώνα μέχρι και τα Σκούρτα εντοπίζονται επιφανειακές εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων με συνολική έκταση 5 Km<sup>2</sup>. Στην πλειοψηφία τους αυτοί οι σχηματισμοί εντοπίζονται στο υψόμετρο των 600 m αλλά και σε χαμηλότερα υψόμετρα, περίπου στα 450 m. Επιπλέον, στην περιοχή του Αυλώνα, υπάρχει και μια μικρή εμφάνιση νικελιούχων λατεριτών Κάτω - Κρητιδικής ηλικίας που συνδέονται γενετικά με το εν λόγω οφιολιθικό κάλυμμα. Περίπου 2 km Νότια του Ωρωπού υπάρχουν επιφανειακές εμφανίσεις οφιολίθων που ξεκινούν από το Συκάμινο και εκτείνονται σε απόσταση 2,5 Km Νοτιοανατολικά από τον Ωρωπό. Οι οφιολιθικές αυτές εμφανίσεις βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα (50-150 m), στις παρυφές τοπικού υψώματος. Στο δυτικό κομμάτι της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού, στην περιοχή του Αγίου Νικολάου, εντοπίζονται εξ' ολοκλήρου υπερβασικά πετρώματα τα οποία εμφανίζονται στο ύψος των 300 m και καταλήγουν στην θάλασσα, ενώ 8 km ανατολικά του Αγίου Νικολάου (Παραλία Λιβαδόστρας) εντοπίζονται μικρές επιφανειακές εμφανίσεις υπερβασικών σε ύψος 20-80 m. Τέλος, στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης, 5 km Βόρεια από την περιοχή Πρόδρομος, απαντάται μια μικρή εμφάνιση επιφανειακών οφιολίθων σε υψόμετρο 800-900 m. Είναι σαφές ότι εφόσον οι εμφανίσεις αυτές είναι μικρές, το χρώμιο γηγενούς προέλευσης, στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Ασωπού, είναι περιορισμένο. Ωστόσο, υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου χρωμίου γηγενούς προέλευσης μπορούν να παρατηρηθούν γύρω από τις οφιολιθικές εμφανίσεις και συνδέονται με τα ιδιαίτερα διαλυτά, χρωμικά ιόντα (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Στην λεκάνη απορροής του Ασωπού οι περιεκτικότητες σε χρώμιο στο έδαφος κυμαίνονται από 67-300 mg/kg με μέση τιμή περίπου στα 150 mg/kg. (Κουτούπη 2016, Οικονόμου 2008, Σκαρπέλης 2006, Τέττας 2012).

### **Περίπτωση 2:** Απευθείας απόθεση βιομηχανικών αποβλήτων από βιομηχανίες στο ποτάμι

Όπως προαναφέρθηκε, η λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού χαρακτηρίζεται από έντονη βιομηχανική δραστηριότητα ήδη από τα τέλη του 1960, με πάνω από 700 βιομηχανίες και βιοτεχνικές μονάδες διαφόρων κλάδων να λειτουργούν και να παράγουν χρωμιούχα απόβλητα. Το χρώμιο ανθρωπογενούς προέλευσης, που είναι ως επί το πλείστον και ο κύριος λόγος ρύπανσης του Ασωπού ποταμού τις τελευταίες δεκαετίες, απελευθερώνεται στο έδαφος έμμεσα με ατμοσφαιρική εναπόθεση αλλά και άμεσα με απευθείας απόθεση υγρών και στερεών αποβλήτων που περιέχουν χρώμιο (πχ με τη μορφή χρωμικών ιόντων και λάσπη σιδηροχρωμίου). Οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου εντοπίζονται στην βιομηχανική περιοχή των Οινοφύτων (>3000 mg/L). Η ρύπανση δεν φαίνεται να συνδέεται

με την παραγωγική διαδικασία των βιομηχανιών που περιβάλλουν τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις αλλά με την απόρριψη ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων από τις βιομηχανίες και τις βιοτεχνικές μονάδες τις περιοχές απευθείας στα επιφανειακά ύδατα και υπεδαφικά μέσω αγωγών ακολουθώντας τις υπόγειες ροές και με την ταφή στερεών απορριμμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε εξασθενές χρώμιο. Η ανθρωπογενής ρύπανση της λεκάνης του Ασωπού επιφανειακά και στα ανώτερα τμήματα του προσχωματικού υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να αποδειχθεί με βεβαιότητα και από τον εντοπισμό υψηλών συγκεντρώσεων χλωριόντων και νικελίου. Οι τιμές νικελίου στα εδάφη του Ασωπού κυμαίνονται από 91-1200 mg/kg. (Panagopoulos et al. 2014, Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016)

**Περίπτωση 3:** Απόθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων από βιομηχανίες και ταυτόχρονες φυσικές διεργασίες που ανάγουν την τρισθενή μορφή του χρωμίου στην εξασθενή του μορφή μέσω αντιδράσεων στα πετρώματα.

Η περίπτωση αυτή αποτελεί έναν συνδυασμό των προηγούμενων δύο περιπτώσεων και θεωρείται το πιο πιθανό σενάριο στην περίπτωση του Ασωπού ποταμού καθώς η ρύπανσή του από εξασθενές χρώμιο δεν μπορεί να αιτιολογηθεί μόνο από τη γηγενή του προέλευση. Συγκεκριμένα, οι εμφανίσεις οφιολιθικών πετρωμάτων με συγκέντρωση χρωμίου που μπορεί να φτάνει και τα 1800 mg/kg είναι περιορισμένες στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού καθώς εντοπίζονται μόνο σε 4 περιοχές με συνολική έκταση που αγγίζει τα 20 km<sup>2</sup>, αρκετά μικρή σε σχέση με την συνολική έκταση της λεκάνης που εκτιμάται ότι είναι 721 km<sup>2</sup>. Επιπλέον, οι Νεογενείς σχηματισμοί, που δέχονται υλικό από την αποσάθρωση και την διάβρωση των παρακείμενων οφιολίθων είναι περιορισμένης έκτασης και εντοπίζονται κυρίως στην Δ και ΒΔ πλευρά της λεκάνης απορροής. Παρόλα αυτά, όπως ήδη αναφέρθηκε στα κατώτερα στρώματα του ανώτερου υδροφόρου η γηγενής προέλευση του χρωμίου συντελεί σε σημαντικό βαθμό στην ρύπανση του υδροφορέα καθώς οι οφιολιθικές εμφανίσεις αν και περιορισμένες διεισδύουν στα κατώτερα στρώματα και οι μεγάλες ταχύτητες των υπόγειων υδάτων συμβάλουν στη γρήγορη εξάπλωσή της ρύπανσης. Ωστόσο, στα ανώτερα στρώματα η ανθρωπογενής προέλευση του χρωμίου είναι αυτή που διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής εντοπίζεται στους αλλουβιακούς σχηματισμούς (Νεογενή ιζήματα), εκεί δηλαδή που βρέθηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου. Αντίθετα, στους ασβεστολίθους του Τριαδικού – Ιουρασικού απουσιάζει οποιαδήποτε βιομηχανική δραστηριότητα και για αυτό το λόγο οι τιμές εξασθενούς χρωμίου εκεί είναι στα φυσιολογικά επίπεδα. Παράλληλα, το χρώμιο γηγενούς προέλευσης στους ανθρακικούς σχηματισμούς

είναι αρκετά περιορισμένο (11mg/kg) σε σχέση με τις υπόλοιπες λιθολογίες της περιοχής. Από τα παραπάνω είναι κατανοητό πως τόσο η ανθρωπογενής παρέμβαση όσο και η γηγενής προέλευση του χρωμίου αποτελούν εξίσου σημαντικά αίτια ρύπανσης των υδάτων της περιοχής. (Νίκα et al. 2015, Kaprara et al. 2014, Kazakis et al. 2015, Καλλιστράτου 2011)

## 6.ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η παρούσα κατάσταση φαίνεται να έχει βελτιωθεί αλλά όχι σημαντικά. Οι βιομηχανίες στην πλειονότητά τους έχουν συμμορφωθεί και δεν χρησιμοποιούν πλέον εξασθενές χρώμιο στην παραγωγική τους διαδικασία. Επιπλέον, τα απόβλητα επεξεργάζονται και συλλέγονται προς διάθεση από αδειοδοτημένες εταιρίες. Η γενικότερη τάση συμμόρφωσης των βιομηχανιών της περιοχής με την περιβαλλοντική νομοθεσία αποδεικνύεται από τους δειγματοληπτικούς ελέγχους υγρών αποβλήτων που πραγματοποιηθήκαν το Νοέμβριο του 2016 από Αρχές της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας σε οκτώ (8) δραστηριότητες της ευρύτερης περιοχής των Οиноφύτων από τις οποίες δεν διαπιστώθηκαν υπερβάσεις των επιτρεπόμενων οριακών τιμών παρά μόνο στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων των Οиноφύτων (ΥΠΕΝ, 2016). Παρόλα αυτά η πολυετής βιομηχανική δραστηριότητα έχει δημιουργήσει συσσώρευση ρυπαντών στο υδροφόρο ορίζοντα, που φαίνεται να εμμένει, όπως άλλωστε αποδεικνύουν ενδεικτικές μετρήσεις (Λιάτσου,2018).

Οι επιφανειακές ροές της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 19**) βρίσκονται σε μια μέτρια/ ελλιπή – άγνωστη οικολογική και χημική κατάσταση.



**Σχήμα 19:** Οικολογική και χημική κατάσταση Ασωπού ποταμού (ΥΠΕΝ, 2017)

Όσον αφορά το Υπόγειο υδατικό σύστημα (ΥΥΣ) Θηβών - Ασωπού -Σχηματαρίου, αυτό παρουσιάζει υποβαθμισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά (κακή χημική κατάσταση) λόγω τοπικής υφαλμύρινσης, συσσωρευμένων ανθρωπογενών πιέσεων (γεωργία, βιομηχανία,

κτηνοτροφία αστικοποίηση, διαρροές ΧΑΔΑ) και ανεπαρκούς διαχείρισης των λυμάτων που προκύπτουν με αποτέλεσμα οι τιμές νιτρικών (NO<sub>3</sub>) να είναι διπλάσιες από τα θεσμοθετημένα όρια και οι τιμές χλωριόντων (Cl<sup>-</sup>) και μετάλλων να είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Επιπλέον, σε ορισμένα σημεία οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και άλλων ρυπαντών (πχ. As) είναι αρκετά υψηλές. Μέχρι σήμερα, οι πηγές ρύπανσης δεν έχουν προσδιοριστεί πλήρως και κυρίως δεν έχει γίνει τίποτα ουσιαστικό για την εξυγίανση και την εξαφάνιση των ρύπων. (ΥΠΕΝ, 2017)

Οι πηγές ρύπανσης των υδάτων όπως αναφέρθηκε σε πιο πάνω παράγραφο (**Βλ. 4.5. Πηγές ρύπανσης – Δειγματοληψία 2008**) μπορεί να είναι σημειακές ή διάχυτες.

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τα συνολικά ετήσια φορτία Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD), Αζώτου (N) και Φωσφόρου (P) στα επιφανειακά ύδατα της Λεκάνης του Ασωπού από σημειακές (**Πίνακας 4**) και διάχυτες (**Πίνακας 5**) πηγές ρύπανσης. Φαίνεται ότι τα επιφανειακά νερά κατά μήκος του ποταμού και στη θαλάσσια ακτή είναι ρυπασμένα με ανόργανο και οργανικό φορτίο. (ΥΠΕΝ, 2017)

**Πίνακας 4:** Ετήσια φορτία BOD, N, P υδάτων Ασωπού από σημειακές πηγές ρύπανσης. (ΥΠΕΝ, 2017)

Σημειακές πηγές ρύπανσης	BOD (t/year)	N (t/year)	P (t/year)
Βιομηχανικές Μονάδες	0,85	4,03	0,62
Κτηνοτροφία	128,91	42,59	8,15
Διαρροές από ΧΑΔΑ	33,84	235,01	1,13
Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων	19,21	20,47	4,54
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>182,81</b>	<b>302,1</b>	<b>14,44</b>

**Πίνακας 5:** Ετήσια φορτία BOD, N, P υδάτων Ασωπού από διάχυτες πηγές ρύπανσης. (ΥΠΕΝ, 2017)

Διάχυτες πηγές ρύπανσης	BOD (t/year)	N (t/year)	P (t/year)
Αστική	57,5	16,1	0,4
Γεωργική	0	289,5	136,2
Κτηνοτροφική	149	65,8	8
Άλλες πηγές		2,6	0,1
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>207</b>	<b>374</b>	<b>145</b>



Ακολουθώς παρατίθεται ο **Πίνακας 6** στον οποίο απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και άλλες φυσικοχημικές παράμετροι σε δύο θέσεις δειγματοληψίας στον Ασωπό ποταμό στην περιοχή Χαλκούτσι, όπως καταγράφηκαν από το Πανελλήνιο Κέντρο Οικολογικών Ερευνών στις 15/03/2018. Είναι σαφές ότι οι συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου στον Ασωπό παραμένουν υψηλότερες από τα επιτρεπόμενα όρια, τα οποία έχουν καθοριστεί από την ΚΥΑ 20488/10. Όσον αφορά τις τιμές ολικού φωσφόρου αυτές παραμένουν ενός ορίων στις εν λόγω θέσεις δειγματοληψίας ωστόσο σε άλλες θέσεις εντός της λεκάνης απορροής του Ασωπού, όπως στην Σκάλα Ωρωπού, οι συγκεντρώσεις αγγίζουν τα 5,2 mg/L, ενώ το επιτρεπόμενο όριο για τον ολικό φώσφορο όπως ορίζεται από την ΚΥΑ 20488/10 είναι 0,31 mg/L. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές pH που μετρήθηκαν στις θέσεις δειγματοληψίας (αλκαλικό pH που κυμαίνεται από 7,6 – 7,8) εξασφαλίζουν ότι υπάρχουν χημικές διεργασίες (αναγωγή και οξείδωση χρωμίου). Συγκεκριμένα όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο **3.1.Οξείδωση – Αναγωγή χρωμίου**, η μετατροπή τρισθενούς σε εξασθενές χρώμιο, σε γενικές γραμμές, είναι δυνατή σε αλκαλικές και οξειδωτικές συνθήκες (pH > 6), παρουσία οξειδίων του μαγγανίου. Επιπλέον, και η μετατροπή εξασθενούς σε τρισθενές χρώμιο η οποία ελέγχεται από το διαλυμένο δισθενή σίδηρο ή ορυκτά που περιέχουν δισθενή σίδηρο εξασφαλίζεται σε συνθήκες ουδέτερες ως αλκαλικές (pH > 6). (ΠΚΟΕ, 2018)

**Πίνακας 6:** Συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου και άλλες φυσικοχημικές παράμετροι στον Ασωπό ποταμό - 2018

Αριθμός Δείγματος	Κοδικοί	Θέση Δειγματοληψίας	Ωρα Δειγματοληψίας	Φυσικοχημικοί Παράμετροι		
				pH	Cr(VI) μg/L	Ολικός Φώσφορος (mg/L)
16	38	Χαλκούτσι. Ποτάμι Ασωπού	13:15	7,6	3	0,183
17	39	Χαλκούτσι. Ποτάμι Ασωπού	13:25	7,8	5	0,239
Επιτρεπόμενα όρια χημικών παραμέτρων σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ ΚΥΑ υπ. Αριθμ.20488/19-05-2010 (ΦΕΚ 749 Β), σχετικά με τον καθορισμό ποιοτικών περιβαλλοντικών προτύπων στον ποταμό Ασωπό.					3 μg/L	0,165 – 0,31 mg/L

## 7.ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

### 7.1. Τεχνολογίες & Ενέργειες απορρύπανσης νερού στην Λεκάνη του Ασωπού

Εφόσον ο υδροφόρος ορίζοντας και το έδαφος μιας περιοχής ρυπανθούν από εξασθενές χρώμιο, κρίνεται αναγκαία η αποκατάστασή τους μέσω διαφόρων τεχνολογιών. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν μεθόδους όπως εκσκαφή, επεξεργασία και απόθεση του εδάφους, άντληση και επεξεργασία του υπόγειου νερού, ενώ άλλες εστιάζουν στην αποτροπή της διασποράς της ρύπανσης σε μεγαλύτερη έκταση (πχ. Βιοαποκατάσταση, φυτοεξυγίανση κ.α). Πιο αναλυτικά, οι σημαντικότερες μέθοδοι απορρύπανσης είναι οι εξής:

- Μέθοδος άντλησης και επεξεργασίας (Pump and Treat)

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει άντληση του υπόγειου νερού μέσω γεωτρήσεων, επεξεργασία του σε κατάλληλη μονάδα και εναπόθεσή του επεξεργασμένου πλέον νερού στο έδαφος για εμπλουτισμό του υδροφόρου ή εναπόθεσή του σε γειτονικό υδροφόρο στρώμα ή ακόμα και χρήση αυτού για άρδευση ή στην βιομηχανία . Αποτελεί μια αργή και δαπανηρή διαδικασία, ενώ η γεωλογία του υδροφορέα και το είδος των ρυπαντών, πιθανόν να δυσκολεύσουν την άντληση του ρυπανμένου νερού. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016, Τσάκου, 2011)

- Υπόγεια αντιδρώντα φράγματα (Reactive Barriers)

Τα εν λόγω φράγματα τοποθετούνται κάθετα στη ροή του υπόγειου νερού και περιέχουν αντιδρώντα στερεά υλικά τα οποία αποικοδομούν ή ακινητοποιούν τους ρυπαντές του νερού που διέρχεται από αυτά. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016, Τσάκου, 2011)

- Βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ικανότητα βιοδιάσπασης του ρυπαντή από μικροοργανισμούς (βακτήρια, άλγη και μύκητες) που είτε ενδημούν είτε εισάγονται στην θέση της ρύπανσης και ανάγουν το εξασθενές σε τρισθενές χρώμιο το οποίο, προσροφάται στη συνέχεια από τα βιολογικά στερεά και απομακρύνεται με καθίζηση ή διύλιση από το νερό. Απαραίτητη είναι η παρουσία εξωτερικού δότη ηλεκτρονίων όπως Fe ή Mn. Έχει μικρό κόστος, για να είναι αποτελεσματική όμως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με άλλες μεθόδους. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016, Τσάκου, 2011)

- Αφαίρεση χρωμίου με ηλεκτρικό ρεύμα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση χρωμίου και άλλων βαρέων μετάλλων, με εφαρμογή τάσης μέσω ηλεκτροδίων. (Καραγιώργη 2013)

- Χημική μείωση (Chemical Reduction)

Η εν λόγω μέθοδος κάνει χρήση μιας στήλης ρινισμάτων σιδήρου, που παρεμβάλλονται στην υπόγεια ροή των υδάτων, και η οποία συμβάλλει στην αναγωγή εξασθενούς σε τρισθενές χρώμιο, το οποίο εν συνεχεία σε όξινες και αλκαλικές συνθήκες καθιζάνει με τη μορφή δυσδιάλυτων σταθερών ενώσεων τρισθενούς χρωμίου (οξειδία). Το νερό του ποταμού μετά τη χημική μείωση έχει κόκκινη απόχρωση λόγω των οξειδίων του σιδήρου και γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαία η χρήση δεύτερου φίλτρου για πλήρη καθαρισμό των υδάτων. (Δημήτρουλα, 2009)

- Φυτοεξυγίανση (Phytoremediation)

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ικανότητα που έχουν τα φυτά να προσλαμβάνουν, να συσσωρεύουν και να διασπών τοξικές οργανικές ουσίες από το έδαφος. Τα φυτά περιορίζουν το εξασθενές χρώμιο με το να το μετατρέπουν στο λιγότερο ευκίνητο και τοξικό τρισθενές χρώμιο, ή με το να το συλλέγουν στις ρίζες τους και εν συνεχεία στα υπέργεια μέρη τους, τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν από το έδαφος. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016, Τσάκου, 2011)

- Φυσική αποκατάσταση (Natural Attenuation)

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σε ένα σύνολο φυσικών διεργασιών (βιοαποδόμηση, διασπορά, αραίωση, προσρόφηση, καταστροφή ρύπων) που δρουν κάτω από ευνοϊκές συνθήκες με την βοήθεια των οποίων μειώνεται η μάζα η τοξικότητα, η κινητικότητα, ο όγκος και η συγκέντρωση των ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Στο υπέδαφος, φυσική εξασθένηση του χρωμίου μπορεί να συμβεί από φυσικούς αναγωγείς όπως η οργανική ύλη ή ο διαλυμένος δισθενής σίδηρος, εφόσον υπάρχουν εντός του υδροφορέα, η ποσότητα του ρύπου δεν υπερβαίνει την ικανότητα του υδροφόρου ορίζοντα να τον ανάγει, η ταχύτητα αναγωγής του εξασθενούς χρωμίου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα μεταφοράς του στο υπόγειο περιβάλλον και τέλος εφόσον οι συνθήκες που επικρατούν διασφαλίζουν ότι δεν συμβαίνει ταυτόχρονα οξείδωση του τρισθενούς χρωμίου σε εξασθενές. (Καραγιώργη 2013, Κουτούπη 2016, Τσάκου, 2011)

Σε πιλοτική κλίμακα, στην περιοχή του Ασωπού, έχουν αξιολογηθεί τρία εναλλακτικά συστήματα απορρύπανσης των υπόγειων υδάτων βασιζόμενα στην αρχή της άντλησης και επεξεργασίας. Αυτά είναι τα εξής:

- α) Σύστημα βιολογικής επεξεργασίας,
- β) Σύστημα χημικής μείωσης (διύλιση σε φίλτρα ρινισμάτων σιδήρου) και
- γ) Σύστημα φυτοεξυγίανσης (υγροβιότοποι).

Με την εφαρμογή αυτών των συστημάτων το νερό που προκύπτει έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε εξασθενές χρώμιο. Το πρώτο σύστημα βασίζεται στην ανάπτυξη βακτηρίων ή μυκήτων στα υπόγεια ύδατα με σκοπό την αναγωγή του εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές, το οποίο ακολούθως προσροφάται από βιολογικά στερεά και απομακρύνεται μέσω διύλισης ή καθίζησης από το νερό. Το σύστημα αυτό απαιτεί μεγάλο χρόνο επεξεργασίας των υδάτων προκειμένου να απομακρυνθεί το εξασθενές χρώμιο. Το δεύτερο σύστημα είναι σαφές ότι έχει μικρό κόστος και περιορισμένη επίδραση στο περιβάλλον, καθώς δεν απαιτείται η κατασκευή έργων για την εξεργασία υδάτων που είναι ρυπασμένα, ενώ ο χρόνος επεξεργασίας είναι μικρότερος από τα άλλα δύο συστήματα. Τα αποτελέσματα του πιλοτικού αυτού συστήματος έδειξαν ότι υπήρξε σχεδόν πλήρης απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου στην ρυπασμένη περιοχή (>95%) και οι συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου στα δείγματα νερού ήταν πολύ χαμηλές (0-15 mg/L). Επιπλέον, τα ρινίσματα σιδήρου δεν ανιχνεύτηκαν σε κανένα δείγμα νερού καθώς έχουν την ικανότητα να προσροφώνται από τα σωματίδια του εδάφους. Όσον αφορά το σύστημα φυτοεξυγίανσης, αυτό βασίζεται στην χρήση φυτών για την απομάκρυνση τοξικών μετάλλων από το έδαφος. Συγκεκριμένα, στην περιοχή του Ασωπού κατασκευάστηκε τεχνητός υγροβιότοπος<sup>14</sup> ο οποίος λειτούργησε για πάνω από δύο έτη (~24 μήνες) προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά του στην απομάκρυνση χρωμίου από τα υπόγεια ύδατα. Τα αποτελέσματα του πιλοτικού αυτού συστήματος έδειξαν ότι η απομάκρυνση του εξασθενούς χρωμίου ανέρχεται σε ποσοστό περίπου 50% με σημαντικότερο μηχανισμό απομάκρυνσης το ριζικό σύστημα των φυτών στο οποίο και αναπτύσσονται ενδοφυτικά βακτήρια ικανά να επιταχύνουν τη διαδικασία αναγωγής εξασθενούς σε τρισθενές χρώμιο. Το κόστος του εν λόγω συστήματος είναι μικρό αλλά ο χρόνος παραμονής των ρυπασμένων υδάτων στον υδροβιότοπο είναι πάρα πολύ μεγάλος προκειμένου να επιτευχθεί η απομάκρυνση σημαντικού μέρους του ρυπαντικού φορτίου. (ΕΜΠ, 2018)

<sup>14</sup> Τεχνητός υγροβιότοπος= πυκνή βλάστηση από υδρόβια φυτά με την ικανότητα να προσλαμβάνουν και να αποθηκεύουν πλήθος στοιχείων στους ιστούς τους και στην μικροβιακή πανίδα που αναπτύσσεται στο ριζικό σύστημα και ευθύνεται για την διάσπαση ανόργανων και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Οι διαστάσεις ενός υδροβιότοπου καθορίζονται από την ποσότητα των προς επεξεργασία λυμάτων και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά (πορώδες). (Σιοντόρου, 2017)

Παρότι υπάρχει πληθώρα τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην απορρύπανση του Ασωπού ποταμού, το πρόβλημα εμμένει σε μεγάλο βαθμό λόγω έλλειψης ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης και επαρκούς γνώσης. Οι πρώτες ενέργειες απορρύπανσης είχαν ήδη ξεκινήσει την δεκαετία του '90, με εντολή του ΥΠΕΧΩΔΕ, οι οποίες όμως δεν ολοκληρώθηκαν ποτέ. Σήμερα, ωστόσο, έχει δρομολογηθεί ένα σχέδιο ολοκληρωμένης αντιμετώπισης του προβλήματος από την Περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας που περιλαμβάνει την συνεχή παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων και της δημόσιας υγείας, την οριοθέτηση του ποταμού και τον εντοπισμό των εστιών ρύπανσης, την οριοθέτηση επιχειρηματικού πάρκου εξυγίανσης και ανάπτυξης με αναγκαίες υποδομές όπως ο βιολογικός καθαρισμός και τέλος τη δημιουργία πλήρους βιομηχανικού και περιβαλλοντικού μητρώου επιχειρήσεων. Περιβαλλοντικές εταιρίες, τοπικοί φορείς και δύο πανεπιστήμια έχουν δρομολογήσει το ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο «Χρώμιο στα υπόγεια νερά της Λεκάνης του Ασωπού: Τεχνολογίες και μέτρα αποκατάστασης (Charm)», το οποίο στοχεύει στην επίλυση του προβλήματος αυτού που απειλεί τα υπόγεια ύδατα, μέσω της εφαρμογής αποτελεσματικών μέτρων αποκατάστασης όπως προδιαγράφονται από το ΠΔ148. (ΕΜΠ 2018, Λιάτσου 2018, ΤΕΕ 2009)

Τέλος, υπό τις προϋποθέσεις και τους όρους της ΚΥΑ 20488/2010 έχει εκπονηθεί η Μελέτη Σκοπιμότητας Κεντρικού Συστήματος Επεξεργασίας Βιομηχανικών Αποβλήτων στην περιοχή Οινοφύτων – Σχηματαρίου, σύμφωνα με την οποία προέκυψε ως βέλτιστη λύση για την διαχείριση των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων της περιοχής, η κατασκευή δύο μονάδων επεξεργασίας (χημικού και οργανικού φορτίου). Οι δύο μονάδες προτείνεται να εγκατασταθούν στον ίδιο χώρο έτσι ώστε η εκροή της χημικής μονάδας να καταλήγει στην οργανική μονάδα για τελική βιολογική επεξεργασία. Το κεντρικό σύστημα επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων περιλαμβάνει εκτός από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και τις εγκαταστάσεις διάθεσης καθώς και την κατασκευή δικτύου συλλογής των λυμάτων και αποβλήτων. Το εν λόγω έργο πρόκειται να υλοποιηθεί σε δύο στάδια:

- Σχεδιασμός - Περιβαλλοντική Αδειδότηση - Δημοπράτηση με προϋπολογισμό 2.500.000 Ευρώ για χρονικό ορίζοντα μέχρι το 2021 και
- Κατασκευή - Λειτουργία, με προϋπολογισμό 65.000.000 Ευρώ για χρονικό ορίζοντα 2-3 έτη μετά την ολοκλήρωση των μελετών. (ΥΠΕΝ,2017)

## 7.2. Προτάσεις

Οι εφαρμογές απορρύπανσης είναι λιγότερο αποτελεσματικές σε σχέση με άλλα μέτρα αντιμετώπισης, τόσο λόγω της χρονικής υστέρησης (χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς ρυπαντικού φορτίου και συνεπώς αργή αναίρεσή του), όσο και λόγω της αδυναμίας εντοπισμού του αίτιου της πηγής ρύπανσης (πχ. Διάχυτη πηγή ρύπανσης λόγω απόπλυσης γεωργικών εκτάσεων πλούσιων σε χρώμιο). Αυτό καθιστά τις τεχνολογίες απορρύπανσης ιδιαίτερα ασύμφορες καθώς λόγω των ανωτέρω δυσκολιών, το κόστος τους καθίσταται αρκετά υψηλό και ο χρόνος για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα μεγάλος. Κρίνεται, επομένως, επιτακτική η ανάγκη πρόληψης της ρύπανσης και η διαχείριση της υπάρχουσας. Η πρόληψη μπορεί να συμβεί μέσω της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που περιέχουν χρώμιο και άλλα τοξικά μέταλλα, μέσω ειδικών μεθόδων, ενώ η διαχείριση της υπάρχουσας ρύπανσης επιτυγχάνεται με τη δημιουργία αναγωγικών συνθηκών στο περιβάλλον ώστε το εξασθενές χρώμιο να μετατραπεί στο ζωτικό για τους οργανισμούς τρισθενές, μέσω διαδικασιών προσθήκης οργανικών ουσιών και δισθενούς σιδήρου στο περιβάλλον όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο **3.1.Οξειδωση – Αναγωγή χρωμίου**. Στην δεύτερη περίπτωση, θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν απομακρύνεται το χρώμιο, απλώς ανάγεται στην μη τοξική μορφή του. (Καββαδάς 2013, Οικονόμου 2009)

Για απομάκρυνση του χρωμίου από το περιβάλλον, η μόνη λύση είναι η μη απόρριψη χρωμιούχων αποβλήτων, δηλαδή η απομάκρυνση του χρωμίου από τα απόβλητα μέσω κατάλληλης επεξεργασίας. Η επεξεργασία των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων γίνεται με μια σειρά διαδικασιών, όμοια με αυτή των αστικών, που περιλαμβάνουν την προεπεξεργασία τους, την πρωτοβάθμια – δευτεροβάθμια και τριτογενή επεξεργασία τους. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας απομακρύνονται αντικείμενα που επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα μέσω των διαδικασιών της εσχάρωσης<sup>15</sup>, αμμοσυλλογής<sup>16</sup> και λιποσυλλογής<sup>17</sup>. Στην πρωτοβάθμια επεξεργασία σκοπός είναι η απομάκρυνση σημαντικού μέρους του οργανικού υλικού των λυμάτων σε σωματιδιακή μορφή. Στο στάδιο αυτό επιτυγχάνεται απομάκρυνση 50 - 65 % των αιωρούμενων στερεών και 25 - 40% του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου

<sup>15</sup> Εσχάρωση/Κοσκίνηση = Η πρώτη φυσική διεργασία που υφίστανται τα υγρά απόβλητα. Ο διαχωρισμός των στερεών από των κύριο όγκο των λυμάτων γίνεται κατά τη διέλευσή τους από κόσκινα.

<sup>16</sup> Αμμοσυλλογή / Εξάμμωση = Κατακρατάει υλικά μεγάλου ειδικού βάρους και διαμετρήματος μεγαλύτερου από 1,5 – 2 mm, κυρίως ανόργανα.

<sup>17</sup> Λιποσυλλογή = Στο στάδιο αυτό τα ελεύθερα και επιπλέοντα λιπαρά υλικά διαχωρίζονται από τα απόβλητα με διάγνωση βαρύτητας, όπου τα λιπαρά υλικά μικρότερου ειδικού βάρους από το νερό επιπλέουν στην επιφάνεια του διαχωριστή και εξαφρίζονται για επιπλέον επεξεργασία.

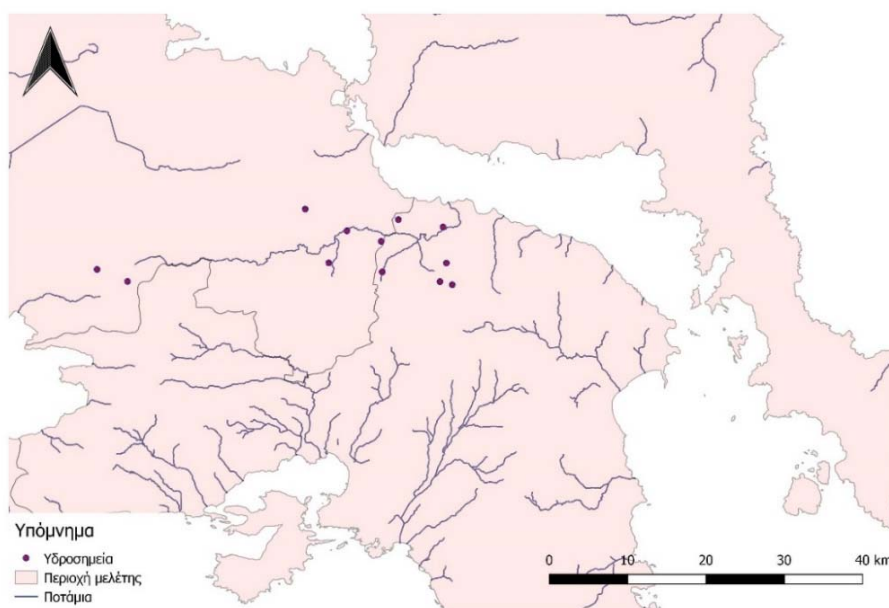
(BOD) μέσω της διαδικασίας της καθίζησης<sup>18</sup> και άλλων διεργασιών όπως η χημική κατεργασία με προσθήκη τρισθενούς θεικού σιδήρου. Η απομάκρυνση των ιόντων εξασθενούς χρωμίου γίνεται με αναγωγή προς τρισθενές χρώμιο με προσθήκη αναγωγικών όπως δισθενούς σιδήρου. Η διόρθωση του pH γίνεται με διαβίβαση CO<sub>2</sub> ή Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (σόδα). Όσον αφορά την δευτεροβάθμια επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει τεχνικές οξείδωσης και σταθεροποίησης όπου απομακρύνεται το μεγαλύτερο μέρος του BOD και των θρεπτικών. Η μέθοδος ενεργού ιλύος είναι η πιο γνωστή μέθοδος βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε αερόβιες συνθήκες για την αντιμετώπιση της οργανικής ύλης. Η μέθοδος αυτή μειώνει το BOD ως και 95%. Τέλος, με την τριτογενή επεξεργασία απομακρύνονται ενώσεις αζώτου και φωσφόρου που υπάρχουν στα εισερχόμενα στον ποταμό λύματα, μέσω των διαδικασιών της βιολογικής νιτροποίησης και απονιτροποίησης που επιτυγχάνεται με την εναλλαγή αερόβιων και ανοξικών συνθηκών (Σιοντόρου,2017).

Επίσης, εκτός από την επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων προτείνεται και η συστηματική παρακολούθηση των συγκεντρώσεων εξασθενούς χρωμίου στο νερό μέσω κατάλληλων οργάνων σε θέσεις που το νερό έχει ήδη ρυπανθεί από εξασθενές χρώμιο, καθώς και η παρακολούθηση άλλων τοξικών στοιχείων και παραμέτρων στα υπόγεια ύδατα, με σκοπό την εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας των μέτρων απορρύπανσης που εφαρμόζονται. Ήδη στην περιοχή υπάρχουν 23 υδροσημεία παρακολούθησης υπόγειων υδάτων που χρησιμεύουν στην ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση του ΥΥΣ Θηβών - Ασωπού- Σχηματαρίου, αρκετά από τα οποία έχουν χαρτογραφηθεί από το ΙΓΜΕ και απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη (**Σχήμα 20**) που προετοιμάστηκε σε πρόγραμμα QGIS 2.18.16. (Οικονόμου 2009,ΥΠΕΝ 2017).

---

<sup>18</sup> Καθίζηση = Κατακάθιση αιωρούμενων στερεών λόγω διαφοράς πυκνότητας μεταξύ των σωματιδίων και του υγρού. Η πρωτοβάθμια αυτή ιλύς που προκύπτει απομακρύνεται με την βοήθεια αντλιών.





**Σχήμα 20:** Χάρτης υδροσημείων παρακολούθησης υπόγειων υδάτων. Προετοιμασία σε QGIS 2.18.16. Δεδομένα από <http://www.igme.gr/geoportal/>

Τέλος, είναι απαραίτητο εκτός από την εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων αντιρρύπανσης, επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και περιβαλλοντικής παρακολούθησης, να αναθεωρηθούν οι όροι αδειοδότησης (περιβαλλοντικοί όροι) των υπαρχουσών βιομηχανιών και να βρίσκονται σε εναρμόνιση με την κοινοτική και εθνική νομοθεσία περί επικίνδυνων αποβλήτων (ΚΥΑ 13588/725/2006) και την οδηγία 2000/60/ΕΚ. (ΥΠΕΝ, 2016)

## 8. ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ – ΕΞΕΛΙΞΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν τρεις (3) διαφορετικές περιπτώσεις εξέλιξης του φαινομένου της ρύπανσης στην λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση, τις κλιματολογικές, τεχνολογικές και κοινωνικό - οικονομικές συνθήκες που προβλέπεται να επικρατήσουν στην περιοχή καθώς και βάσει άλλων επιστημονικών απόψεων επί του θέματος.

### **Περίπτωση 1:** Διατήρηση της βιομηχανικής δραστηριότητας

Υποθέτοντας ότι η βιομηχανία της περιοχής θα παραμείνει ως έχει, χωρίς να αυξηθούν ή να μειωθούν οι βιομηχανικές μονάδες και χωρίς να ληφθεί κάποιο επιπρόσθετο μέτρο αποκατάστασης ή πρόληψης της ρύπανσης, τα προβλήματα που υπάρχουν αναφορικά με την ρύπανση του εδάφους, του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα θα παραμείνουν. Προκειμένου λοιπόν να σταματήσει να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία των κατοίκων της περιοχής και γενικότερα του πληθυσμού που καταναλώνει γεωργικά προϊόντα της μελετώμενης περιοχής, θα πρέπει να αλλάξει το αγροτικό μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι οι καλλιέργειες κηπευτικών (λαχανικά, πατάτες κτλ.) θα πρέπει να απομακρυνθούν και να αντικατασταθούν από άλλου είδους καλλιέργειες όπως δενδροκαλλιέργειες που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Αυτή η θεωρία συμβαδίζει και με την εικόνα που θα επικρατεί στην περιοχή τις επόμενες δεκαετίες (2021-2050) λόγω των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή. Λαμβάνοντας υπόψιν την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5-2,5 °C στις χώρες των μεσαίων γεωγραφικών πλατών μεταξύ άλλων και στην Ελλάδα, με τις μεγαλύτερες αλλαγές να αναμένονται στην Στερεά Ελλάδα, την αύξηση των ξηρών περιόδων (κατά 20 επιπλέον μέρες), την μείωση του ύψους βροχής κατά 3-7% και την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων, συμπεραίνουμε ότι η γεωργική παραγωγή θα μειωθεί ελαφρώς και συγκεκριμένα θα μειωθούν οι ευαίσθητες καλλιέργειες της περιοχής (σκληρό σιτάρι, βαμβάκι), οι καλλιέργειες κηπευτικών θα μετατοπιστούν βορειότερα ενώ στις δενδροκαλλιέργειες θα υπάρξουν ουδέτερες έως θετικές επιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνολικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα επιφέρουν αύξηση του γεωργικού εισοδήματος κατά 2,92-13,37% του Α.Ε.Π<sup>19</sup> μέχρι το 2100. (Νίκα et al. 2015, Haney et al. 2015, Γεωργιοπούλου 2018)

### **Περίπτωση 2:** Μείωση της βιομηχανικής δραστηριότητας

<sup>19</sup> ΑΕΠ= Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

Στην περίπτωση αυτή, αν υποθεθεί ότι η βιομηχανική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού θα μειωθεί, η υφιστάμενη κατάσταση θα βελτιωθεί και η ρύπανση που υπάρχει σήμερα θα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμη. Συγκεκριμένα, η μείωση της βιομηχανίας συνεπάγεται μείωση των παραγόμενων τοξικών αποβλήτων. Η ευαισθητοποίηση των σύγχρονων βιομηχανιών για περιβαλλοντικά ζητήματα σε συνδυασμό με την τάση των τελευταίων χρόνων για επεξεργασία των αποβλήτων πριν αυτά απορριφθούν στο περιβάλλον και τη χρήση όσο τον δυνατόν πιο καινοτόμων τεχνολογιών στην παραγωγική διαδικασία για μείωση των παραγόμενων αποβλήτων, θα οδηγήσουν σε θετικά μακροπρόθεσμα αποτελέσματα τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ρύπανση θα μπορεί να διαχειριστεί ευκολότερα βάσει των τεχνολογικών εξελίξεων και εκτιμώντας συντηρητικά ότι η αποκατάσταση του εδάφους, του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα είναι εφικτή μέσω διαφόρων μεθόδων σε βάθος χρόνου (**βλ.7.1. Τεχνολογίες & Ενέργειες απορρύπανσης νερού στην Λεκάνη του Ασωπού**), το υπάρχον αγροτικό μοντέλο θα μπορούσε να παραμείνει ως έχει. Παρόλα αυτά η συσσώρευση ρυπαντών για δεκαετίες και η δυσκολία απομάκρυνσής τους με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, έχει δημιουργήσει ένα τοξικό περιβάλλον που ελλοχεύει κινδύνους για τον πληθυσμό και είναι δύσκολο να αγνοηθεί. Γι' αυτό το λόγο, η μείωση της βιομηχανικής δραστηριότητας από μόνης της δεν μπορεί να επιφέρει άμεσα παρά μόνο μακροπρόθεσμα αποτελέσματα συνδυαστικά με τις καινοτόμες τεχνολογικές εξελίξεις που θα βοηθήσουν στην αποκατάσταση της ρύπανσης και στην διαχείριση των παραγόμενων βιομηχανικών αποβλήτων.

### **Περίπτωση 3:** Αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας

Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η εξέλιξη του φαινομένου εάν αυξηθεί η βιομηχανική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού. Το σενάριο αυτό ενδέχεται να είναι καταστροφικό για την περιοχή εφόσον δεν ληφθούν μέτρα διαχείρισης της ρύπανσης. Η αύξηση των βιομηχανικών μονάδων και η συνεπαγόμενη αύξηση των παραγόμενων βιομηχανικών αποβλήτων θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση και ακόμα μεγαλύτερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Αυτό σημαίνει ότι η μόνη λύση θα ήταν η πλήρης απόλεση των υφιστάμενων καλλιεργειών (σιτάρι, οπωροφόρα, ελαιόδεντρα, λαχανικά, αμπελώνες κ.α.) – **Βλ. παράγραφο 4.4.1.Γεωργική Δραστηριότητα**, καθώς η παραμονή τους σε ένα τοξικό περιβάλλον και η κατανάλωση των καλλιεργούμενων ειδών από τους κατοίκους θα ενείχε μεγάλους κινδύνους. Επιπλέον, όπως

αναφέρθηκε και στην **παράγραφο 4.4.1.Γεωργική Δραστηριότητα**, αν συνεχιστεί η οικοπεδοποίηση της περιοχής μελέτης με σκοπό την χωροθέτηση νέων βιομηχανικών εγκαταστάσεων, το ποσοστό των τεχνητών επιφανειών που σήμερα φτάνει το 2% του συνόλου της λεκάνης απορροής θα αυξηθεί εις βάρος των καλλιεργούμενων γεωργικών εκτάσεων. Επομένως, τόσο η επέκταση των βιομηχανικών μονάδων όσο και οι κίνδυνοι που ελλοχεύει η παραμονή των καλλιεργειών σε ένα τέτοιο περιβάλλον, θα οδηγήσουν σε απομάκρυνση των καλλιεργειών. Η παραπάνω θεωρία επιβεβαιώνεται και από την μελέτη της Λοϊζίδου Μ., η οποία αναφέρει ότι όλοι οι βιομηχανικοί κλάδοι πλην των βιομηχανιών κλωστοϋφαντουργίας και δέρματος θα παρουσιάσουν αυξανόμενη δραστηριότητα στο μέλλον και συνεπώς θα αυξηθούν και τα απορριπτόμενα βιομηχανικά τους απόβλητα, εάν το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων της εκάστοτε βιομηχανίας δεν βελτιωθεί. Συγκεκριμένα, εν έτη 2009, η συνολική μέση ημερήσια παροχή υγρών αποβλήτων όλων των βιομηχανιών της περιοχής ανήλθε στα 7.605 m<sup>3</sup>/ day, ενώ για το 2019 η πρόβλεψη ήταν 10.445 m<sup>3</sup>/ day. Σε βάθος εικοσαετίας (2029+), η ημερήσια παροχή των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων προβλέπεται ότι θα φτάσει τα 15.441 m<sup>3</sup>/ day. (Loisidou, 2009)

## 9.ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική έγινε παρουσίαση των πηγών ρύπανσης του Ασωπού ποταμού και των υπόγειων υδροφόρων της λεκάνης απορροής του από το τοξικό εξασθενές χρώμιο, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκε και το περιβαλλοντικό πλαίσιο αναφορικά με το πρόβλημα της ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών της περιοχής, που υπήρξε απαραίτητο για την κατανόηση του μεγέθους της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και την λήψη κατάλληλων μέτρων για την διαχείριση και αποκατάσταση της υπάρχουσας ρύπανσης.

Ανακεφαλαιώνοντας, ο Ασωπός ποταμός έχει μήκος 57 km και απορρέει επιφανειακά σε μια λεκάνη έκτασης 721 km<sup>2</sup>. Τόσο τα επιφανειακά νερά όσο και οι υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες της λεκάνης καλύπτουν σημαντικές ανάγκες της ανθρώπινης δραστηριότητας. Παρόλα αυτά, από το 1969, η ανεξέλεγκτη βιομηχανική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής και η απόρριψη μη επεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα έχουν δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα ρύπανσης που ενέχουν κινδύνους τόσο για το περιβάλλον όσο και για την δημόσια υγεία. Η ρύπανση αυτή εντείνεται εκτός από την βιομηχανία και από την γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα της περιοχής. Τα χρωμιούχα απόβλητα των βιομηχανιών καθώς και τα χρωμιούχα εδαφοβελτιωτικά που αποπλένονται από τις επιφανειακές απορροές περιέχουν χρώμιο στην εξασθενή του μορφή που είναι ιδιαίτερα τοξική. Παράλληλα, το τρισθενές, μη τοξικό, χρώμιο που υπάρχει στο έδαφος είναι δυνατόν να οξειδωθεί σε εξασθενές μέσω φυσικών διεργασιών, όπως η παρουσία οξειδίων του Mn ή ο έντονος τεκτονισμός που διευκολύνει την αλληλεπίδραση των πετρωμάτων με το νερό. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διενεργήθηκαν το 2008 στην περιοχή του Ασωπού, κατέδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις εξασθενούς χρωμίου, πολύ υψηλότερες από τα θεσμοθετημένα όρια, γεγονός που αποδεικνύει ότι η ρύπανση είναι κατεξοχήν ανθρωπογενούς προέλευσης ιδίως στα επιφανειακά ύδατα και στα ανώτερα στρώματα του ρηχού προσχωματικού υδροφόρου ορίζοντα. Παράλληλα, αποδεικνύεται ότι η προέλευση του εξασθενούς χρωμίου στα κατώτερα στρώματα του προσχωματικού υδροφόρου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε γηγενή αίτια δηλαδή στα οφιολιθικά πετρώματα που εντοπίζονται στη λεκάνη και διεισδύουν σε βάθος τροφοδοτώντας με χρώμιο τα υπόγεια ύδατα.

Η κατάσταση αυτή φαίνεται να βελτιώνεται τα τελευταία χρόνια αλλά σαφώς το πρόβλημα εμμένει σε μεγάλο βαθμό και γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη η λήψη επιπρόσθετων μέτρων απορρύπανσης του περιβάλλοντος, επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που

απορρίπτονται από τις βιομηχανίες μέσω καινοτόμων μονάδων και μείωσης των αποβλήτων κατά την παραγωγική διαδικασία μέσω σύγχρονων τεχνολογιών. Η συστηματική παρακολούθηση μέσω κατάλληλων οργάνων είναι σημαντική για την εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας των μέτρων απορρύπανσης και την ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της λεκάνης απορροής του Ασωπού ποταμού.

Τέλος, εξετάστηκαν τρεις (3) διαφορετικές περιπτώσεις εξέλιξης του φαινομένου της ρύπανσης λαμβάνοντας υπόψιν την υφιστάμενη κατάσταση και τις μελλοντικές κλιματολογικές – τεχνολογικές και κοινωνικό οικονομικές συνθήκες που θα επικρατήσουν στην περιοχή σύμφωνα με επιστημονικές προβλέψεις. Σαφώς όμως, η περαιτέρω μελέτη και η συνεχής παρακολούθηση του φαινομένου είναι αναγκαία προκειμένου να διαφυλαχθεί ο φυσικός πλούτος της λεκάνης του Ασωπού και να αποτελέσει ένα βιώσιμο περιβάλλον τόσο για την χλωρίδα και την πανίδα όσο και για τον άνθρωπο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Αλεξόπουλος Ι., Λέκκας Σ. (2009), *Σημειώσεις Υδρογεωλογίας*, Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Γεωργιοπούλου Τ. (23/11/2018), *Στη δίνη της κλιματικής αλλαγής η Ελλάδα*, Διαθέσιμο στο: <https://www.yraithros.gr/klimatiki-allagi-pos-tha-epireasei-tin-ellada/> [Τελευταία αναζήτηση: 22/04/2019]

Γιαννουλόπουλος Π.(2008), *Αναγνωριστική υδρογεωλογική – υδροχημική έρευνα ποιοτική επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ασωπού Ν. Βοιωτίας.*, Αθήνα: Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών.

Δημαράς Α., Μαστρογιάννης Φ. (2010), *Αποτίμηση του κόστους ρύπανσης του Ασωπού ποταμού* (Διπλωματική εργασία), Αθήνα: Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π (2018), *Χρώμιο στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Ασωπού: τεχνολογίες και μέτρα αποκατάστασης*, Διαθέσιμο στο: [www.charm-life.gr](http://www.charm-life.gr)

Καββαδάς Μ.(2013), *Στοιχεία περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής: Κεφάλαιο 5 – Εξέλιξη της ρύπανσης*, Αθήνα: Εκδόσεις Τσότρας

Καλλιστράτου Κ. (2011), *Χρήση τεχνικών G.I.S για τη μελέτη της γεωμορφολογικής εξέλιξης της υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού.* (Διπλωματική εργασία), Αθήνα: Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Καραγιώργη Β. (2013), *Χαρακτηρισμός – Μοντελοποίηση και προσομοίωση του εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) στην περιοχή του Ασωπού ποταμού στην Βορειοανατολική Αττική.* (Διπλωματική εργασία), Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Καρακώστας Γ. (2011), *Προσδιορισμός Βαρέων μετάλλων σε ποτάμια και εκβολικά συστήματα: Η περίπτωση του Βοιωτικού Ασωπού* (Διπλωματική εργασία), Αθήνα: Τμήμα Χημείας, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κουτούπη Σ. (2016), *Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και μεταφοράς εξασθενούς χρωμίου στη βιομηχανική περιοχή των Οινοφύτων.* (Διπλωματική εργασία), Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.



Λιάτσου Ο. (2018), *Ασωπός: Προχωράει το σχέδιο δημιουργίας Επιχειρηματικού Πάρκου Ανάπτυξης*, Διαθέσιμο στο: <http://ecopress.gr/?p=9815> [Τελευταία αναζήτηση: 7/9/2018]

Μασούρα Γ.(2008), *Ρυπαντική υδροχημεία της Λεκάνης του ποταμού Ασωπού Νομού Βοιωτίας*, Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μιχαηλίδης Μ. (2015), *Βιολογική αναγωγή εξασθενούς χρωμίου* (Διδακτορική διατριβή), Αργίνιο: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών.

Νίκα Κ. (2014), *Φυσικογεωγραφική μελέτη της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού με έμφαση στην υδάτινη απορροή και στερεοπαροχή σε σχέση και με την αλλαγή του κλίματος*. (Διπλωματική εργασία), Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Νίκα Κ., Πούλος Σ., Γκουρνέλος Θ. και Νάστος Π. (2015), *Μελέτη της υδάτινης απορροής και στερεοπαροχής της λεκάνης του Βοιωτικού Ασωπού. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής.*, Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Οικονόμου Μ. (2008), *Αλληλεπίδραση του εξασθενούς χρωμίου στο σύστημα έδαφος – υδροφόρος ορίζοντας- φυτά της λεκάνη του Ασωπού: Δυνατότητες αντιμετώπισης*. Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Παλαιογιάννη – Μπέλλου Α. (2010) *Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και της μεταφοράς του εξασθενούς χρωμίου στην περιοχή του Ασωπού ποταμού, νομού Αττικής* (Διπλωματική εργασία), Χανιά: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Πανταζίδου Μ. (2017), *Σημειώσεις Μαθήματος Περιβαλλοντική Γεωτεχνική: Τεχνολογίες αποκατάστασης υπεδάφους*, Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Παπανικολάου Δ., (2015), *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκης.

Σιοντόρου Χριστίνα, (2017), *Σημειώσεις Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων – Επεξεργασία υγρών αστικών αποβλήτων & ανακύκλωση*, Αθήνα: Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά

Σιοντόρου Χριστίνα, (2017), *Σημειώσεις Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων – Μελέτες Περίπτωσης: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας*, Αθήνα: Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά

Σκαρπέλης Ν. (2006), *Σημειώσεις Κοιτασματολογίας*, Αθήνα: Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.

Τέττας Κ. (2012), *Γηγενές Χρώμιο στο υπόγειο νερό της χώρας με έμφαση στη λεκάνη απορροής του Ασωπού ποταμού*. (Διπλωματική εργασία), Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (2009), *Το πρόβλημα του Ασωπού ποταμού. Προτάσεις αντιμετώπισής του.*, Αθήνα

Τσάκου Κ. (2011), *Διερεύνηση φαινομένων ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων με χρώμιο* (Διπλωματική εργασία). Αθήνα: Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών – Περιβάλλον & Ανάπτυξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τσαμίλη Β. (2014), *Διερεύνηση των περιπτώσεων εμφάνισης ρύπανσης εξασθενούς χρωμίου Cr(VI) σε υδροφορείς της Ελλάδας. Περίπτωση μελέτης του Υδατικού Συστήματος των Δυτικών Γερανείων με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων*. (Μεταπτυχιακή εργασία), Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Σώμα Επιθεώρησης Περιβάλλοντος Δόμησης Ενέργειας και Μεταλλείων (ΣΕΠΔΕΜ) - Επιθεώρηση Νοτίου Ελλάδος (2016), Αθήνα

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017), *1<sup>η</sup> Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών απορροής ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07)/ ΣΜΠΕ*, Αθήνα

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Επιθεώρησης Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2010), *Ενημέρωση επιτροπής υδάτινων πόρων της Βουλής – Περιοχές περιβαλλοντικού κινδύνου : Ασωπός, Μεσσαπία, Πηγειός* [σελ.6, 20, 22], Αθήνα., Διαθέσιμο στο: <https://dokumen.tips/documents/-568bd5ab1a28ab2034994d92.html> [Ημερομηνία πρόσβασης: 4/1/2019]

Χίου Ε. (2014), *Φυσικοχημική συμπεριφορά γηγενούς χρωμίου στο Γεωπεριβάλλον* (Διπλωματική εργασία). Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μελέτη Πανελληνίου Κέντρου Οικολογικών Ερευνών (2018), Διαθέσιμη στο: [http://oikologikoblog.blogspot.com/2018/04/blog-post\\_20.html](http://oikologikoblog.blogspot.com/2018/04/blog-post_20.html) [Ημερομηνία πρόσβασης: 9/05/2019]

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Copernicus Land Monitoring Service, *Corine Land Cover 2012*, Available at: <https://land.copernicus.eu/sitemap> [Last update: 11/10/2018]

Dokou Z, Karagiorgi V, Karatzas G, Nikolaidis N, Kalogerakis N. (2015), *Large scale groundwater flow and hexavalent chromium transport modeling under current and future climatic conditions: The case of Asopos River Basin*, Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5771-1> [Downloaded: 20/11/2018]

Haney N., Cohen S. (2015), *Predicting 21<sup>st</sup> century global agricultural land use with a spatially and temporally explicit regression based model*, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.010> [Downloaded: 10/04/2019]

Kaprara E., Kazakis N., Simeonidis K., Coles S., Zouboulis A.I., Samaras P. and Mitrakas M. (2014), *Occurrence of Cr(VI) in drinking water of Greece and relation to the geological background*, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.084> [Downloaded: 7/9/2018]

Kazakis N., Kantiranis N., Voudouris K.S., Mitrakas M., Kaprara E., Pavlou A. (2015), *Geogenic Cr oxidation on the surface of mafic minerals and the hydrogeological conditions influencing hexavalent chromium concentrations in groundwater*, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.080> [Downloaded: 7/9/2018]

Lillia M.A, Moraetis D., Nikolaidis N., Karatzas G. and Kalogerakis N. (2014), *Characterization and mobility of geogenic chromium in soils and riverbed sediments of Asopos basin.*, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.037> [Downloaded: 7/9/2018]

Loizidou, M. (2009), *Integrated management of industrial wastes and waste waters of the broader area of Oinofita- Schimatari*. National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering. Project assigned by the Hellenic Environmental Inspectorate (HEI) of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MoEECC).

Panagopoulos I., Karayannis A., Kollias K., Xenidis A., Papassiopi N. (2014), *Investigation of potential soil contamination with Cr and Ni in fourmetal finishing facilities at Asopos industrial area*, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.040> [Downloaded: 7/9/2018]

Vasilatos Ch., Megremi I., Economou – Eliopoulos M. and Mitsis I. (2008), *Hexavalent chromium and other toxic elements in natural waters in the Thiva – Tanagra – Malakasa Basin, Greece.*, Athens: Department of Economic Geology & Geochemistry, Faculty of Geology & Geoenvironment, University of Athens.

#### ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Χαρτογραφική πύλη ΙΓΜΕ: <http://www.igme.gr/geoportal/>

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Κλιματικά δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα): [http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology\\_city](http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_city)

Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (Δημογραφικά Δεδομένα περιόδου 1961-2001, Εθνικός κατάλογος χρήσεων γης): <http://www.statistics.gr/>