

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



Πτυχιακή εργασία

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΤΩΝ ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΩΝ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ
ΛΕΥΚΩΣΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ

Δημήταρ Σταμάτοβ

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή εργασία

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΤΩΝ ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΩΝ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΤΗΣ
ΛΕΥΚΩΣΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ

Δημήταρ Σταμάτοβ

Σύμβουλος καθηγητής
Δρ. Κώστας Αντρέου

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Δημήτρης Σταμάτος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβάλλοντα μου καθηγητή Δρ. Κώστα Αντρέου, ειδικό εκπαιδευτικό προσωπικό στο Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστήμιου Κύπρου για την πολύτιμη βοήθεια και την επιστημονική του υποστήριξη κατά την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής. Όπως επίσης και για την εμπιστοσύνη του που μου έδειξε κατά την εκτέλεση του πειραματικού μέρους. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την συνάδελφο μου την Άντρια Ευσταθίου για την συνεργασία της και την υπομονή της κατά την εκπόνηση του πειραματικού κομματιού αυτής της πτυχιακής διατριβής. Ευχαριστώ επίσης το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης για την προσφορά των δειγμάτων.

«Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι αφιερωμένη στην μητέρα μου που μέσω των δυσκολιών της ζωής κατάφερε να με μεγαλώσει και να με σπουδάσει. Σ' ευχαριστώ πολύ μάμα.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εργασία γίνεται αξιολόγηση των ΠΑΥ (Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες) στα αστικά εδάφη της Λευκωσίας στην Κύπρο. Αρχικά γίνεται διερεύνηση διάφορων μεθόδων ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης από τις οποίες γίνεται επιλογή της καταλληλότερης και η εφαρμογή της στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση δειγμάτων από αστικά εδάφη περιοχής της Λευκωσίας, συγκεκριμένα από τις περιοχές των Λατσιών και του Γερίου. Πρόκειται για μια μελέτη που γίνεται για πρώτη φορά στην Κύπρο με θέμα την ρύπανση αστικών εδαφών. Η καταλληλότερη μέθοδος φάνηκε να είναι η μέθοδος της εκχύλισης με ανακίνηση σε συνδυασμό με την Αέρια Χρωματογραφία. Πραγματοποιήθηκε λήψη 5 g από κάθε δείγμα εδάφους τα οποία μεταφέρθηκαν σε πλαστικούς σωλήνες Teflon. Ακολούθησε η προσθήκη των οργανικών διαλυτών DCM (20 mL) και ακετόνης (5 mL). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη μέθοδος του EPA 8100 για την ανάλυση των ΠΑΥ με GC για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των ΠΑΥ σε κάθε δείγμα. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως, σε κάποιες περιοχές υπάρχουν ενδείξεις υψηλών συγκεντρώσεων ΠΑΥ. Στην περιοχή των Λατσιών το δείγμα 02-03 έχει τις μέγιστες συγκεντρώσεις για τους περισσότερους ΠΑΥ (65,38 ppm), όμως στην περιοχή 4 βρέθηκε η μέγιστη συγκέντρωση των συνολικών ΠΑΥ (141,42 ppm). Αντίστοιχα στο Γέρι το δείγμα 25-03 έχει τις υψηλότερες ενδείξεις μέγιστων συγκεντρώσεων για τους περισσότερους ΠΑΥ (176,21 ppm) και η περιοχή 25 να υπερνικά τις υπόλοιπες περιοχές με την μέγιστη συνολική συγκέντρωση των ΠΑΥ (195,58 ppm). Από την μελέτη αυτή φαίνεται ότι οι ΠΑΥ είναι πάρων στα αστικά εδάφη της Λευκωσίας γεγονός που ενδεικνύει την ύπαρξη τους και σε άλλα αστικά κέντρα. Έτσι, δεδομένου ότι οι ΠΑΥ είναι επικίνδυνοι για την υγεία, κρίνεται σημαντική η ανάγκη της έρευνας στις άλλες περιοχές της Κύπρου όπως επίσης και ο καθορισμός ορίων για τους ΠΑΥ στο έδαφος και εν τέλει περαιτέρω αξιολόγηση αυτού του είδους ρύπανσης. Σημαντικό στοιχείο ως τρόπος αντιμετώπισης είναι και μελλοντική διερεύνηση μεθόδων απορρύπανσης των περιοχών αυτών.

Λέξεις κλειδιά: Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες, εκχύλιση, Αέρια Χρωματογραφία, Αστικό έδαφος

ABSTRACT

In this thesis a research is conducted about the contamination of urban soils by the PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). The most appropriate method for the quantitative and qualitative analysis of the PAHs amongst other methods reviewed to analyze soil samples scattered across two areas of Nicosia, Latsia and Yeri in Cyprus. The appropriate method appeared to be the method of extraction by shaking, combined with the use of the Gas Chromatography. This is the first study regarding the existence of PAHs in urban soils in Cyprus. As far as it concerns the lab work, 5g of each soil sample received were transferred to plastic Teflon tubes, followed by the addition of the organic solvents DCM (20 mL) and Acetone (5 mL). Then the modified EPA method 8100 was used for the analysis of the PAHs via Gas Chromatography for the qualitative and quantitative determination of PAH in each sample. Compared to published standards, the experimental results indicated that in some areas the concentrations of PAHs are very high. At the Latsia area, the sample 02-03 had the highest concentrations for most PAHs (65,38 ppm), but region 4 had the total maximum concentration of PAHs (141,42 ppm). Yeri respectively in the sample 25-03 has the maximum concentration for most PAHs (176,21 ppm) and the region 25 has the highest total concentration of PAHs of all the samples analyzed (195,58 ppm). This study is a proof that PAHs do exist in Cyprus soils and therefore measures should be taken such as the investigation of other urban areas, the setting of limits for the PAHs acceptable concentrations and decontamination methods should be used as a workaround for these areas.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, extraction, Gas Chromatography, Urban Soil

,

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	viii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	x
2 ΡΥΠΑΝΣΗ.....	1
2.1 Ρύπανση εδάφους	1
2.1.1 Επιπτώσεις ρύπανσης εδάφους.....	2
2.2 Σημαντικότεροι ρύποι περιβάλλοντος.....	4
3 ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (ΠΑΥ)	5
3.1 Σχηματισμός ΠΑΥ	5
3.2 Ιδιότητες των ΠΑΥ.....	7
3.2.1 Φυσικές ιδιότητες	7
3.2.2 Χημικές ιδιότητες.....	7
3.3 Κατάταξη των ΠΑΥ με βάση την δραστικότητα τους.....	8
3.4 Οι ΠΑΥ στο έδαφος	9
3.5 Συμπεριφορά ΠΑΥ στο περιβάλλον	11
3.6 Συμπεριφορά των υδρογονανθράκων στο έδαφος	13
3.7 Συμπεριφορά ΠΑΥ στις τροφές	13
3.8 Επιπτώσεις των ΠΑΥ στον ανθρώπινο οργανισμό	14
3.9 Σκοπός	15
4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ.....	16

4.1	Δειγματοληψία εδάφους.....	16
4.2	Μέτρηση εδαφικής υγρασίας	16
4.3	Εκχύλιση φαινανθρένιου (PHE).....	17
4.3.1	Παρασκευή δειγμάτων εδάφους-PHE.....	17
4.3.2	Εκχύλιση με την μέθοδο Soxhlet (SOX).....	17
4.3.3	Εκχύλιση με την μέθοδο ανακίνησης.....	19
4.4	Εκχύλιση των ΠΑΥ από τα αστικά δείγματα εδάφους της Λευκωσίας.....	20
4.5	Μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας.....	20
5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	24
5.1	Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	24
5.1.1	Ανάλυση των 16 ΠΑΥ κάθε δείγματος για κάθε περιοχή με την μέθοδο της Αέριας Χρωματογραφίας	25
5.2	Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	33
5.2.1	Ανάλυση των συνολικών ΠΑΥ κάθε περιοχής με την μέθοδο της Αέριας Χρωματογραφίας.....	34
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
7	Μελλοντική Έρευνα.....	39
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πινάκας 1: Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους και νερού στην Ολλανδία (2000)...11

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Χρωματογράφημα των 16 ΠΑΥ σε συνάρτηση με τον χρόνο έκλουσης.....	21
Γραφήματα 1: Καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε ουσία του πρότυπου δείγματος της περιοχής.....	22
Γραφήματα 2: Συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Λατσιών.....	25
Γραφήματα 3: Συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Γερίου.....	29
Γραφήματα 4: Συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ της περιοχής Λατσιών.....	34
Γραφήματα 5: Συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ της περιοχής Γερίου.....	36

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΠΑΥ:	Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
(ace):	Ακεναφθένιο
(acy):	Ακεναφθυλένιο
(ant):	Ανθρακένιο
(baa):	Βενζο(a)ανθρακένιο
(bzp):	Βενζο(g,h,i)περυλένιο
(bap):	Βενζο(a)πυρένιο
(bbf):	Βενζο(b)φλουορανθένιο
(bkf):	Βενζο(k)φλουορανθένιο
(dba):	Διβένζο(a,h)ανθρακένιο
(ind):	Ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο
(nap):	Ναφθαλένιο
(pyr):	Πυρένιο
(phe):	Φαινανθρένιο
(flu):	Φλουορανθένιο
(fla):	Φλουορένιο
(chr):	Χρυσένιο
DCM:	Διχλωρομεθάνιο
GC:	Αέριος Χρωματογράφος (Gas Chromatography)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έδαφος

Τα φυσικά εδάφη αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των αιώνων ως αποτέλεσμα φυσικών χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Μέσα στην μεγάλη αυτή χρονική διάρκεια το έδαφος έχει δεχθεί την επίδραση εξωγενών παραγόντων και κυρίως μεταβολές του κλίματος που έχουν παρατηρηθεί κατά το διάστημα αυτό. Ενώ λοιπόν κάτω από τις συνθήκες αυτές το έδαφος έως πριν από μερικές δεκάδες χρόνια εξελισσόταν ανάλογα με τις συνθήκες του φυσικού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, πλέον λιγότερο ή περισσότερο έχει αρχίσει να δέχεται μεγάλο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Carson, 1981).

Για δισεκατομμύρια χρόνια το έδαφος αποτελεί το «σπίτι» μας. Παρόλα αυτά τους τελευταίους δύο αιώνες ο άνθρωπος με τις ενέργειες του έχει καταστρέψει τους φυσικούς πόρους. Τα υδάτινα συστήματα και το έδαφος χαρακτηρίζονται οι κυριότεροι αποδέκτες της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιοτεχνικές, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες ρυπαίνουν το έδαφος σε μεγάλο βαθμό. Τα στερεά και υγρά απόβλητα αρχικά επεξεργάζονται και εναποτίθενται σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Κτηνοτροφικά και γεωργικά απόβλητα, φυτοφάρμακα και λιπάσματα ρυπαίνουν τις καλλιεργημένες εκτάσεις. Τα ατυχήματα και οι διαρροές πετρελαίου, τα απόβλητα των ορυχείων και των λατομείων είναι μερικές αιτίες της ρύπανσης του εδάφους.

Τέλος, το έδαφος γίνεται αποδέκτης των ατμοσφαιρικών ρύπων που κατακρημνίζονται σύμφωνα με τη γεωμορφολογία και τις συνθήκες των περιοχών. Τα εδάφη μπορούν να διαχωριστούν σε φυσικά και αστικά με βάση την γεωγραφία τους και άλλα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παρακάτω.

Φυσικά εδάφη

Τα **φυσικά εδάφη** τα οποία αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια των αιώνων είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών. Το έδαφος μέσα σε μια μεγάλη χρονική διάρκεια έχει δεχθεί επίδραση από εξωγενείς παράγοντες και κυρίως από τις διάφορες μεταβολές του κλίματος. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το έδαφος πριν από μερικά χρόνια εξελισσόταν ανάλογα με τις συνθήκες του φυσικού ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

Πλέον άλλοτε λιγότερο ή περισσότερο έχει αρχίσει να δέχεται μεγάλο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (**Carson, 1981**).

Ο άνθρωπος θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας μεταβολής του εδάφους και αρκετές φορές χαρακτηρίστηκε πιο σημαντικός από τους φυσικούς παράγοντες που είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ του κλίματος, των οργανισμών, των τοπογραφικών συνθηκών, του μητρικού υλικού και του χρόνου (**Ματζίρης, 2011**).

Η ιστορία της χρήσης της γης στις πόλεις είναι συχνά δύσκολο να προσδιοριστεί. Η συνεχής αλλαγή χρήσεων γης και η μεταφορά υλικών πλήρωσης μπορεί να αντικατοπτριστεί στη παρουσία υλικών τα οποία ρυπαίνουν τα διάφορα στρώματα εδάφους. Η αστική ανάπτυξη που συνδέεται με την παρουσία βιομηχανικών δραστηριοτήτων μέσα στον αστικό ιστό οδηγεί σε ρύπανση με ένα ή περισσότερα υλικά (**Thornton, 1991**).

Σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό των αστικών εδαφών παίζει η γεωγραφία και η φυσική εγγύτητα σε μια αστική περιοχή. Έτσι παρόλο που υπάρχουν εδάφη τα οποία έχουν πολλά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που περιγράφονται στα αστικά εδάφη δεν μπορούμε να τα χαρακτηρίσουμε αστικά αφού βρίσκονται εκτός των αστικών περιοχών.

Αστικά εδάφη

Σύμφωνα με τον **Bockheim (1974)** αστικό έδαφος χαρακτηρίζεται ένα εδαφικό υλικό μη γεωργικό, με ανθρωπογενή επιφάνεια πάχους μεγαλύτερου των 50 cm η οποία έχει παραχθεί με την ανάμιξη, πλήρωση ή ρύπανση της εδαφικής επιφάνειας σε αστικές περιοχές.

Ο **Barret (1987)** αναφερόμενος στις αστικές περιοχές υποστηρίζει πως χαρακτηρίζονται από την παρουσία μεγάλου αριθμού κτιρίων, δρόμων κ.λ.π. που σχηματίζουν ένα στεγανό αδιαπέραστο κάλυμμα στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του εδάφους. Στις επιφάνειες των αστικών περιοχών περιλαμβάνονται (**Thornton, 1991**):

1. Δημόσια πάρκα και κήποι.
2. Ιδιωτικοί κήποι, πρασιές κτηρίων και μη οικοδομήσιμα οικόπεδα.
3. Χώροι παιχνιδιού (παιδικές χαρές και διάφορα γήπεδα).
4. Κοιμητήρια.
5. Αδιαμόρφωτοι ή εγκαταλελειμμένοι χώροι.
6. Γεωγραφικές εκτάσεις εντός του αστικού ιστού.
7. Εδάφη σιδηροδρομικών γραμμών.

8. Αστικές δασικές εκτάσεις και άλση.
9. Χώροι εναπόθεσης απορριμμάτων.
10. Παραποτάμια ή παρόχθια εδάφη, και εδάφη καναλιών.
11. Λωρίδες πρασίνου παράλληλα των δρόμων.

Τα εδάφη που καλύπτουν τους παραπάνω χώρους παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ποιότητας της ζωής και του αστικού περιβάλλοντος των κατοίκων στις πόλεις (**Biasioli et al., 2006**).

Χαρακτηριστικά αστικών εδαφών

Τα αστικά εδάφη εμφανίζουν τα παρακάτω **γενικά χαρακτηριστικά (Craul, 1985)**:

- Εκτεταμένη κατ' έκταση (οριζόντια) και κατά βάθος (κάθετη) μεταβλητότητα.
- Συμπύεση και υποβάθμιση της δομής του εδάφους.
- Παρουσία επιφανειακής κρούστας σε επιφάνειες γυμνού εδάφους που εμφανίζουν υδροφοβικές ιδιότητες.
- Αλλαγή του pH του εδάφους με αύξουσα συνήθως τάση.
- Περιορισμός και μείωση του αερισμού και της αποστράγγισης.
- Διακοπή του κύκλου των θρεπτικών στοιχείων και τροποποίηση του πληθυσμού των οργανισμών που ζουν στο εδαφικό περιβάλλον, καθώς και της δραστηριότητάς τους.
- Παρουσία υλικών από ανθρώπινες δραστηριότητες, καθώς και άλλων ρύπων.
- Τροποποίηση και αλλαγή της θερμοκρασιακής κατάστασης του εδάφους.

Οι **Patterson et al. (1980)** εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών αναφέρουν επιπρόσθετα τη χημική μεταβλητότητα, την παρουσία, στο εδαφικό προφίλ, χαλικιών και λίθων χωρίς συγκεκριμένο προσανατολισμό ή διάταξη, τη δημιουργία απροσδιόριστης μορφής ριζικού συστήματος και έλλειψη δραστηριότητας γαιοσκωλήκων.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σχετίζονται και ευθύνονται για τα ειδικά προβλήματα που συναντούμε στα αστικά εδάφη. Αυτά διαχωρίζουν και διαφοροποιούν το έδαφος που συναντούμε στις αστικές περιοχές με το φυσικό έδαφος το οποίο είναι αποτέλεσμα της φυσικής διαδικασίας ενδογένεσης.

2 ΡΥΠΑΝΣΗ

Η λέξη «**ρύπανση**» έχει μπει στην καθημερινότητά μας μόλις τις τελευταίες δεκαετίες γιατί η ρύπανση σαν φαινόμενο είναι αποτέλεσμα του «πολιτισμού». Σήμερα, ένα μεγάλο μέρος του επιστημονικού κόσμου ασχολείται με όλα τα θέματα που έχουν να κάνουν με τη ρύπανση, όπως τη διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων, τις σχετικές υποδομές, την ανακύκλωση, την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ρύπανσης (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.4**).

Με τον όρο «**ρύπανση**», εννοούμε την παρουσία ρύπων στο περιβάλλον (δηλαδή κάθε είδους ουσίας, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας) σε τέτοια ποσότητα, που πιθανόν να προκληθούν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν ακατάλληλο το περιβάλλον (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.5**).

Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η μόλυνση είναι μια μορφή ρύπανσης. Συγκεκριμένα, «**μόλυνση**» ονομάζεται ή μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον οι οποίοι δηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών. Οι μορφές ρύπανσης οι οποίες επηρεάζουν περισσότερο τη ζωή μας σήμερα και πρέπει άμεσα να αντιμετωπιστούν είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ρύπανση των εδαφών και η ρύπανση των θαλασσών (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.5**).

2.1 Ρύπανση εδάφους

Ρύπανση εδάφους ονομάζουμε τη συγκέντρωση ρυπογόνων ουσιών σε αυτό σε ποσότητες που αλλοιώνουν τη σύσταση του, προκαλούν βλάβες στους οργανισμούς και διαταραχές στα φυσικά οικοσυστήματα. Ένας ρύπος μπορεί να καταλήξει απ' ευθείας στο έδαφος μετά την παραγωγή του ή να καταλήξει εκεί μέσω του αέρα ή του νερού (με τη ροή των επιφανειακών νερών ή τη βροχή) (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.10**).

Ο όρος ρύπανση του εδάφους αναφέρεται στη μείωση που παρουσιάζει η ικανότητα του εδαφικού οικοσυστήματος να επιτελέσει τις βασικές λειτουργίες του, σαν αποτέλεσμα της εναπόθεσης που έχουν οι οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Η ρύπανση του εδάφους αναφέρεται στην χημική υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους της ευρύτερης έννοιας του

όρου υποβάθμιση. Οι διάφορες φυσικές διεργασίες (φυσικοί ρύποι) μπορεί να προέρχονται από χημικές ουσίες που προκαλούν τη ρύπανση του εδάφους ή να είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων π.χ. ανθρωπογενείς ρύποι. Η είσοδος ρύπων στο έδαφος συνδέεται άμεσα με την ρύπανση των νερών.

2.1.1 Επιπτώσεις ρύπανσης εδάφους

Οι **επιπτώσεις από τη ρύπανση** του εδάφους συνήθως εμφανίζονται αργότερα από τη στιγμή της ρύπανσης αφού κάθε ουσία που διασκορπίζεται στο έδαφος καταλήγει στα τροφικά δίκτυα των οικοσυστημάτων. Προχωρώντας στις τροφικές αλυσίδες οι ρύποι δημιουργούν το φαινόμενο της βιολογικής συσσώρευσης.

Οι οργανισμοί που έχουν απορροφήσει κάποιο ρύπο από το έδαφος, π.χ. ένα φυτό, θα χρησιμεύσουν ως τροφή για άλλους οργανισμούς, όπως ένα φυτοφάγο ζώο. Αυτό στη συνέχεια θα φαγωθεί από ένα σαρκοφάγο ζώο, το οποίο θα συσσωρεύσει το ρύπο στους ιστούς του σε μεγαλύτερες ποσότητες. Η ουσία-ρύπος θα συγκεντρωθεί σε ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες σε οργανισμούς παμφάγους που τρέφονται συγχρόνως και με φυτά και με ζώα, όπως ο άνθρωπος. Μέσω της τροφικής αλυσίδας, οι ρύποι μεταφέρονται από τα κατώτερα τροφικά επίπεδα στα ανώτερα και η σταδιακή συσσώρευση τους είναι μεγάλη όσο το τροφικό επίπεδο είναι ψηλό (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.11**).

Η ρύπανση του εδάφους προέρχεται από τα φυτοφάρμακα, λιπάσματα, τα στερεά απόβλητα (απορρίμματα), τα βιομηχανικά απόβλητα και ραδιενεργά κατάλοιπα, αλλά και από τον μηχανισμό της όξινης βροχής. Τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση των φυτοφαρμάκων (παρασιτοκτόνων, αντιβιοτικών, εντομοκτόνων, αυξητικών ορμονών στα φυτά, κ.ά.) παρουσιάζει μεγάλη αύξηση και στόχο έχει την αύξηση της απόδοσης της καλλιεργήσιμης γης (**Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.12**).

Η ολοένα και αυξανόμενη χρήση τους δεν άργησε να αναδείξει τις **αρνητικές επιπτώσεις** της κατάχρησης, αφού τα περισσότερα είναι ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις και εμφανίζουν μεγάλο βαθμό βιολογικής συσσώρευσης στους οργανισμούς. Τα **φυτοφάρμακα** μετά τη χρήση τους συνήθως υφίστανται μια σειρά διεργασιών όπως υδρόλυση, οξειδωση, διάσπαση, εξάτμιση, μεταφορά κ.ά., και έχει σαν αποτέλεσμα να ρυπαίνεται το νερό και το έδαφος και να εμφανίζονται σε ψηλά επίπεδα στα τρόφιμα και το ανθρώπινο σώμα. Προξενούν χρόνιες δηλητηριάσεις, σοβαρές διαταραχές στη λειτουργία του νευρικού

συστήματος ενώ ορισμένα από αυτά έχουν και καρκινογόνο δράση. Σχεδόν σε όλους τους οργανισμούς υπάρχουν σήμερα ίχνη φυτοφαρμάκων.

Παρόλο που έχουν περάσει πάνω από 20 χρόνια από την απαγορευμένη χρήση τους πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι ακόμα και σήμερα, ανιχνεύονται σε εδάφη και ζώα ποσότητες χλωριωμένων εντομοκτόνων, όπως το DDT. Η ρύπανση του εδάφους από τα φυτοφάρμακα, έχει προχωρήσει πολύ και ακόμα και αν σταματήσει η χρήση τους, η επαναφορά του εδάφους στην κανονική του κατάσταση απαιτεί χρόνο και τεράστια χρηματικά ποσά (Θεοδωρακάκης, 2013, σελ.13).

Τα **στερεά απόβλητα**, τόσο τα οικιακά όσο και τα βιομηχανικά, ρυπαίνουν το έδαφος με τις επικίνδυνες χημικές ενώσεις που περιέχουν ενώ με τη διάλυση και τη μεταφορά των ενώσεων αυτών οι ρύποι διασκορπίζονται σε μεγάλες αποστάσεις. Πολύ επικίνδυνα είναι τα στερεά απόβλητα που περιέχουν βαρέα μέταλλα όπως υδράργυρος (Hg), μόλυβδος (Pb), ψευδάργυρος (Zn), κάδμιο (Cd), νικέλιο (Ni), χαλκός (Cu), Αρσενικό (As) κ.ά. Τα χημικά στοιχεία των οικιακών και των βιομηχανικών στερεών απόβλητων εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες στο έδαφος. Παρόλα αυτά η τοξικότητα τους αυξάνεται εξαιρετικά από τη βιολογική τους συσσώρευση και την είσοδο τους στις τροφικές αλυσίδες. Στους ανώτερους οργανισμούς όπως ο άνθρωπος, πολλά πουλιά, θηλαστικά και μεγάλα ψάρια παρατηρούνται συγκεντρώσεις μετάλλων ανώτερες κατά χιλιάδες φορές από τις συγκεντρώσεις των ίδιων στοιχείων που υπάρχουν στο έδαφος.

Η διάθεση των απορριμμάτων, είναι ένα μεγάλο ζήτημα που αφορά τη ρύπανση του εδάφους. Η ανεξέλεγκτη **διάθεση των απορριμμάτων** σε σκουπιδότοπους και χωματερές, συνιστά έναν κίνδυνο. Στη χώρα μας εξακολουθούν να υπάρχουν σήμερα περισσότεροι από 1.500 τέτοιοι χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων. Η επιστημονικές και τεχνολογικές έρευνες προσπαθούν να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα των στερεών αποβλήτων με πολλούς τρόπους, όπως για παράδειγμα την ανακύκλωση μερικών υλικών (χαρτί, μέταλλο, πλαστικό, γυαλί), υγειονομική ταφή, άλεση και πολτοποίηση, λιπασματοποίηση και με την καύση των απορριμμάτων. Ιδιαίτερα τοξικά, επικίνδυνα και μολυσματικά είναι τα απορρίμματα των νοσοκομείων. Συνήθως τα απορρίμματα αυτά μεταφέρονται χωριστά ή καίγονται σε ειδικούς κλιβάνους για να προστατευτεί η δημόσια υγεία.

Τα **ραδιενεργά κατάλοιπα** θεωρούνται επικίνδυνα γιατί δημιουργούν σοβαρά προβλήματα σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο. Προέρχονται από τις πυρηνικές εγκαταστάσεις (π.χ. πυρηνικά εργοστάσια), τις πυρηνικές δοκιμές και τη χρήση πυρηνικών

όπλων και μεταφέρονται από το έδαφος στα φυτά. Το πέρασμα τους στις τροφικές αλυσίδες και η βιολογική τους συσσώρευση αποτελούν εφιαλτική απειλή για κάθε ζωντανό οργανισμό και κυρίως για τα ανώτερα ζώα και τον άνθρωπο. Είναι γνωστό πως προκαλούν καρκίνο και γενετικές μεταλλάξεις. Η εξόρυξη, οι πυρηνικές δοκιμές, η παραγωγή και χρήση πυρηνικών καυσίμων και η επεξεργασία ουρανίου, είναι οι κύριες αιτίες δημιουργίας ραδιενεργών καταλοίπων.

Η **όξινη βροχή**, προκαλεί φυσική και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων, στο έδαφος γεγονός που ενθαρρύνει την απελευθέρωση βαρέων μετάλλων. Τα μέταλλα αυτά στη συνέχεια περνούν στα νερά και το έδαφος και έτσι επηρεάζουν άμεσα τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών και των φυτών. Επίσης, η όξινη βροχή προσβάλλει το ριζικό σύστημα των φυτών εξουδετερώνοντας οργανισμούς που προσλαμβάνουν άζωτο (π.χ. τα αζωτοβακτηρίδια) και άλλα χρήσιμα συστατικά όπως ασβέστιο και νάτριο.

Στη θέση τους εμφανίζονται τοξικά βαρέα μέταλλα όπως π.χ το αλουμίνιο και έτσι επηρεάζεται η λειτουργία της φωτοσύνθεσης και η καρποφορία των φυτικών οργανισμών. Με αυτό τον τρόπο αποδυναμώνονται οι μηχανισμοί άμυνας των φυτών απέναντι στην ξηρασία, τον παγετό, τα παράσιτα και τα έντομα, και μοιραία τα φυτά ξεραίνονται.

2.2 Σημαντικότεροι ρύποι περιβάλλοντος

Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες, όπως μαρτυρά και η ονομασία τους, αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα. Παρουσιάζουν χαμηλή πολικότητα και μικρή διαλυτότητα στο νερό (υδρόφοβες ουσίες), σε αντίθεση με τους οργανικούς διαλύτες, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλή διαλυτότητα (λιπόφιλες ουσίες).

Οργανικά προϊόντα/ρύποι

Τα περισσότερα προϊόντα/παράγωγα αυτής της κατηγορίας είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης ανάπτυξης. Πρόκειται δηλαδή για χημικές ενώσεις που εμφανίστηκαν στο περιβάλλον τις τελευταίες δεκαετίες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (PCBs, PBBs), καθώς και διάφορα οργανοχλωριωμένα προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα.

3 ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (ΠΑΥ)

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) είναι οργανικές ενώσεις, οι οποίες αποτελούνται από συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτύλιους. Εξαιτίας της τοξικότητας που παρουσιάζουν, αλλά και της ευρείας διάδοσης τους στο περιβάλλον, συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ερευνητών και αποτελούν αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης. Δεκαέξι από αυτούς έχουν χαρακτηριστεί ως ρύποι άμεσης προτεραιότητας από την Υπηρεσία Προστασίας των ΗΠΑ (**Καραγκιοζίδου, 2014, σελ:6**).

Οι ΠΑΥ είναι στερεοί υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως. Αυξανόμενου του μοριακού βάρους και του μεγέθους της ενώσεως, αυξάνει το σημείο ζέσεως ενώ η διαλυτότητα στο νερό και η πίεση ατμών φθίνουν. Τόσο η διαλυτότητα στο νερό όσο και η πίεση των ατμών είναι σχετικά χαμηλές ακόμη και για τις ενώσεις υψηλότερου μοριακού βάρους και εξαιρετικά χαμηλές για τις ενώσεις υψηλότερου μοριακού βάρους. Κατά συνέπεια, όταν θερμά αέρια καύσεως εισέρχονται στην ατμόσφαιρα και ψύχονται οι υπάρχοντες ΠΑΥ συμπυκνώνονται και σχηματίζουν σωματίδια μικρού μεγέθους.

Μια άλλη σημαντική ιδιότητα των ΠΑΥ είναι η αυξημένη διαλυτότητα τους σε λιποειδείς ουσίες, όπως τα χουμικά οξέα των ιζημάτων και των εδαφών, και στις αποθήκες λίπους των ζωντανών οργανισμών. Λόγω της λιπόφιλης φύσης τους, τείνουν να βιοσυσσωρευτούν σε εκτεθειμένους οργανισμούς (**La Dou, 1997**).

3.1 Σχηματισμός ΠΑΥ

Οι ΠΑΥ σχηματίζονται από κορεσμένους υδρογονάνθρακες σε συνθήκες ανεπάρκειας οξυγόνου, κατά τις διαδικασίες πυρόλυσης ή ατελούς καύσης. Η συγκεκριμένη κάθε φορά θερμοκρασία, επηρεάζει το μίγμα των ΠΑΥ που σχηματίζεται (**Ravindra et al., 2008, Wild and Jones, 1995**). Ο μηχανισμός (ή οι μηχανισμοί) σχηματισμού των ΠΑΥ κατά την ατελή οργανική καύση δεν έχει εξηγηθεί επαρκώς. Σε γενικές γραμμές, πρόκειται για ένα συνδυασμό δύο αντιδράσεων: πυρόλυσης και πυροσύνθεσης. Σε υψηλές θερμοκρασίες, οι

οργανικές ενώσεις διασπώνται μερικώς, σε μικρότερου μοριακού βάρους ασταθή προϊόντα (πυρόλυση).

Τα προϊόντα αυτά, που είναι κυρίως ρίζες, επανασυνδέονται, για να σχηματίσουν μεγαλύτερους και σταθερότερους αρωματικούς υδρογονάνθρακες (πυροσύνθεση) (**Lee *et al.*, 1981**).

Θερμοκρασίες φλόγας υψηλότερες των 500 °C και άφθονο οξυγόνο προκαλούν την πλήρη καύση των υδρογονανθράκων. Σε αυτή την θερμοκρασία σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες που αντιδρούν με περίσσεια οξυγόνου οξειδώνοντας πλήρως τον άνθρακα και το υδρογόνο προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό αντίστοιχα. Απουσία επαρκούς οξυγόνου και λόγω ανεπαρκούς ανάμειξης των ελεύθερων ριζών με το οξυγόνο, πολλά οργανικά θραύσματα των αρχικών υδρογονανθράκων αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας πλήθος ΠΑΥ.

Ο τύπος και η ποσότητα των σχηματιζόμενων ΠΑΥ εξαρτάται από τη φύση του οργανικού υλικού, την ποσότητα του οξυγόνου, τη θερμοκρασία και το χρόνο καύσεως. Στην ζώνη καύσεως οι ΠΑΥ εκπέμπονται ως αέρια στην ατμόσφαιρα αλλά συμπυκνώνονται γρήγορα είτε μεταξύ τους είτε πάνω σε σωματίδια καπνιάς και παραμένουν αιωρούμενοι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτή η διαδικασία παράγει ένα μίγμα εκατοντάδων ΠΑΥ όπου υπερτερούν οι ενώσεις που περιέχουν τρεις ή τέσσερις δακτύλιους ενώ αυτές που περιέχουν τέσσερις έως έξι είναι εν δυνάμει καρκινογόνες με σημαντικότερο εκπρόσωπο τους το βενζο(α)πυρένιο. Η παρουσία των ΠΑΥ συχνά περιγράφεται με βάση την ουσία αυτή (**Κομηνού και Δόντα 2003**).

Κατά την καύση οι οργανικές ενώσεις του καυσίμου θραυματοποιούνται σε μικρότερα σταθερά μόρια (ελεύθερες ρίζες), που μπορούν να αντιδράσουν, μέσω διάφορων χημικών αντιδράσεων, και να σχηματιστεί ο πρώτος αρωματικός δακτύλιος. Αντιδράσεις αυτού του αρωματικού δακτυλίου με μικρά μόρια (2 ή 3 ατόμων άνθρακα), καταλήγουν στο σχηματισμό αρωματικού συστήματος και τελικώς στις σταθερές δομές των πολλών δακτυλίων (**Lima *et al.*, 2005, Χρυσικού, 2009**).

Έχουν προταθεί τρεις πιθανοί μηχανισμοί για το σχηματισμό των ΠΑΥ κατά την καύση: αργή συμπύκνωση Diels-Alder, γρήγορες αντιδράσεις ριζών και αντιδράσεις ιόντων. Ωστόσο, υπερισχύει ο μηχανισμός σχηματισμού με τις ελεύθερες ρίζες, καθώς μετατίθενται πολύ γρήγορα, δίνοντας το μηχανισμό σχηματισμού και ανάπτυξης των ΠΑΥ. Στη συνέχεια,

η προσθήκη ριζών σε χαμηλότερου μοριακού βάρους ΠΑΥ, οδηγεί μέσω άλκυλο-ΠΑΥ στο σχηματισμό μεγαλύτερου μοριακού βάρους ΠΑΥ (**Ravindra et al., 2008**).

3.2 Ιδιότητες των ΠΑΥ

3.2.1 Φυσικές ιδιότητες

Όλοι οι ΠΑΥ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος βρίσκονται σε στερεά μορφή. Οι ΠΑΥ είναι οι λιγότερο πτητικοί από τους υδρογονάνθρακες και τα σημεία ζέσεως τους είναι πολύ υψηλότερα από των n-αλκανίων με τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα.

Οι μεγάλες σχετικές μοριακές μάζες καθώς και η έλλειψη πολικών υποκατάστατων στα μόρια τους, τους καθιστά δυσδιάλυτους στο νερό (**Καραγκιοζίδου, 2014, σελ:9**).

3.2.2 Χημικές ιδιότητες

Οι ΠΑΥ ταξινομούνται χημικά στις σχετικά αδρανείς ενώσεις, γεγονός που εξηγεί π.χ. την ευρεία κατανομή του περυλενίου και των διαφόρων αλκυλοπαραγωγών του φαινανθρενίου στη γεώσφαιρα. Οι αντιδράσεις που δίνουν είναι κυρίως αντιδράσεις ηλεκτρονιόφιλης αρωματικής υποκατάστασης και όχι προσθήκης, γιατί υπάρχει η τάση διατήρησης των κυκλικών συζυγιακών συστημάτων (**Καραγκιοζίδου, 2014, σελ:9**).

Παρόλο που υπάρχουν αρκετές εκατοντάδες πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, οι περισσότερες μελέτες αφορούν σε έναν περιορισμένο αριθμό τους, τους επονομαζόμενους δεκαέξι πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες προτεραιότητας της Εταιρίας Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Εθνών (EPA priority PAHs) (**Γεωργαντά, 2004, σελ: 5**).

Η παρουσία τους προκαλεί σοβαρή ανησυχία για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, καθώς μερικοί από αυτούς, όπως το βενζο(8)πυρένιο και το βενζο(8)ανθρακένιο, αποδείχτηκε ότι έχουν καρκινογόνες και μεταλλαξιογόνες ιδιότητες (**Santodonato, 1997**). Αυτοί καταγράφονται από την Εταιρία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Εθνών και την Ευρωπαϊκή Κοινότητα ως «ρύποι προτεραιότητας» (**Γεωργαντά, 2004, σελ: 7**).

Επιπλέον, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες επανεξετάζονται τώρα ως πιθανά συνθετικά οιστρογόνα, καθώς κύρια συστατικά τους εμφανίζουν παρόμοια δομή με φυσικά οιστρογόνα όπως την οιστραδιόλη (**Santodonato, 1997**). Έτσι, μεγάλη προσοχή έχει επικεντρωθεί πλέον στις πιθανές βιολογικές επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία.

3.3 Κατάταξη των ΠΑΥ με βάση την δραστηριότητά τους

Οι ΠΑΥ, βρίσκονται ανάμεσα στους πιο σημαντικούς περιβαλλοντικούς μολυντές εξαιτίας της δραστηριότητάς τους. Μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων, αποδείχθηκε πως είναι τοξικοί, για αυτό και αποτελούν αντικείμενο έρευνας. Αξιοσημείωτο είναι πως ο πολυαρωματικός υδρογονάνθρακας βένζο(α)πυρένιο είναι η πρώτη χημική ένωση που χαρακτηρίστηκε ως καρκινογόνος ένωση (**Awata et al., 1998, Bakker et al., 2004**).

Η τοξικότητα μιας ουσίας, αναφέρεται στην ικανότητα της να προκαλεί βλάβες σε ζωντανούς οργανισμούς, καθώς επίσης και να δημιουργεί καρκινογόνες δράσεις. Όπως αναφέρεται η έκθεση πειραματόζωων σε ΠΑΥ, είναι αλληλένδετη με την εμφάνιση τοξικών δράσεων στο αναπαραγωγικό σύστημα, στο καρδιαγγειακό σύστημα, στο συκώτι, στο μυελόν των οστών, με την αναστολή της δράσης του ανοσοποιητικού συστήματος, αλλά και με την πρόκληση καρκίνου (**Flowers et al., 2002, Yuan et al., 2001**). Εκτενείς μηχανιστικές έρευνες έδειξαν ότι κάποιοι ΠΑΥ είναι εντελώς καρκινογενείς. Με τον όρο αυτό εννοείται πως δεν προκαλείται απλά καρκίνος μέσω αλλαγής του DNA, αλλά προωθείται επηρεάζοντας την ικανότητα πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων (**Flowers et al., 2002**).

Αρκετοί ΠΑΥ, μετά από την απελευθέρωση τους στην ατμόσφαιρα, δεσμεύονται στα φυτά, κάνοντας έτσι πολύ πιο εύκολη την πρόσληψή τους από τον άνθρωπο. Οι ΠΑΥ, μετά την εισαγωγή τους στον μικροοργανισμό, κατανέμονται στους λιπώδεις ιστούς. Αυτό που επηρεάζει την δράση τους είναι ο χρόνος και ο τρόπος έκθεσης σε αυτούς, καθώς επίσης το φύλο και η ηλικία του δέκτη (**Awata et al., 1998**).

Οι δεκαέξι ενώσεις που περιλαμβάνονται από την EPA (USEnvironmentalProtectionAgency) στη λίστα των κυριότερων ρύπων είναι οι εξής: ακεναφθένιο (ace), ακεναφθυλένιο (acy), ανθρακένιο (ant), βενζο(α)ανθρακένιο (baa), βενζο(g,h,i)περυλένιο (bzp), βενζο(α)πυρένιο (bap), βενζο(b)φλουορανθένιο (bbf), βενζο(k)φλουορανθένιο (bkf), διβένζο(a,h)ανθρακένιο (dba), ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο (ind), ναφθαλένιο (nap), πυρένιο (pyr), φαινανθρένιο (phe), φλουορανθένιο (flu), φλουορένιο (fla) και χρυσένιο (chr).

3.4 Οι ΠΑΥ στο έδαφος

Η συγκέντρωση των ΠΑΥ στο έδαφος εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες που προαναφέρθηκαν, την χαμηλή διαλυτότητα στο νερό και τους υψηλούς συντελεστές οκτανόλης νερού, γεγονός που τους καθιστά πιο ανθεκτικούς κατά την διαδικασία αποδόμησης τους στο περιβάλλον (**Johnson et al., 2005**). Με την διοχέτευση τους στο έδαφος, προσλαμβάνονται τόσο από την υδατική φάση (όσοι είναι περισσότερο διαλυτοί), όσο και από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και έτσι η βιοαποδόμησή τους εξαρτάται από τα ποσοστά που διαλύονται στην υδατική φάση.

Οι τυπικές συγκεντρώσεις σε ένα δασικό έδαφος κυμαίνονται από 5 μg σε 100 μg/kg. Σημαντικές ποσότητες των ΠΑΥ μεταφέρονται στο δασικό έδαφος από φυτικά υπολείμματα, καθώς πολλοί ΠΑΥ από τον αέρα προσφέρονται σε οργανικά υλικά, όπως τα φύλλα και οι βελόνες των δέντρων (**Γεωργαντά, 2004, σελ: 8**).

Το μείζων θέμα που απασχολεί τους επιστήμονες, όσον αφορά στην αποδόμηση των υδρόφοβων οργανικών ρύπων και στην οικοτοξικότητα που προκαλούν στο εδαφικό περιβάλλον, είναι η βιοδιαθεσιμότητα του ρύπου (**Heitzer et al., 1992**).

Η πορεία και η συμπεριφορά του οργανικού ρύπου, όπως η φαινανθρίνη, στο έδαφος εξαρτώνται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των εδαφικών χαρακτηριστικών, των ιδιοτήτων του ρύπου, της διαδικασίας απορρόφησής του και περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία. Η πιθανή τύχη των ρύπων αφού εισέλθουν στο εδαφικό περιβάλλον εξαρτάται από τις παρακάτω διεργασίες: διάχυση στα υπόγεια νερά, βιοαποδόμηση, εξάτμιση στον αέρα, δέσμευση στη στερεή φάση του εδάφους και μεταφορά στους εδαφικούς οργανισμούς (**Jones et al., 1996**).

Οι ΠΑΥ έχουν διάρκεια παραμονής στο έδαφος πολύ μεγαλύτερη από ότι στην ατμόσφαιρα (**Τσιανάκας, 2010**). Τα ποσοστά των ΠΑΥ που θα παραμείνουν στο έδαφος, εξαρτώνται από τον ρυθμό βιοαποδόμησης της βακτηριακής κοινότητας. Στο έδαφος, η κατανάλωση υποστρώματος από τα κύτταρα γίνεται σε ταχύτερους ρυθμούς από ότι στα υδατικά συστήματα. Όμως οι ΠΑΥ σαν υπόστρωμα για τους μικροοργανισμούς δεν λειτουργούν το ίδιο αφού οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να καταναλώσουν τους ΠΑΥ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην αναπτύσσονται αλλά να βρίσκονται σε μια ψευδομόνιμη κατάσταση, όπου αρχικά οι εναπομείναντες μικροοργανισμοί θα καταναλώνουν τα σάπια κύτταρα. Η υδατική διαλυτότητα και κατά συνέπεια η βιολογική διαθεσιμότητα των ΠΑΥ,

αυξάνεται λογαριθμικά με την αύξηση της μοριακής τους μάζας (**Northcott and Jones, 2000**).

Μόλις οι ΠΑΥ δεσμευτούν στο έδαφος, τότε αυτό θεωρείται ρυπασμένο. Με βάση τα ποσά ρύπανσης που προκαλείται, τα εδάφη κατηγοριοποιούνται σε ασθενές ρυπασμένα εδάφη, σε ρυπασμένα εδάφη και σε βαριά ρυπασμένα εδάφη (**Xiao Ping et al., 2007**).

Οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις που οδηγούν στη δέσμευση των οργανικών ρύπων στην εδαφική οργανική ύλη περιλαμβάνουν δεσμούς υδρογόνου, ανταλλαγή προσδετών, και σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών με αλληλεπίδραση των διαφορετικών λειτουργικών ομάδων. Έτσι, λοιπόν, η οργανική ύλη του εδάφους έχει αποδειχθεί ότι παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία σχηματισμού δεσμευμένων κατάλοιπων.

Τα ισχυρώς δεσμευμένα τμήματα των οργανικών ρύπων στο έδαφος είναι αρκετά σταθερά στο περιβάλλον και αποτελούν μια από τις δυσκολότερες προκλήσεις στην προσπάθεια για εξυγίανση των ρυπασμένων περιοχών (**Alexander, 1991, Scow, 1993**). Η παραμονή και υπολειμματικότητα σημαντικών ποσοτήτων οργανικών ρύπων στο έδαφος έχει προταθεί ότι σχετίζεται με την υψηλή λιποφιλικότητα τους (**Cerniglia, 1992**). Παρόλα αυτά, ακόμη και τα μη βιοδιαθέσιμα τμήματα των ρύπων μπορούν να ανακτηθούν εφαρμόζοντας εξαντλητική εκχύλιση με οργανικούς διαλύτες (**Kelsey and Alexander, 1997**). Η εκτίμηση του κινδύνου των περιβαλλοντικών ρύπων βασίζεται πλέον στη συγκέντρωση των χημικών που εξάγονται από το έδαφος με εξαντλητικές μεθόδους (**USEnvironmentalProtectionAgency, 1992**).

Η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας δεσμευμένων ρύπων μπορεί να υφίσταται στα πλαίσια αργών ρυθμών αποδέσμευσής τους ή περιορισμού στη μαζική μεταφορά τους. Πράγματι, οι υδρόφοβοι ρύποι επιδεικνύουν πολύ αργούς ρυθμούς αποδέσμευσης από το έδαφος, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το αποτέλεσμα της εξυγίανσης (**Luthy et al., 1997**).

Η Αμερικανική Κοινότητα Ελέγχου και Υλικών (**AmericanSocietyforTestingandMaterials (ASTM) 1998**) όρισε τη βιοδιαθεσιμότητα ως ένα μέτρο που δείχνει το ποσοστό του χημικού, που μας ενδιαφέρει στο περιβάλλον, το οποίο είναι διαθέσιμο και άμεσα προσβάσιμο από έναν οργανισμό για απορρόφηση.

Στον πιο κάτω πίνακα καταγράφονται οι μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις ΠΑΥ στο έδαφος και στο νερό στην Ολλανδία (2000), αυτό είναι το λεγόμενο DUTCH LIST:

Πίνακας 1: Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους και νερού στην Ολλανδία (2000)

	EARTH/SEDIMENT (mg/kg dry matter)		GROUNDWATER (µg/l in solution)	
	target value	intervention value	target value	intervention value
II Inorganic compounds				
cyanides-free	1	20	5	1500
cyanides-complex (pH<5) ¹	5	650	10	1500
cyanides-complex (pH ≥5)	5	50	10	1500
thiocyanates (sum)	1	20	-	1500
bromide (mg Br/l)	20	-	0.3 mg/l ²	-
chloride (mg Cl/l)	-	-	100 mg/l ²	-
fluoride (mg F/l)	500 ³	-	0.5 mg/l ²	-
III Aromatic compounds				
benzene	0.01	1	0.2	30
ethyl benzene	0.03	50	4	150
toluene	0.01	130	7	1000
xylenes	0.1	25	0.2	70
styrene (vinyl benzene)	0.3	100	6	300
phenol	0.05	40	0.2	2000
cresols (sum)	0.05	5	0.2	200
catechol(o-dihydroxybenzene)	0.05	20	0.2	1250
resorcinol(m-dihydroxybenzene)	0.05	10	0.2	600
hydroquinone(p-dihydroxybenzene)	0.05	10	0.2	800
IV Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)				
PAH (sum 10) ^{4,14}	1	40	-	-
naphthalene			0.01	70
anthracene			0.0007*	5
phenatrene			0.003*	5
fluoranthene			0.003	1
benzo(a)anthracene			0.0001*	0.5
chrysene			0.003*	0.2
benzo(a)pyrene			0.0005*	0.05
benzo(ghi)perylene			0.0003	0.05
benzo(k)fluoranthene			0.0004*	0.05
indeno(1,2,3-cd)pyrene			0.0004*	0.05

3.5 Συμπεριφορά ΠΑΥ στο περιβάλλον

Οι δασικές πυρκαγιές και η ηφαιστειακή δραστηριότητα θεωρούνται οι κυριότερες πηγές εκπομπής ΠΑΥ. Οι ανθρωπογενείς πηγές των ΠΑΥ είναι πιο πολλές και περιλαμβάνουν την καύση πετρελαίου και τα προϊόντων του, τις διάφορες βιομηχανικές

διαδικασίες (διύλιση πετρελαίου, παραγωγή κωκ, χαλυβουργία, παραγωγή αλουμινίου), και την αποτέφρωση των απορριμμάτων.

Οι ΠΑΥ πιθανόν να εμφανιστούν εκεί όπου γίνεται χρήση προϊόντων πίσσας (πεζοδρομίων, χώρων στάθμευσης) και πρόσφατα εξετάζεται το ενδεχόμενο της επιβάρυνσης των φυσικών υδάτων, προϊόντων αυτού του είδους. Η παρουσία ΠΑΥ στους βιομηχανικής κλίμακας αποτεφρωτήρες απορριμμάτων επιβάλλει τακτική ανάλυση της τέφρας. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις των ΠΑΥ στην τέφρα είναι ανεπιθύμητες και αποδεικνύουν ατελή καύση λόγω ελαττωματικής λειτουργίας.

Με την απελευθέρωση τους στο περιβάλλον οι ΠΑΥ μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και προσκολλούνται στα αιωρούμενα σωματίδια (καπνιά). Στα σωματίδια λόγω της πορώδους φύσης τους, προσροφούνται και εγκλωβίζονται διάφορες τοξικές χημικές ουσίες (π.χ. ενώσεις τοξικών μετάλλων, νιτροζαμίνας, διοξίνες, κ.λπ.). Οι ΠΑΥ εξατμίζονται εύκολα από το νερό και τα εδάφη.

Οι ΠΑΥ μεταφέρονται με τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και τα πετρελαιοειδή και βιομηχανικά λάδια σε διάφορα υδάτινα συστήματα. Ως εξαιρετικά δυσδιάλυτες ενώσεις που είναι στο νερό, διαλύονται στα λιπιδικά τμήματα του σώματος που έχουν οι ζωντανοί οργανισμοί. Μια από τις αιτίες καρκινογένεσης θεωρείται η συσσώρευση των ΠΑΥ στα λιπαρά τμήματα ενός οργανισμού.

Λόγω της ελάχιστης διαλυτότητας που παρουσιάζουν στο νερό, ένα μεγάλο τμήμα των ΠΑΥ κατακάθεται στον πυθμένα των ποταμών και των λιμνών. Ορισμένοι μικροοργανισμοί έχουν την ικανότητα να διασπασουν τους ΠΑΥ στο νερό ή στο έδαφος μερικές εβδομάδες μετά.

Οι ΠΑΥ έχουν την ικανότητα να διασπαστούν συνδυάζοντας την επίδραση του ηλιακού φωτός και του οξυγόνου ή κάποιων άλλων οξειδωτικών παραγόντων π.χ. του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου σε περίοδο λίγων ημερών. Για το βενζο(α)πυρένιο έχουν αναφερθεί οι ακόλουθοι χρόνοι υποδιπλασιασμού: 37 πρώτα λεπτά, 7 ημέρες και 22 ώρες (αντιστοίχως) κατά την αντίδρασή του με τα οξειδωτικά αυτά.

3.6 Συμπεριφορά των υδρογονανθράκων στο έδαφος

Οι υδρογονάνθρακες καταλήγουν στο έδαφος είτε μέσω της υγρής και ξηρής εναπόθεσής τους, είτε μέσω διασποράς υπολειμμάτων πετρελαίου αλλά και απευθείας από τις δραστηριότητες της καύσης τους.

Κατά τη δέσμευση των υδρογονανθράκων στο έδαφος, κάποιιοι από αυτούς μπορεί να προσληφθούν από διάφορους μικροοργανισμούς του εδάφους με αποτέλεσμα τη βιοαποδόμηση τους, ενώ άλλοι που έχουν υψηλή διαλυτότητα θα προσληφθούν από την υδατική φάση. Με τη δέσμευση των υδρογονανθράκων στο έδαφος, το συγκεκριμένο έδαφος καθίσταται ρυπασμένο. Λόγω της ετερογενούς μορφής του το έδαφος αυξάνει το φαινόμενο διάχυσης των ρύπων διαμέσου των κατώτερων στρωμάτων του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την μείωση της βιοαποικοδόμησης τους και την αύξηση του χρόνου παραμονής τους στο έδαφος, αφού η βιοαποικοδόμηση τους εξαρτάται από τον μικροβιακό πληθυσμό, την πληθυσμιακή πυκνότητα, καθώς και από το ποσοστό δέσμευσης των υδρογονανθράκων από την υδατική φάση.

3.7 Συμπεριφορά ΠΑΥ στις τροφές

Η επιμόλυνση των τροφών με ΠΑΥ προκύπτει κατά τη διάρκεια των διαδικασιών υποκαπνισμού, αποξήρανσης τροφίμων, θέρμανσης ή λόγω της περιβαλλοντικής ρύπανσης, ιδιαίτερα στα ψάρια. Σύμφωνα με την προστασία που κάνει η δημόσια υγεία, ο καθορισμός των μέγιστων επιτρεπτών επιπέδων για το βενζο(a)πυρένιο σε μερικά τρόφιμα, τα οποία περιέχουν λίπη και έλαια αλλά και στα τρόφιμα τα οποία παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα επιμόλυνσης είναι απαραίτητος και οφείλεται στις διαδικασίες υποκαπνισμού ή αποξήρανσης.

Όσον αφορά τα τρόφιμα θα πρέπει να θεσπιστούν επιτρεπτά επίπεδα που να δείχνουν τα υψηλά επίπεδα επιμόλυνσης που πιθανό να οφείλονται σε περιβαλλοντική ρύπανση, ιδιαίτερα στα ψάρια και στα προϊόντα αλιείας, που πιθανό να ρυπαίνονται λόγω διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα.

Τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα αναφέρονται στο τμήμα τροφίμων και ισχύουν για μεταποιημένα, αραιωμένα, τρόφιμα πιθανό με τη χρήση ενός παράγοντα αραιώσης ή ακόμα λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές αναλογίες των συστατικών που υπάρχουν στο σύνθετο προϊόν. Για το βενζο(a)πυρένιο έχει καθιερωθεί ένα όριο 1 μg/kg για νωπά προϊόντα όπως

και για τα παρασκευάσματα της πρώτης και δεύτερης βρεφικής ηλικίας. Όσον αφορά τρόφιμα τα οποία έχουν υποστεί τις διαδικασίες του καπνίσματος, της θέρμανσης και της ξήρανσης με καπνό ή ψησίματος σε κάρβουνα ή τη σχάρα, έχουν οριστεί όρια (τυπικά: 1-10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΚ) αρ. 1881/2006.

Οι ΠΑΥ αναφέρονται στα καυσαέρια των βενζινοκίνητων ραβδιστικών μηχανημάτων, στο χώρο ελαιοεκφόρτωσης των αυτοκινήτων όπου ξεφορτώνουν ελιές και "βγάζουν" το λάδι τους. Σε ορισμένα βιολογικά ελαιουργεία απαγορεύεται στα αυτοκίνητα η είσοδος στους χώρους ελαιοποίησης.

3.8 Επιπτώσεις των ΠΑΥ στον ανθρώπινο οργανισμό

Οι ΠΑΥ βρίσκονται παντού στο αστικό περιβάλλον. Έτσι, οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν σε ΠΑΥ μέσω:

- **Της διαδικασίας της αναπνοής**, αναπνέοντας: α) αέρα κοντά σε βιομηχανίες που παράγουν πίσσα ή κάρβουνο, ή σε περιοχές που εφαρμόζεται πισσόστρωση ή καύση κάρβουνου, β) τον καπνό του τσιγάρου, γ) τον καπνό από καύση ξυλείας, δ) τις εξατμίσεις των οχημάτων και ε) αναθυμιάσεις από ασφαλτοστρωμένους δρόμους όπως και αλλού.
- **Της κατανάλωσης τροφών**, καταναλώνοντας τρόφιμα (κυρίως κρέατα) που είναι ψημένα στη σχάρα, στο φούρνο ή τηγανισμένα σε υψηλές θερμοκρασίες και γενικά οποιαδήποτε τροφή, στην οποία έχει γίνει εναπόθεση ΠΑΥ κατά τη διάρκεια της παρασκευής ή της επεξεργασίας της (π.χ. καπνιστά τρόφιμα).
- **Με δερματική επαφή**. Υψηλά επίπεδα έκθεσης παρατηρούνται σε εργαζόμενους σε βιομηχανίες, μεταξύ άλλων, που ασχολούνται με την παραγωγή αλουμινίου, την παραγωγή κωκ, την παραγωγή καρβιδίων του ασβεστίου, σε θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, αλλά και σε εργαζόμενους που ασχολούνται με την κατασκευή πεζοδρομίων και μόνωση ταρατσών με πίσσα και εργαζόμενους που έχουν έμμεση επαφή με αιθάλη όπως καπνοδοχοκαθαριστές. Η έκθεση σε βενζο(a)πυρένιο σε αυτές τις βιομηχανίες μπορεί να φτάσει τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε αντίθεση με την έκθεση στο ατμοσφαιρικό αέρα, όπου η τυπική συγκέντρωση είναι λίγα νανογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα. Τα υψηλότερα επίπεδα έκθεσης μέσω της αναπνοής σε βενζο(a)πυρένιο, που έχουν αναφερθεί έχουν μετρηθεί στην βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου κατά τη χρησιμοποίηση της διαδικασίας Soderberg.

Όσο αφορά τις επιπτώσεις των ΠΑΥ στον ανθρώπινο οργανισμό και υγεία προκύπτει ότι εξαρτώνται κυρίως από το μέγεθος της έκθεσης (π.χ. χρονικό διάστημα) τη συγκέντρωση των ΠΑΥ κατά τη διάρκεια της έκθεσης, την τοξικότητα των ΠΑΥ και τη διαδρομή της έκθεσης π.χ. μέσω της εκπνοής, της κατάποσης ή της δερματικής επαφής. Πολλοί άλλοι παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις επιπτώσεις στην υγεία (πχ ηλικία).

Βραχυπρόθεσμη έκθεση εργατών σε ΠΑΥ μέσω της διεργασίας της αναπνοής παρατηρήθηκαν σκιάσεις στους πνεύμονες, διάχυση του υγρού των πνευμόνων, πόνους στο στήθος, ερεθισμούς στο λαιμό και βήχας. Επίσης σε εκτεταμένη έκθεση τους έχει παρατηρηθεί μια σειρά προβλημάτων όπως αυξημένος κίνδυνος καρκίνου των πνευμόνων, του δέρματος, και του γαστρεντερικού συστήματος.

Σύμφωνα με τους **AI-Saleh et al. (2013)** έχουν ανιχνευτεί ορισμένοι ΠΑΥ στον πλακούντα εγκύων και υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορούν να επηρεάσουν παράγοντες που καθορίζουν τις εκβάσεις των γεννήσεων ενώ έχει διαπιστωθεί ότι μερικά παράγωγα των ΠΑΥ (PQ, 1-NP, και 1-AP) και το πυρένιο μπορεί να προκαλέσουν κυτταροτοξικότητα και την αύξηση της έκφρασης φλεγμονωδών πρωτεϊνών σε ανθρώπινα βρογχικά κύτταρα (**Koike et al., 2014**).

Γενικά μόλις οι ΠΑΥ εισέλθουν στο σώμα μπορούν να εξαπλωθούν και να στοχεύσουν τους λιπώδεις ιστούς. Τα όργανα που πλήττονται περιλαμβάνουν τα νεφρά και το ήπαρ. Εντούτοις οι ΠΑΥ απομακρύνονται από το σώμα μέσω των ούρων και των κοπράνων σε διάστημα μερικών ημερών.

Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από μελέτες στον άνθρωπο για τις συνέπειες που μπορούν να προκύψουν από την έκθεση σε μεμονωμένους ΠΑΥ σε ορισμένα επίπεδα. Ωστόσο η εισπνοή από την έκθεση σε μεμονωμένους ΠΑΥ και η επαφή τους με το δέρμα φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με τον καρκίνο στον άνθρωπο .

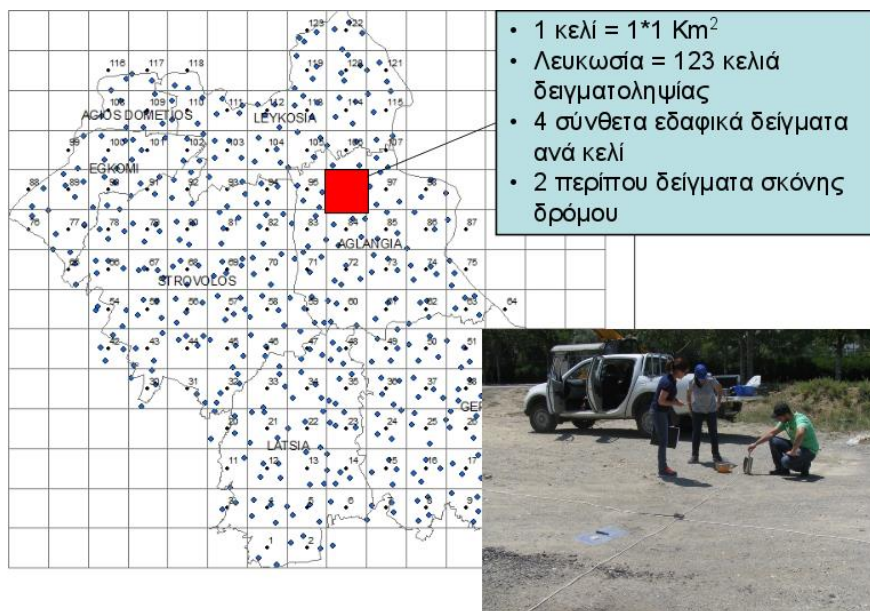
3.9 Σκοπός

Ο σκοπός της έρευνας αυτής ήταν μια πρώτη προσπάθεια για τα κυπριακά δεδομένα όσο αφορά την διερεύνηση διάφορων μεθόδων ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης των ΠΑΥ, την επιλογή της καταλληλότερης και την εφαρμογή της στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση δειγμάτων από αστικά εδάφη περιοχής της Λευκωσίας.

4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

4.1 Δειγματοληψία εδάφους

Η λήψη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε κύριες περιοχές τις Λευκωσίας, πιο συγκεκριμένα από την περιοχή Λατσιών και από το Γέρι.



Εικόνα 1: κάθε στίγμα στο χάρτη αποτελεί και σημείο δειγματοληψίας, όπως περιγράφεται στην εικόνα)

4.2 Μέτρηση εδαφικής υγρασίας

Έγινε χρήση πορσελάνινων κάψων για την πραγματοποίηση της ανάλυσης αυτής. Χρειάστηκαν 3 διαφορετικές κάψες ανά 3 δείγματα αστικού εδάφους ούτως ώστε να γίνει δυνατή η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Πραγματοποιήθηκε μέτρηση του βάρους των καψών σε ζυγό ακριβείας χωρίς το δείγμα εδάφους και έπειτα ζυγίστηκε το βάρος της κάθε κάψας μαζί με το έδαφος. Ζυγίστηκαν κατά μέσο όρο 5 g εδάφους για κάθε δείγμα ξεχωριστά και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κλίβανο σε θερμοκρασία 105 °C για διάστημα 72 ωρών ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία από το έδαφος. Μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος αυτού τα δείγματα ζυγίστηκαν ξανά. Ο λόγος της διαφοράς που προέκυψε από το τελικό βάρος της κάψας με το έδαφος (μετά την διαδικασία ξήρανσης) σε σχέση με το

αρχικό βάρος κάψας εδάφους ανά το αρχικό βάρος κάψας εδάφους επί τοις εκατό αντιστοιχεί στο ποσοστό υγρασίας του εδάφους. Η μέση υγρασία του εδάφους βρέθηκε να είναι 2 %.

4.3 Εκχύλιση φαινανθρένιου (PHE)

Για τον προσδιορισμό της καταλληλότερης τεχνικής για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ΠΑΥ στο έδαφος, χρησιμοποιήθηκε το PHE για τις δύο μεθόδους που ακολουθήθηκαν. Έγινε αρχικός έλεγχος της μεθόδου εκχύλισης με το Soxhlet και στη συνέχεια έλεγχος με την μέθοδο της ανακίνησης.

4.3.1 Παρασκευή δειγμάτων εδάφους-PHE

Ζυγίστηκαν 25 mg PHE, τα οποία μεταφέρθηκαν σε ογκομετρική φιάλη των 25 mL η οποία πληρώθηκε με ακετόνη. Ακολούθησε ανακίνηση της ογκομετρικής φιάλης ούτως ώστε να επιτευχθεί καλή ανάμιξη των συστατικών και διάλυση του PHE στην ακετόνη. Η συγκέντρωση του PHE στο διάλυμα ήταν 1,1 mg/mL. Ακολούθως, έγινε ληψη 1,5 mL διαλύματος PHE/ακετόνης για σκοπούς επαλήθευσης της συγκέντρωσης του PHE μέσω της μεθόδου της αέριας χρωματογραφίας (GC).

Στην συνέχεια, ζυγίστηκαν 100 g εδάφους. Μεταφέρθηκε το 1/3 του εδάφους (περίπου 33,3 g) σε ένα γουδί, όπου στο συγκεκριμένο προστέθηκαν τα υπόλοιπα 23,5 mL από το διάλυμα PHE/ακετόνης. Ακολούθησε άλεση του μίγματος ούτως ώστε να εξατμιστεί η ακετόνη και να διαχυθεί το PHE στο έδαφος, όπου και αφέθηκε για 30 λεπτά μέχρι να εξατμιστεί πλήρως η ακετόνη. Η συγκέντρωση του PHE μέσα στο έδαφος βρέθηκε να είναι 258,5 μg PHE/g εδάφους.

Ακολούθως, έγιναν λήψεις 5 g από το προκύπτον έδαφος με σκοπό την παρασκευή 12 δειγμάτων. Κάθε δείγμα εδάφους είχε τοποθετηθεί σε γουδί και προστέθηκε η απαιτούμενη ποσότητα θειικού νατρίου (NaSO_4) ούτως ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία από το έδαφος (περίπου 11 g NaSO_4). Για τους σκοπούς της ολοκληρωμένης απομάκρυνσης της υγρασίας και της επίτευξης ομοιογένειας του δείγματος (ενιαίο μέγεθος κόκκων), πραγματοποιήθηκε περαιτέρω άλεση του δείγματος και αφέθηκε για λίγο μέχρι να εξατμιστεί.

4.3.2 Εκχύλιση με την μέθοδο Soxhlet (SOX)

Η εκχύλιση με την μέθοδο Soxhlet (Ser 148-Solvent Extractor) είναι μια μέθοδος εκχύλισης, η οποία χρησιμοποιεί πολικούς και μη πολικούς διαλύτες ανάλογα με την περίπτωση ρυπασμένου εδάφους. Προτιμούνται πολικοί διαλύτες όπως η ακετόνη στην

περίπτωση που οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ στα εδάφη είναι χαμηλές και οι ενώσεις αυτές είναι προσροφημένες στην επιφάνεια των σωματιδίων. Οι πολικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται για να διαλύσουν τα συσσωματώματα (Berset et al. 1999). Η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα και κάθε φορά εκχυλίζει 6 δείγματα.



Εικόνα 2: Μηχάνημα εκχύλισης Soxhlet

Τα 6 από τα 12 δείγματα εδάφους που παρασκευάστηκαν μεταφέρθηκαν στα φίλτρα της συσκευής Soxhlet. Στα ποτήρια ζέσεως της συσκευής, τοποθετήθηκαν οι διαλύτες σε αναλογίες 30 mL ακετόνη και 30 mL εξάνιο. Σκοπός της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν να μεταφερθεί το PHE από το έδαφος στους διαλύτες μέσω των φίλτρων.

Ακολούθησε η μεταφορά των δειγμάτων σε ογκομετρικές φιάλες των 25 mL, η οποίες πληρώθηκαν με εξάνιο. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε ποτήρια ζέσεως (για γρηγορότερη εξάτμιση) και αφέθηκαν να εξατμιστούν σε θερμοκρασία δωματίου. Όταν εξατμίστηκαν πλήρως, προστέθηκε σε κάθε ποτήρι ζέσεως 5 mL εξάνιο για την δέσμευση των υπόλοιπων οργανικών ενώσεων. Ακολούθησε χρήση σύριγγας με φίλτρο μεμβράνων για την λήψη 3 mL από το δείγμα ούτως ώστε να αποφευχθεί η λήψη ποσότητας στερεού

(σωματίδια εδάφους) , έτσι ώστε να μπορεί το δείγμα να αναλυθεί με την μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας (GC) και να γίνει η απαιτούμενη ανίχνευση του PHE στο έδαφος.

4.3.3 Εκχύλιση με την μέθοδο ανακίνησης

Τα υπόλοιπα 6 δείγματα εδάφους τοποθετήθηκαν σε σωλήνες Teflon και έγινε προσθήκη διαλυτών ακετόνης και DCM (12,5 mL:12,5 mL). Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο όργανο υπέρηχων κυμάτων (Ultrasons) για 30 λεπτά. Ο σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η απελευθέρωση του PHE από τα δείγματα, γεγονός που προκύπτει από το σπάσιμο των συσσωμάτων του εδάφους μέσω δονήσεων. Ακολούθησε η μέθοδος της ανακίνησης. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την περαιτέρω διάσπαση των κόκκων εδάφους, που οδηγεί στην ευκολότερη απομάκρυνση και αποκόλληση των ΠΑΥ από το έδαφος. Η ανακίνηση των δειγμάτων ρυθμίστηκε να είναι στις 150 στροφές (rpm) για 24 ώρες στο Stuart rotator.

Μετά από 24 ώρες τα δείγματα τοποθετήθηκαν στην φυγόκεντρο τύπου sigma 6-16 K στο πρόγραμμα organic με ταχύτητα 4852 rpm, RCF (Relative centrifugal force) με 5000 *g και θερμοκρασία 18 °C για 30 λεπτά. Σκοπός της φυγόκεντρου ήταν ο διαχωρισμός του στερεού μέσου από το υπερκείμενο υγρό και η μεταφορά των οργανικών ουσιών (ΠΑΥ) από το έδαφος στο υπερκείμενο. Ακολούθως, έγινε λήψη 20 mL από το υπερκείμενο υγρό κάθε δείγματος, τα οποία μεταφέρθηκαν σε γυάλινα δοχεία σε απαγωγό ούτως ώστε να εξατμιστούν πλήρως.

Στη συνέχεια προστέθηκαν 5 mL εξάνιο στα δείγματα ούτως ώστε να απορροφήσει τα υπολείμματα από τα τοιχώματα του γυάλινου δοχείου κατά τις δονήσεις στο Huma Twist vortex.

Έγινε λήψη 3 mL από κάθε δείγμα χρησιμοποιώντας σύριγγα με μεμβράνες για την απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων μέσω προσκόλλησης τους στο φίλτρο. Το καθαρό δείγμα που προέκυψε τέθηκε προς ανάλυση στον αέριο χρωματογράφο για περαιτέρω ανίχνευση των ΠΑΥ.

4.3.3.1 Μέθοδος ανακίνησης σε διαφορετικές αναλογίες διαλυτών

Ζυγίστηκαν 5 g εδάφους και προστέθηκαν οι κατάλληλοι διαλύτες με συνολικό όγκο 25 mL. Έγινε προσθήκη NaSO₄ στο πρώτο δείγμα εδάφους με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας.

Παρακάτω αναγράφονται οι απαιτούμενες προσθήκες της μεθόδου ανακίνησης:

1. 25 mL DCM+NaSO₄
2. 20 mL DCM+5 mL ακετόνη
3. 25 mL εξάνιο
4. 25 mL ακετόνη
5. 6,25 mL ακετόνη+18,75 mL εξάνιο

Με την πραγματοποίηση των προσθηκών, τα δείγματα τοποθετήθηκαν για 30 λεπτά στο Ultrasons και ακολούθως τέθηκαν για 24 ώρες σε ανακίνηση. Προέκυψε φυγοκέντριση των δειγμάτων για 30 λεπτά και στη συνέχεια ακολουθήθηκε η προετοιμασία δειγμάτων που αναφέρθηκε προηγουμένως, για την εισαγωγή τους στον αέριο χρωματογράφο. Καταλληλότερη αναλογία προσθήκης διαλυτών φάνηκε να είναι τα 20 mL DCM και 5 mL ακετόνης, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της αέριας χρωματογραφίας.

4.4 Εκχύλιση των ΠΑΥ από τα αστικά δείγματα εδάφους της Λευκωσίας

Ανάμεσα από όλες τις μεθόδους που διερευνήθηκαν με σκοπό την εύρεση της καταλληλότερης μεθόδου που έπρεπε να αξιοποιηθεί για την εκχύλιση των ΠΑΥ, η μέθοδος της εκχύλισης με ανακίνηση φάνηκε να είναι η καταλληλότερη. Πραγματοποιήθηκε λήψη 5 g από κάθε δείγμα εδάφους τα οποία μεταφέρθηκαν σε πλαστικούς σωλήνες Teflon. Ακολούθησε η προσθήκη των διαλυτών στον απαγωγό όπου μεταφέρθηκαν 20 mL DCM και 5 mL ακετόνης.

4.5 Μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας

Η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας χρησιμοποιείται για την ανίχνευση πτητικών ενώσεων ή για ενώσεις που καθίστανται πτητικές. Ο αέριος χρωματογράφος GC-2014 Shimadzu Gas Chromatograph που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των υφιστάμενων δειγμάτων έχει ανιχνευτή τύπου ιονισμού φλόγας FID. Το φέρον αέριο που χρησιμοποιείται είναι το άζωτο (N₂) με συνολική ροή 18,8 mL/min, το οποίο αποτελεί την κινητή φάση στην στήλη. Η έκχυση του δείγματος γίνεται μέσω της μικροσύριγγας, μέσω της οποίας το δείγμα μεταφέρεται στην κορυφή της στήλης (Zebron ZB-5), η οποία έχει μήκος 30 m διάμετρο 0,25 mm ID και πάχος φιλμ 0,25 μm. Το δείγμα στην συνέχεια με αύξηση της θερμοκρασίας εξατμίζεται. (Skoog et al. 2007).

Χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη μέθοδος του EPA 8100 για την ανάλυση των ΠΑΥ με GC. Η μέθοδος περιγράφεται ως εξής:

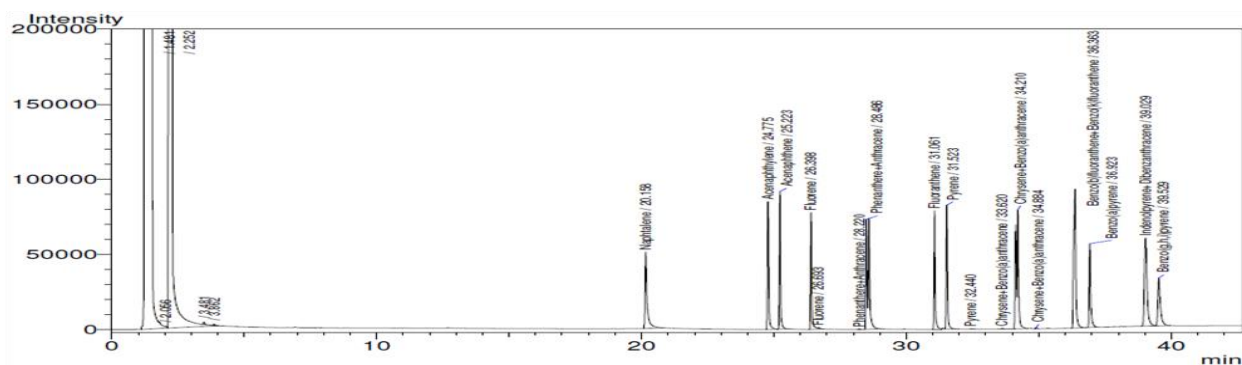
Ως κατώτατα και ανώτατα θερμοκρασιακά όρια της μεθόδου επιλέχθηκαν οι 80 και 320 °C αντίστοιχα. Ο χρόνος παραμονής στους 80 °C καθορίστηκε στα 0 min ενώ ο αντίστοιχος χρόνος παραμονής στους 320 °C καθορίστηκε στα 5 min.

Η μέθοδος βαθμονομήθηκε με την προπαρασκευή και ανάλυση πρότυπων διαλυμάτων των 16 ΠΑΥ. Από τα εμβαδά των κορυφών των 16 ΠΑΥ κατασκευάστηκε η καμπύλη βαθμονόμησης για κάθε ΠΑΥ.



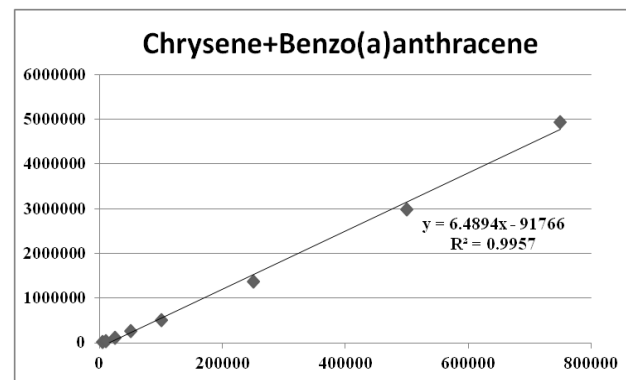
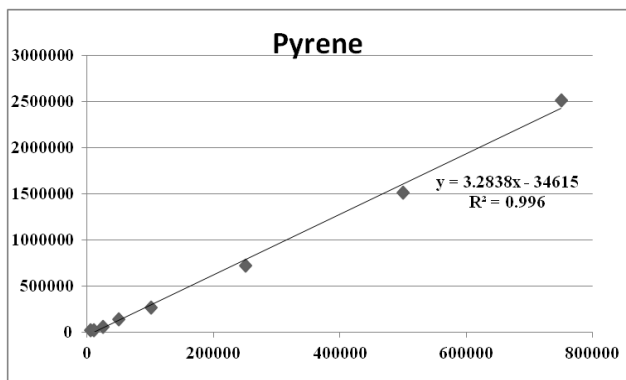
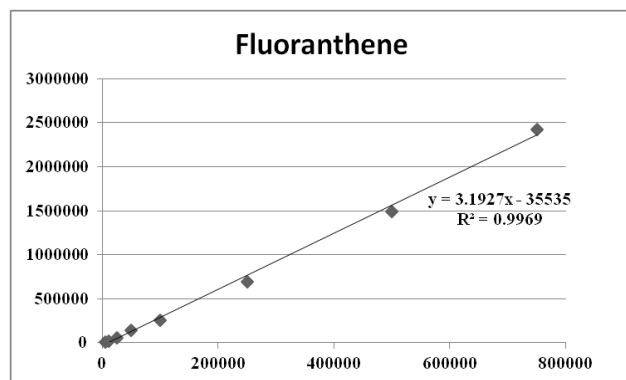
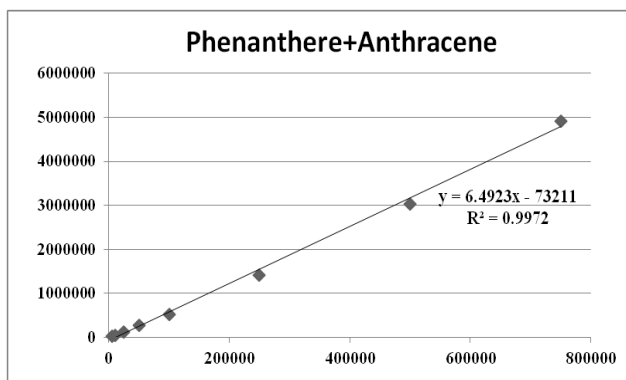
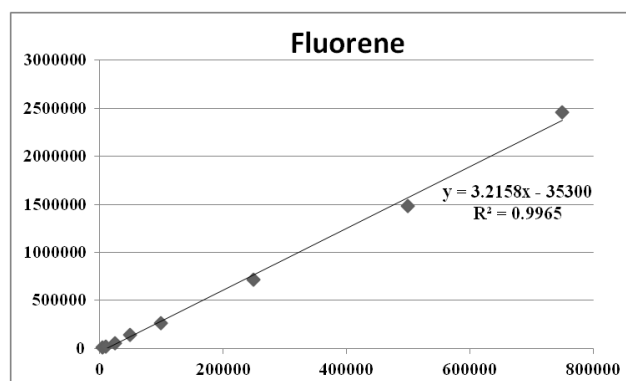
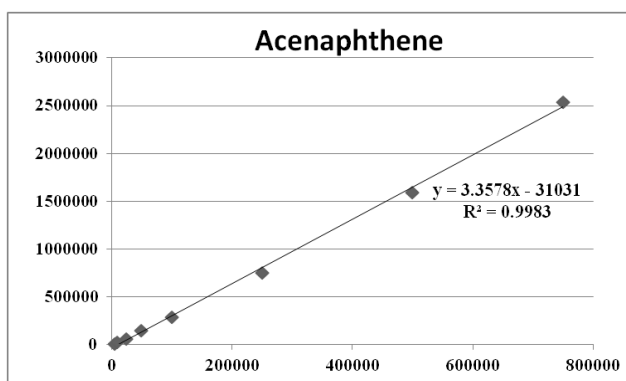
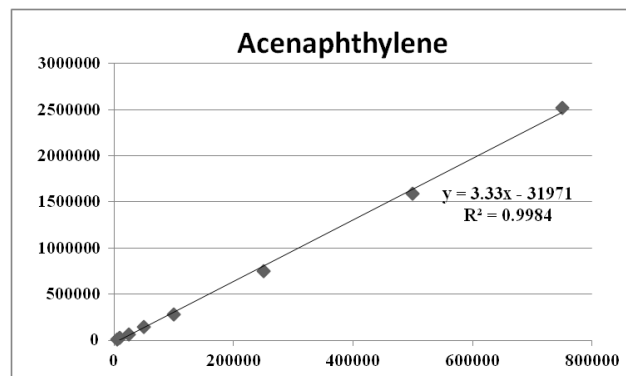
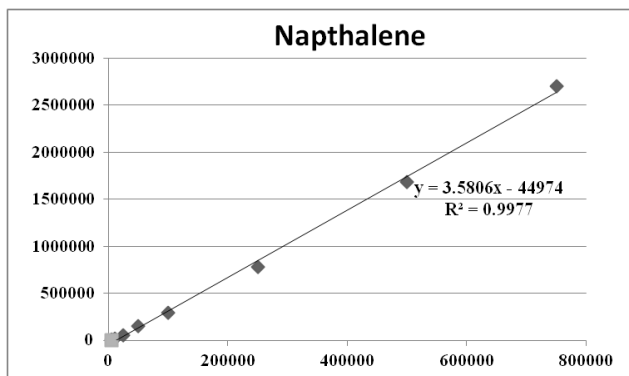
Εικόνα 3: Αέριος Χρωματογράφος (GC/MS)

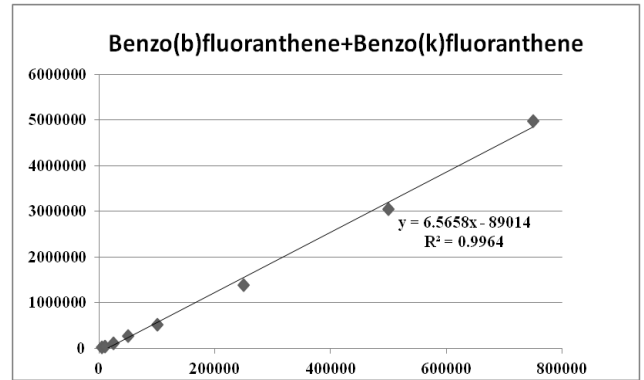
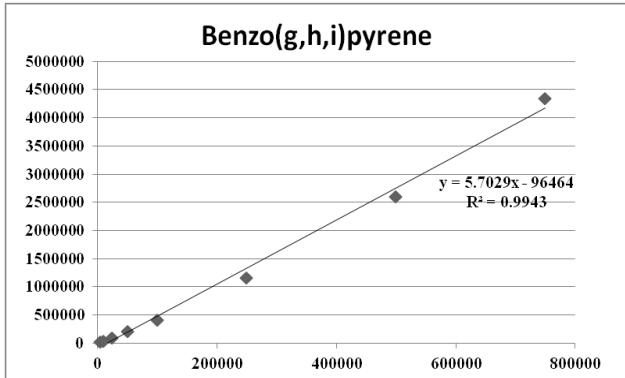
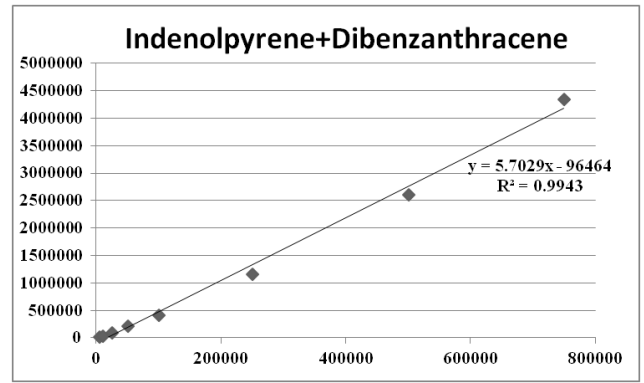
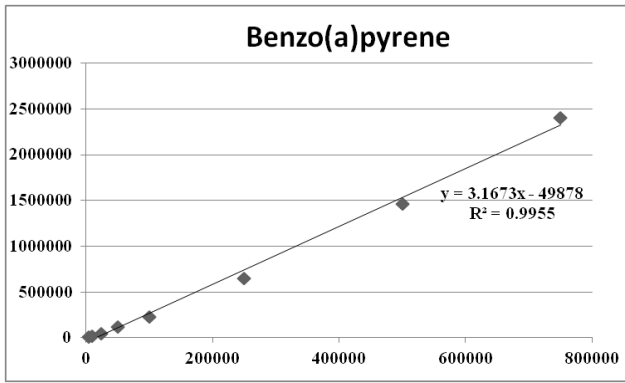
Το πιο κάτω διάγραμμα χρωματογραφίας παριστάνει τα 16 ΠΑΥ στο πρότυπο δείγμα σε συνάρτηση με τον χρόνο έκλουσης τους.



Γράφημα 1: Χρωματογράφημα των 16 ΠΑΥ σε συνάρτηση με τον χρόνο έκλουσης.

Πιο κάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε ουσία του πρότυπου δείγματος (άξονα ψ: εμβαδόν (Area) σε abs units, άξονα χ: συγκέντρωση σε ppm).





Γραφήματα 1: Καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε ουσία του πρότυπου δείγματος.

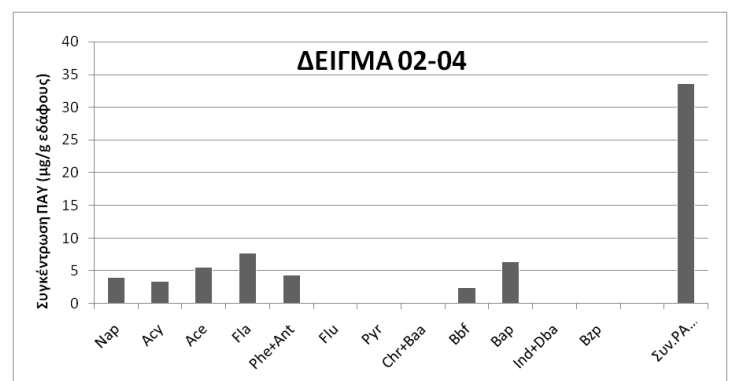
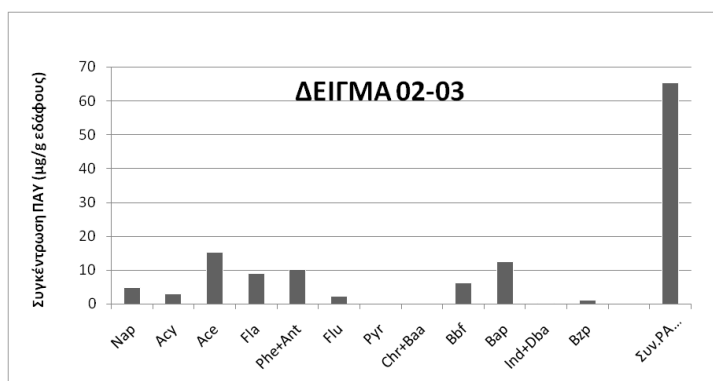
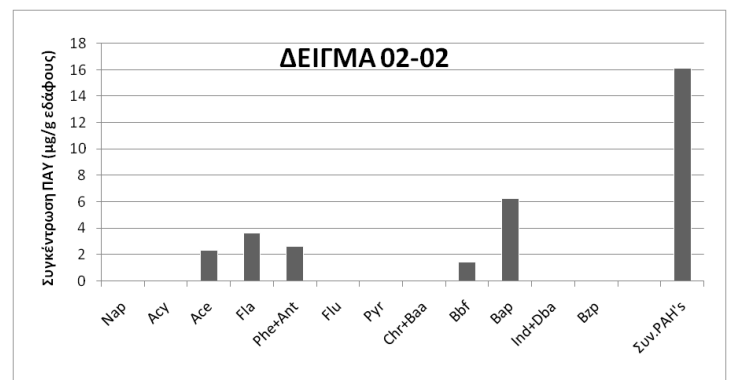
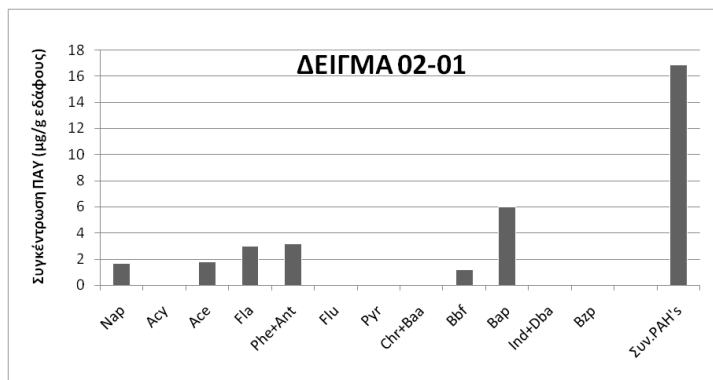
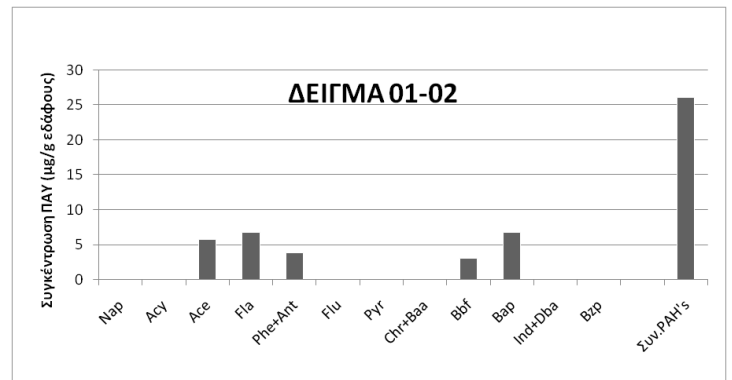
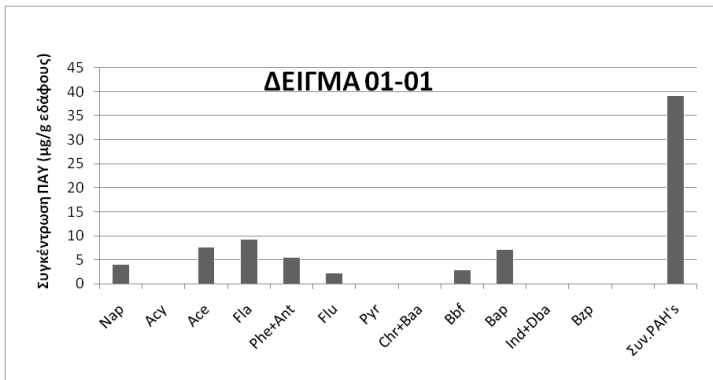
5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

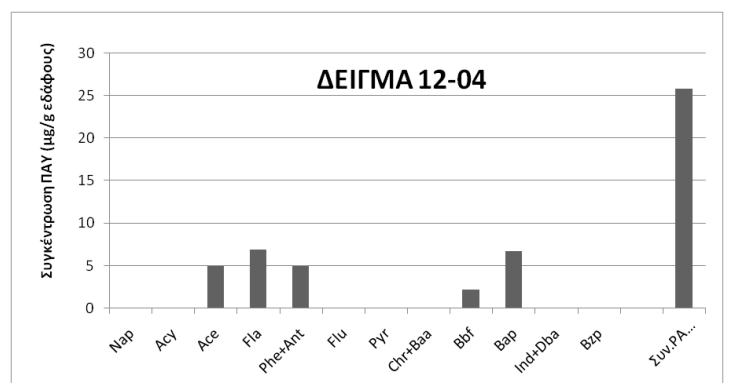
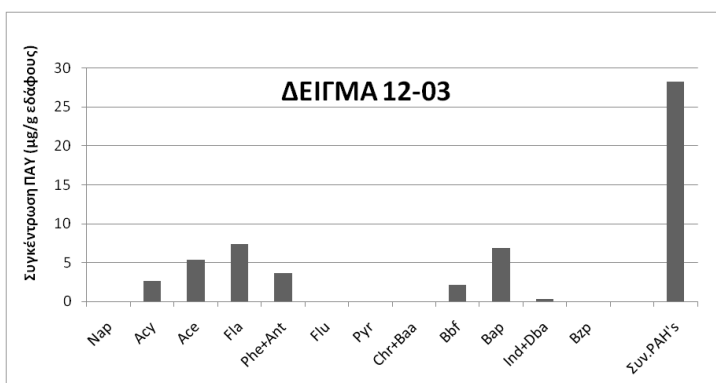
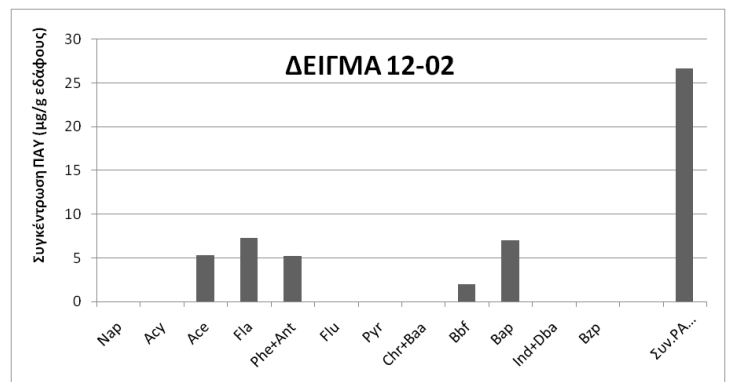
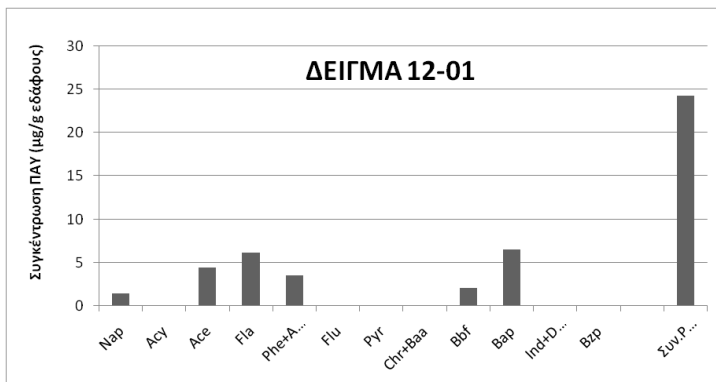
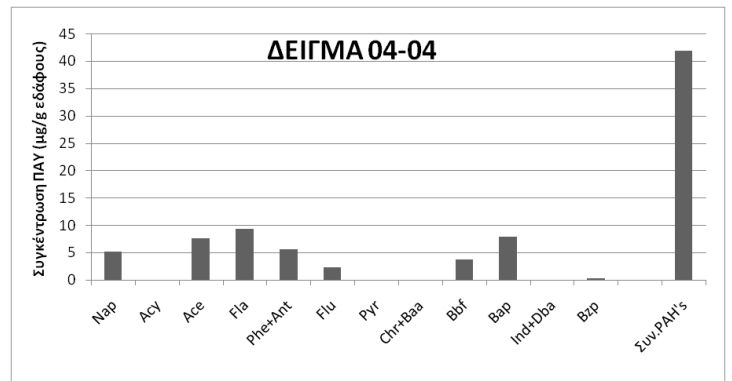
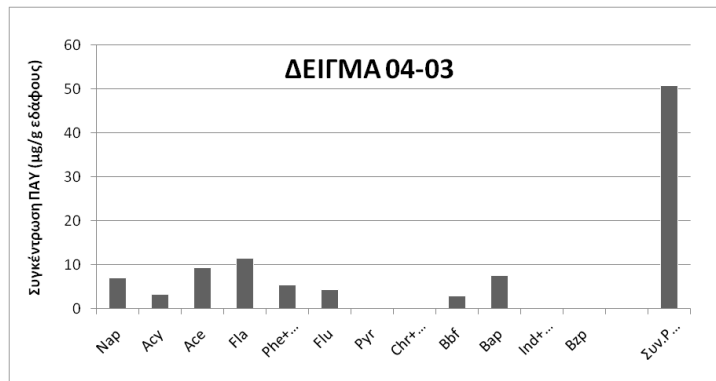
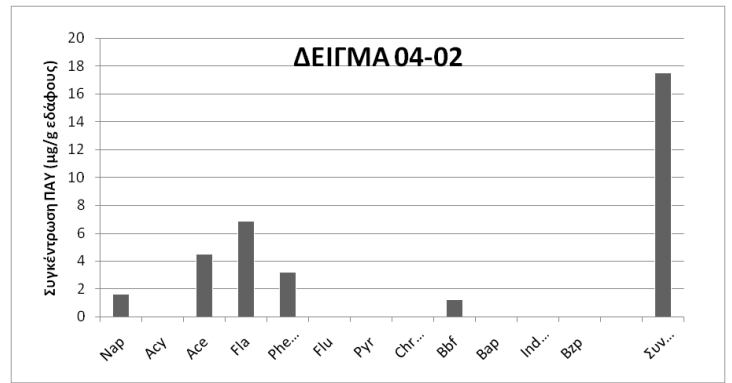
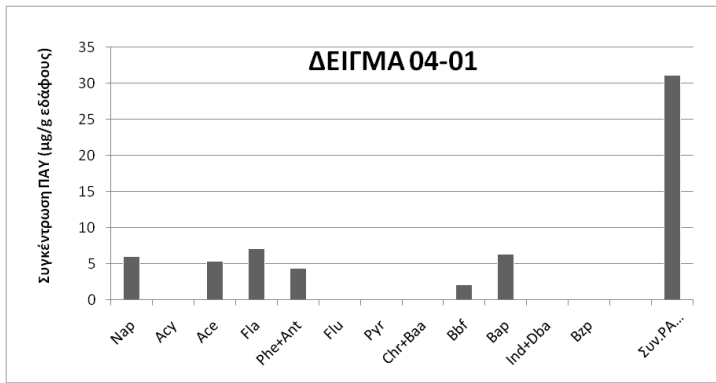
5.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων

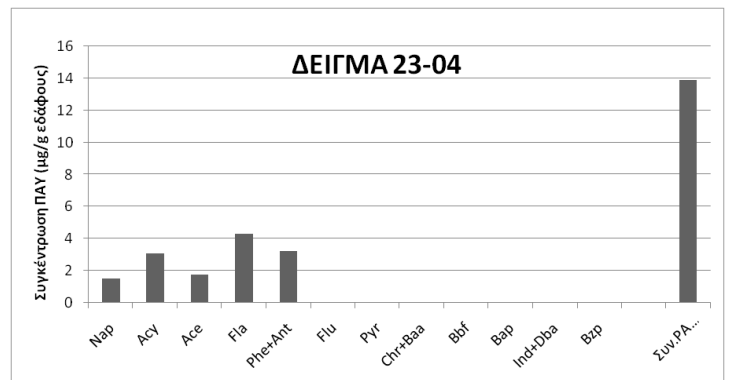
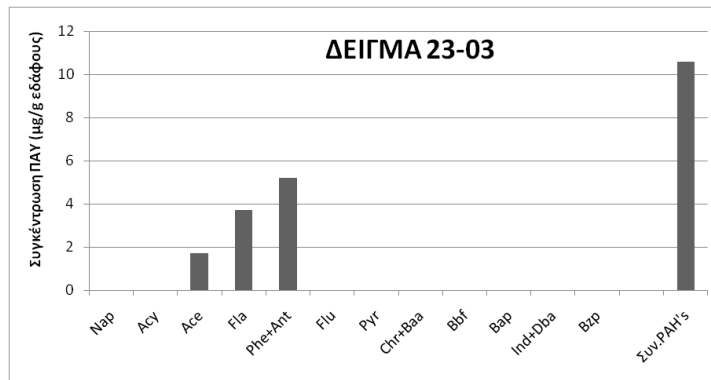
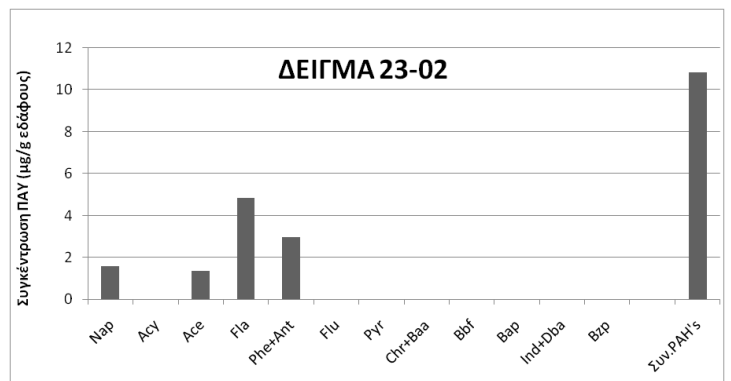
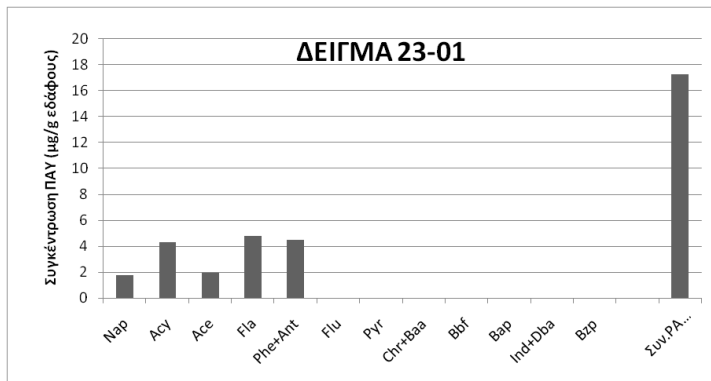
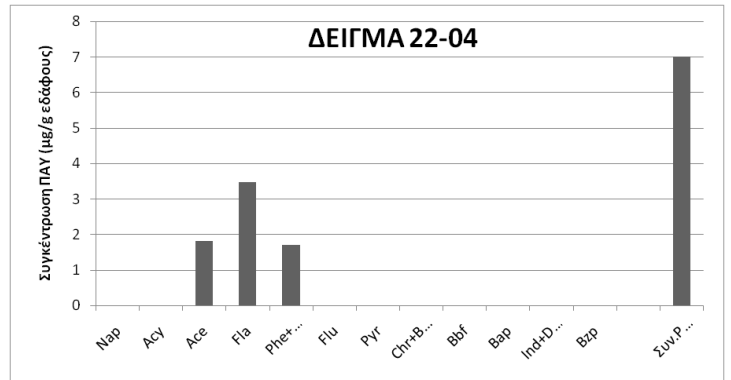
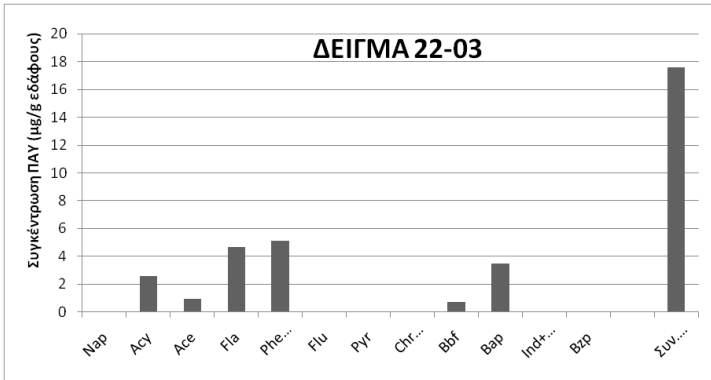
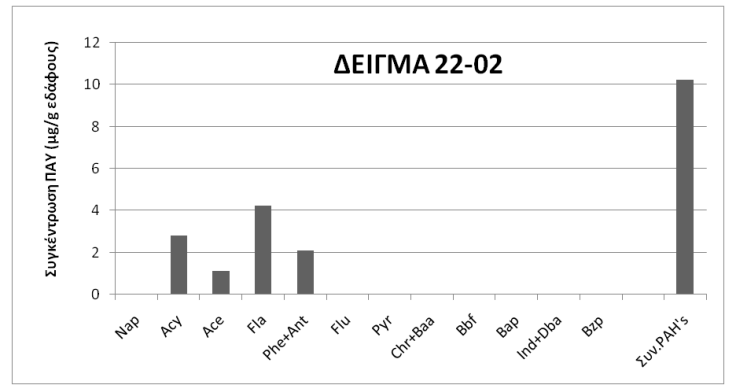
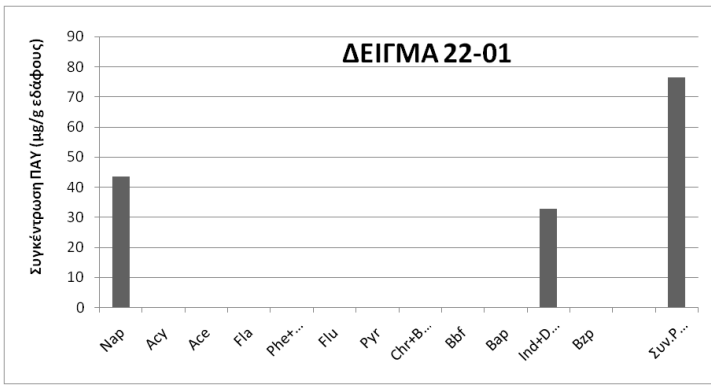
Όπως φαίνεται από τα πιο κάτω γραφήματα, η μέγιστη συγκέντρωση του ναφθαλενίου (nap) στην περιοχή των Λατσιών βρίσκεται στο δείγμα 22-01 και έχει συγκέντρωση ίση με 43,48 ppm, ενώ στην περιοχή του Γερίου βρίσκεται στο δείγμα 08-01 και έχει συγκέντρωση ίση με 2,91 ppm. Ακολούθως, το ακεναφθυλένιο (acy) το δείγμα 35-03 των Λατσιών έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και είναι ίση με 5,10 ppm, ενώ στο Γέρι τη μεγαλύτερη έχει το δείγμα 25-03 και με συγκέντρωση ίση με 11,22 ppm. Το ακεναφθένιο (ace) παρουσιάζει μέγιστη συγκέντρωση στο δείγμα 02-03 των Λατσιών και στο δείγμα 25-03 του Γερίου με συγκεντρώσεις 15,38 ppm και 7,82 ppm αντίστοιχα. Για το φλουορένιο (fla) τα δείγματα που παρουσιάζουν μέγιστες συγκεντρώσεις είναι το 04-03 για τα Λατσιά και 25-03 για το Γέρι με συγκεντρώσεις 11,41 ppm και 14,23 ppm αντίστοιχα. Το φαινανθρένιο και ανθρακένιο (phe + ant) βρίσκονται σε μέγιστες συγκεντρώσεις στο δείγμα 02-03 των Λατσιών και στο δείγμα 25-03 του Γερίου με συγκεντρώσεις 10,29 ppm και 41,20 ppm αντίστοιχα. Η μέγιστη συγκέντρωση του φλουορανθενίου (flu) για την περιοχή των Λατσιών είναι στο δείγμα 04-03 με συγκέντρωση ίση με 4,30 ppm και στην περιοχή του Γερίου είναι στο δείγμα 24-04 με συγκέντρωση ίση με 2,97 ppm. Δεν έγινε ανίχνευση πυρένιου (pyr) στα δείγματα των δυο περιοχών. Το χρυσένιο μαζί με το βενζο(α)ανθρακένιο (chr + baa) παρουσιάζεται μόνο σε ένα μοναδικό δείγμα 25-03 στην περιοχή του Γερίου με συγκέντρωση 10,90 ppm. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις του βενζο(β)φλουορανθενίου (bbf) για τα Λατσιά και το Γέρι βρίσκονται στα δείγματα 02-03 και 25-03 ίσες με 6,19 ppm και 14,49 ppm αντίστοιχα. Για το καρκινογόνο βενζο(α)πυρένιο (bar) η μέγιστη συγκέντρωση των Λατσιών παρουσιάζονται στο δείγμα 02-03 με συγκέντρωση ίση με 12,60 ppm και στην περιοχή του Γερίου στο δείγμα 25-03 με συγκέντρωση 47,06 ppm. Τα ινδενο(1,2,3-cd)πυρένιο και διβένζο(α,h)ανθρακένιο (ind + dba) παρουσιάζονται με μέγιστη συγκέντρωση στο δείγμα 22-01 στην περιοχή των Λατσιών με συγκέντρωση ίση με 32,81 ppm και στο δείγμα 25-03 στην περιοχή του Γερίου με συγκέντρωση ίση με 6,29 ppm. Τέλος η μέγιστη συγκέντρωση του βενζο(g,h,i)περυλενίου (bzip) για την περιοχή των Λατσιών είναι στο δείγμα 34-04 με συγκέντρωση 9,17 ppm, ενώ στην περιοχή του Γερίου είναι στο δείγμα 25-03 και με συγκέντρωση ίση με 21,06 ppm.

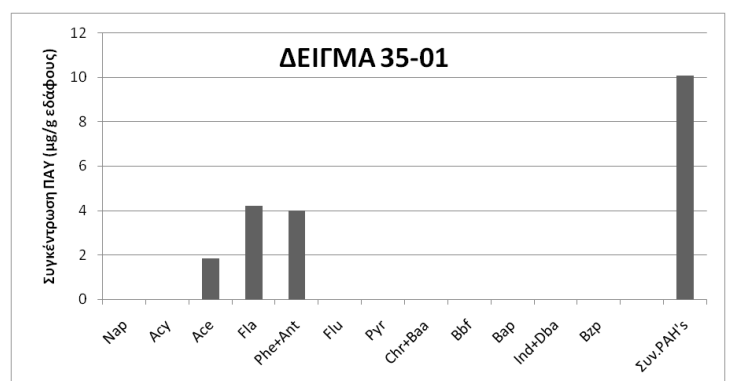
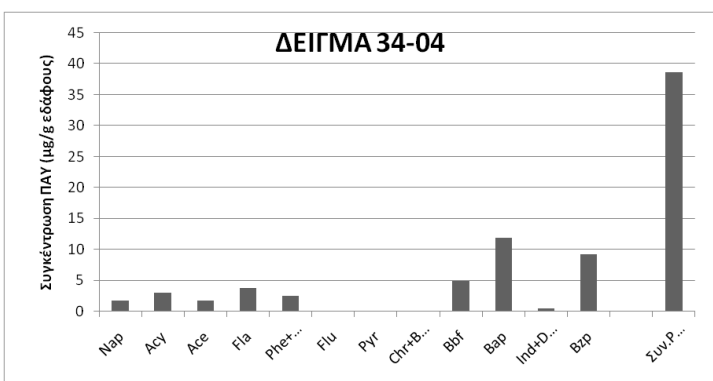
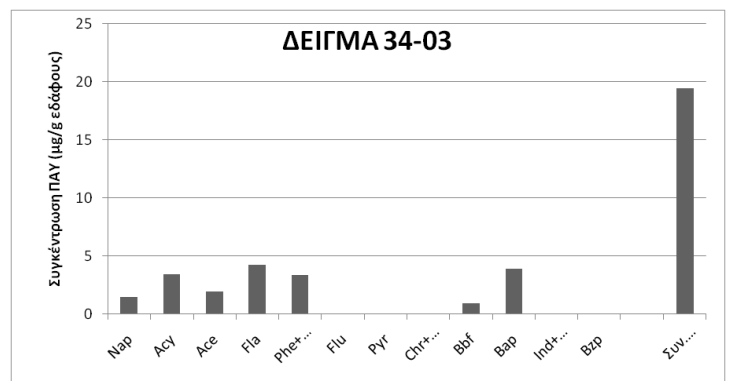
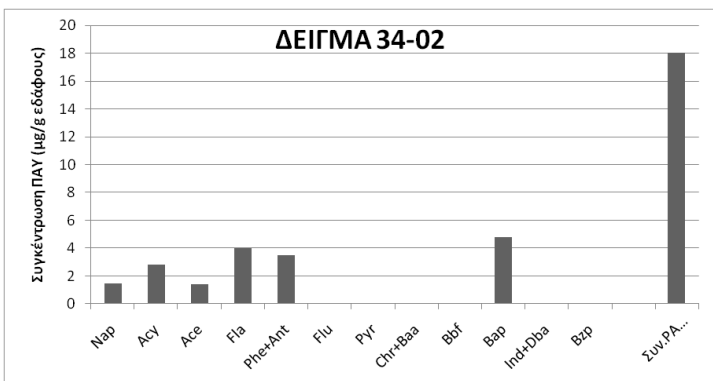
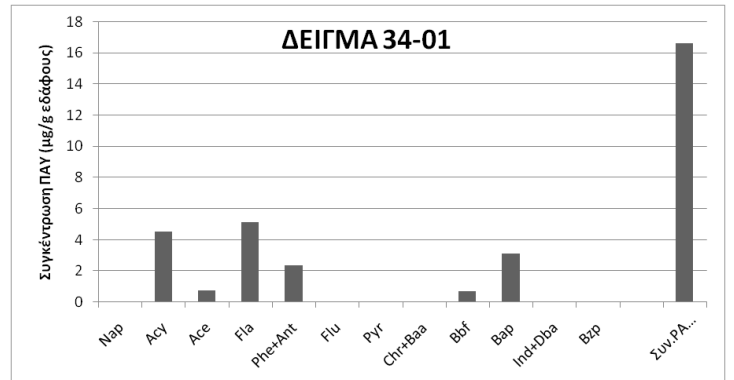
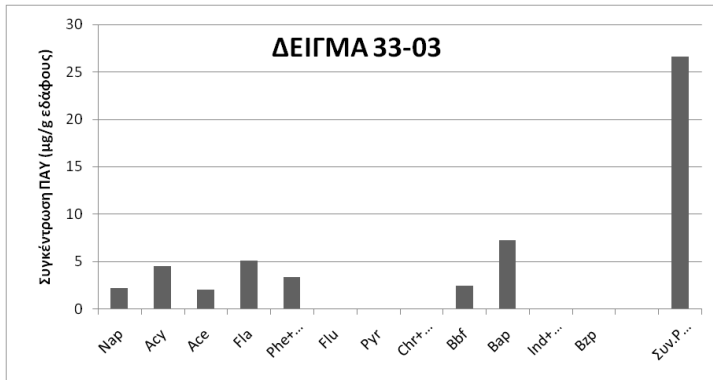
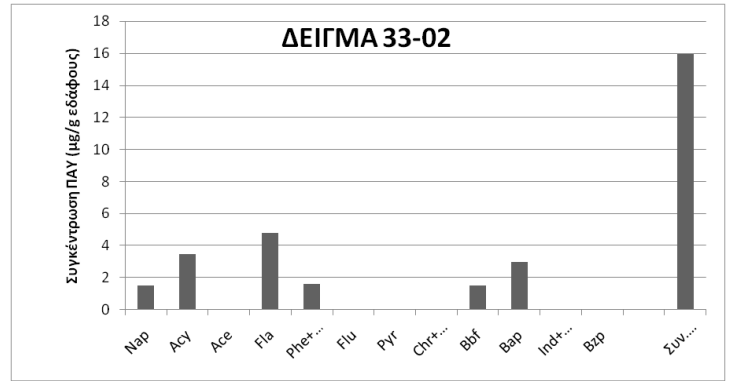
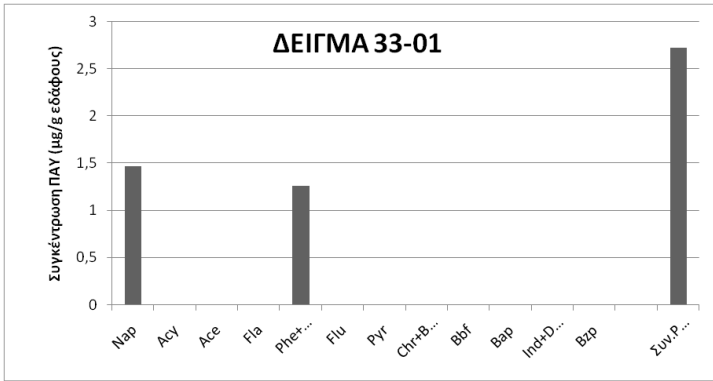
5.1.1 Ανάλυση των 16 ΠΑΥ κάθε δείγματος για κάθε περιοχή με την μέθοδο της Αέριας Χρωματογραφίας

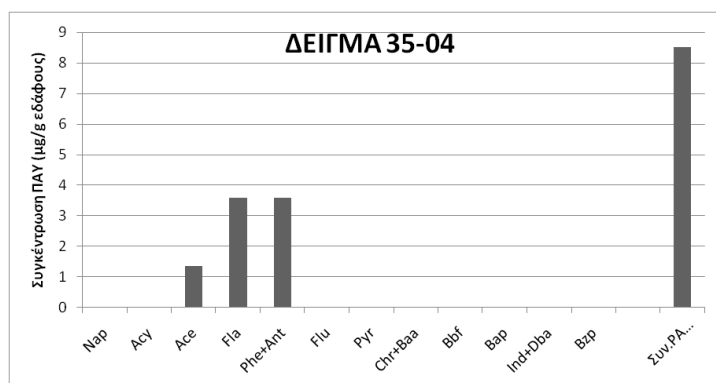
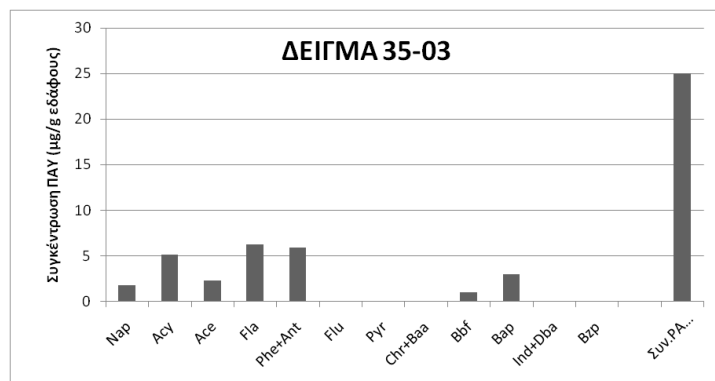
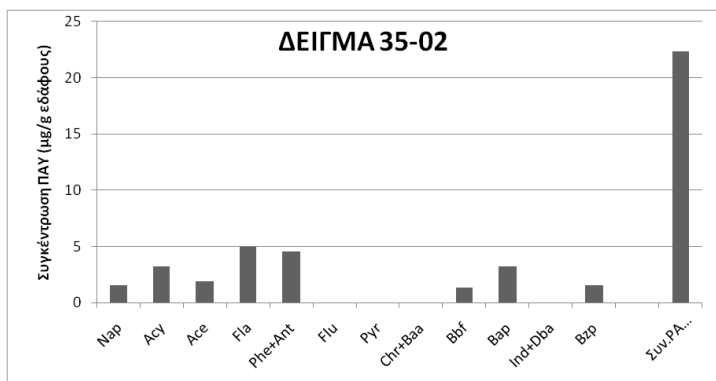
Γραφήματα όπου παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Λασιών.





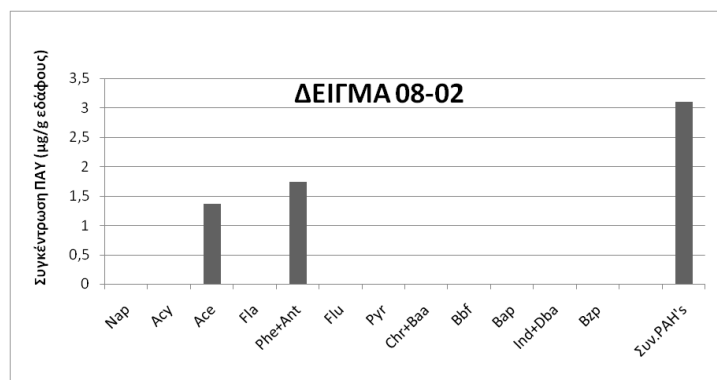
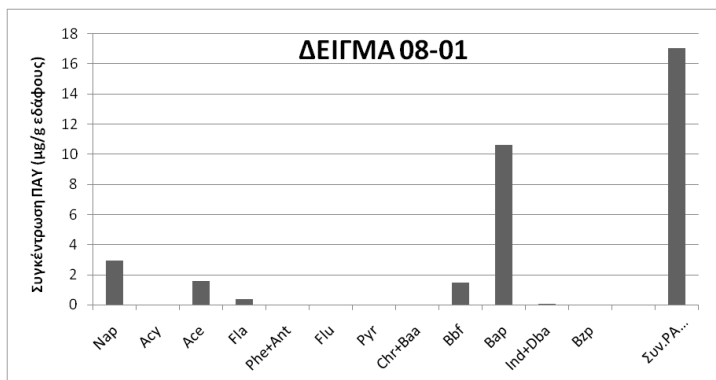


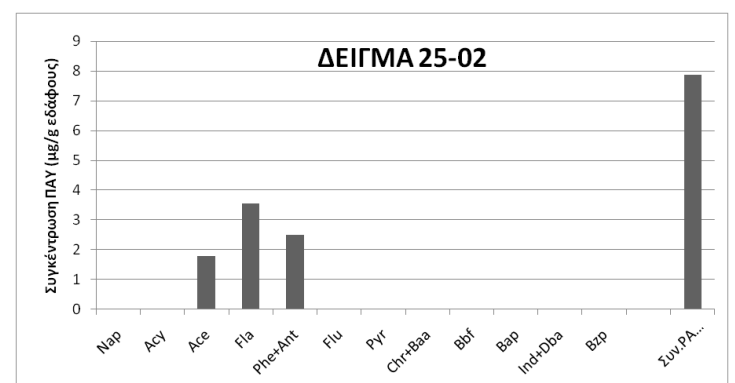
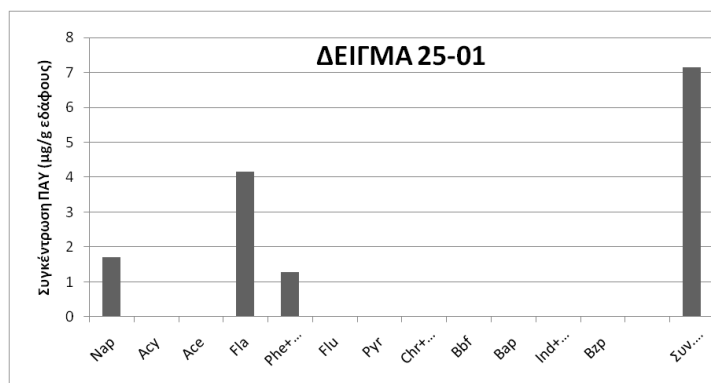
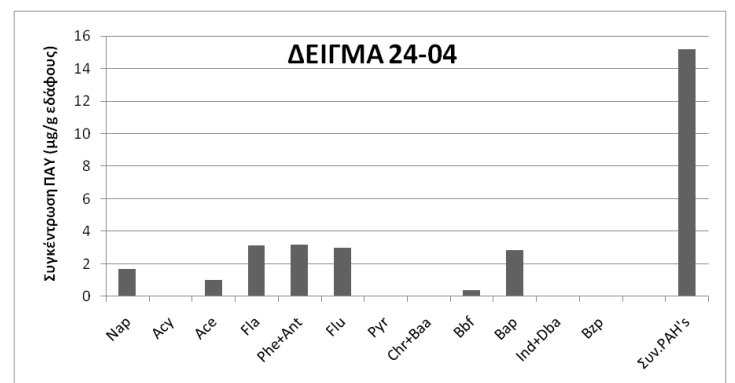
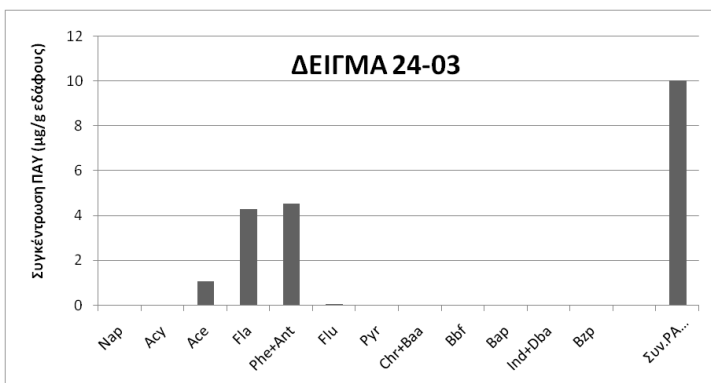
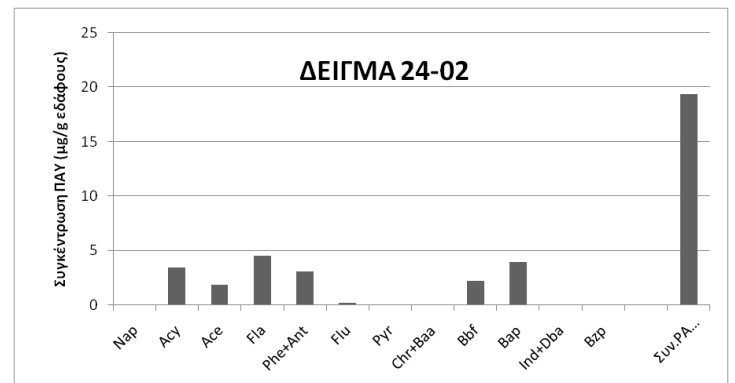
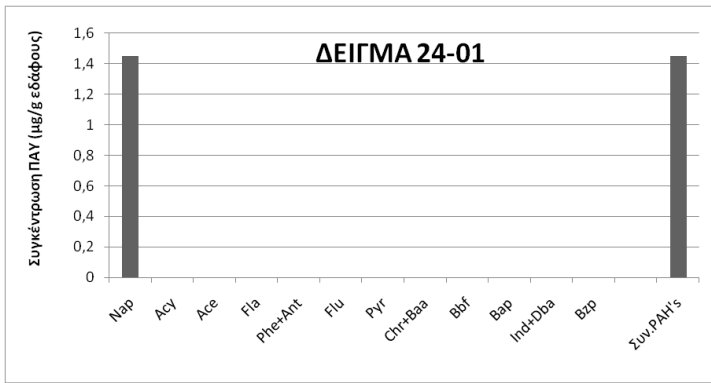
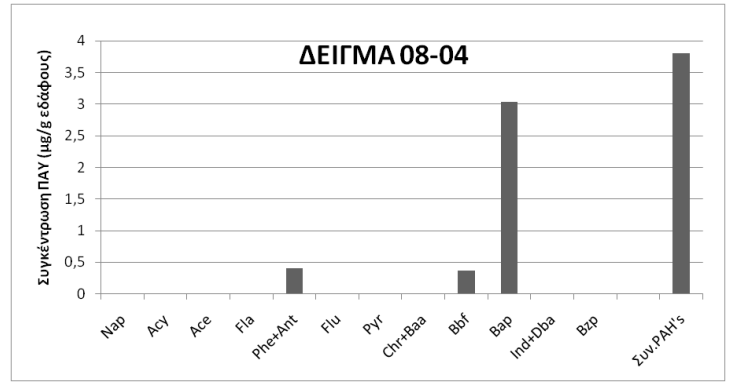
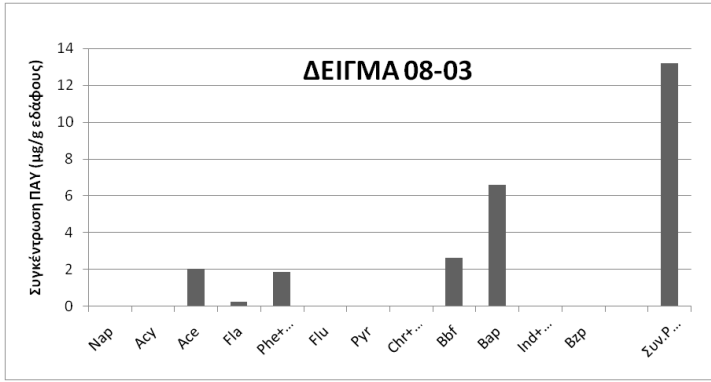


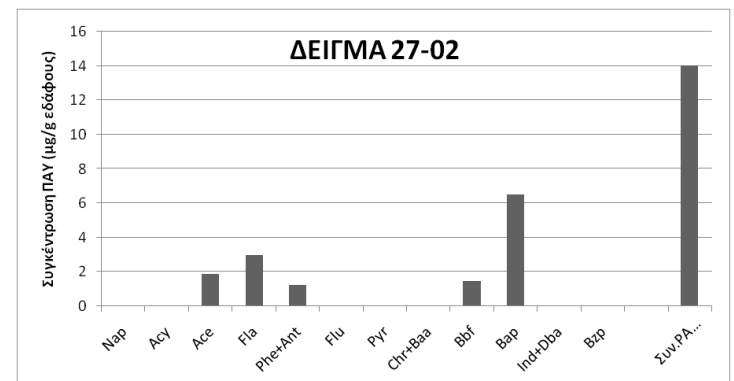
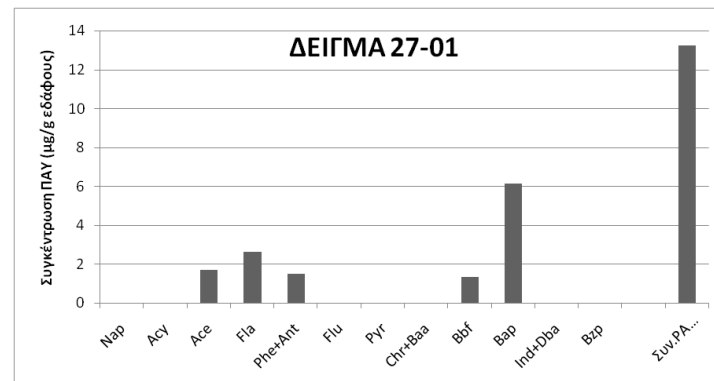
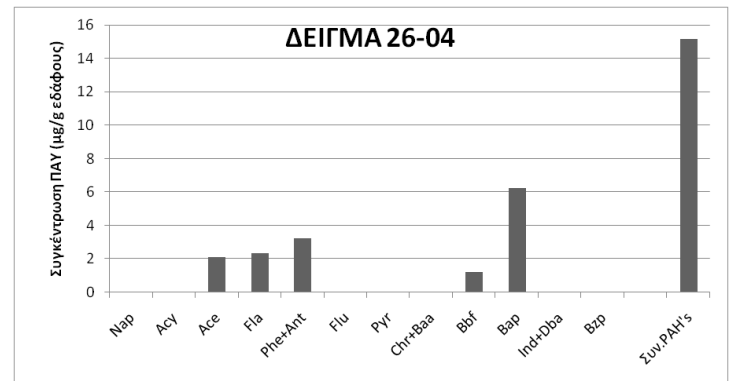
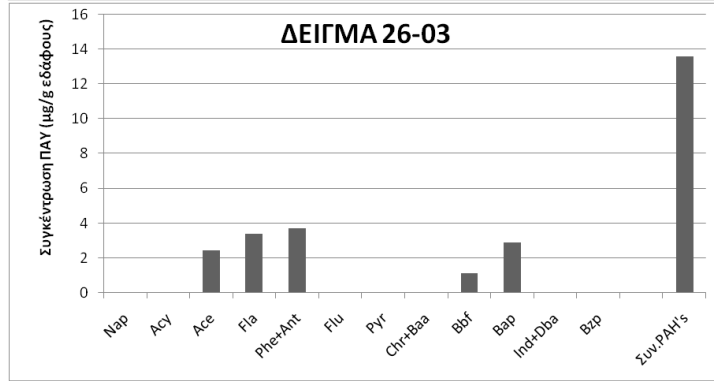
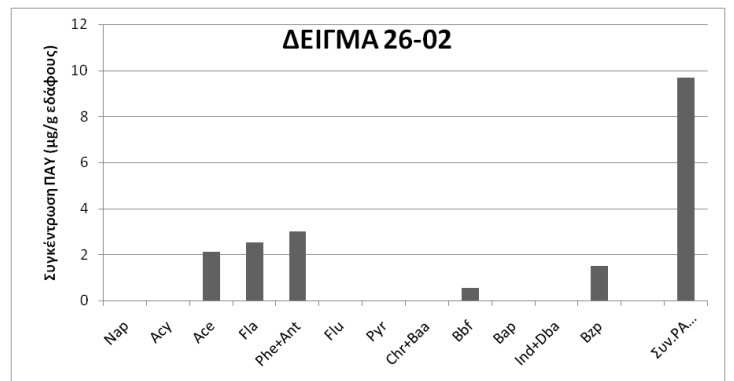
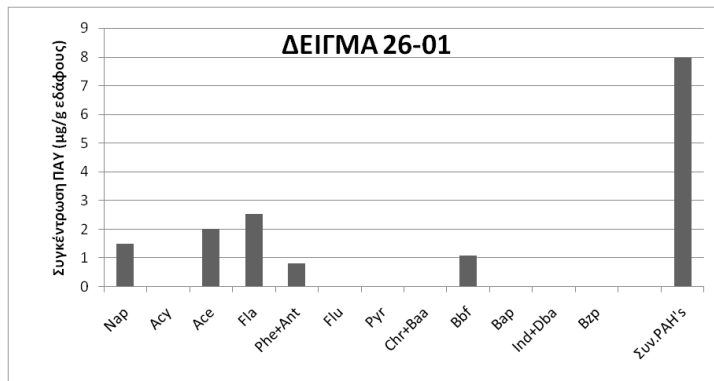
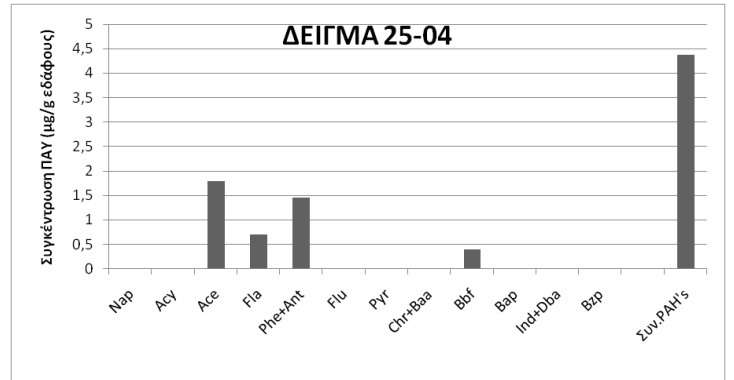
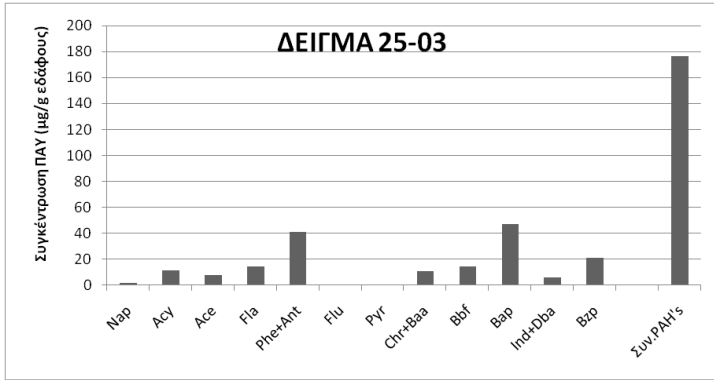


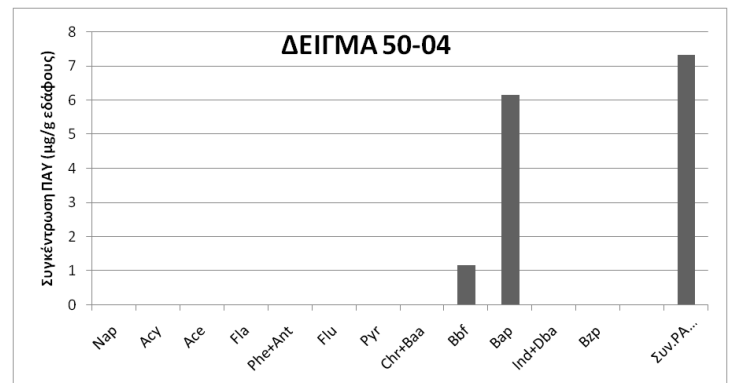
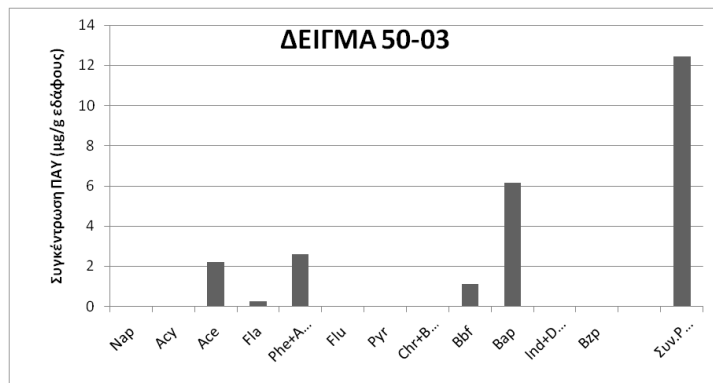
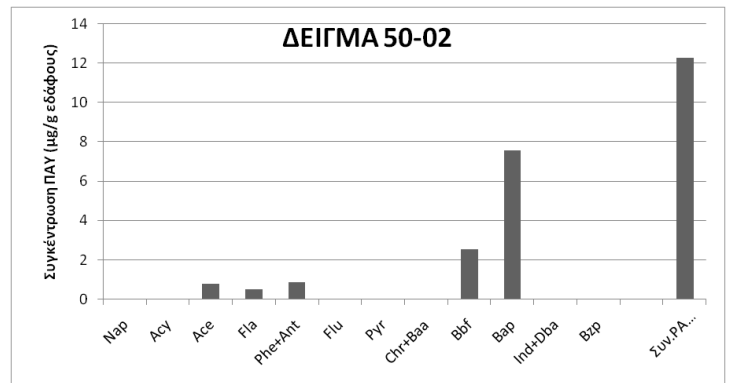
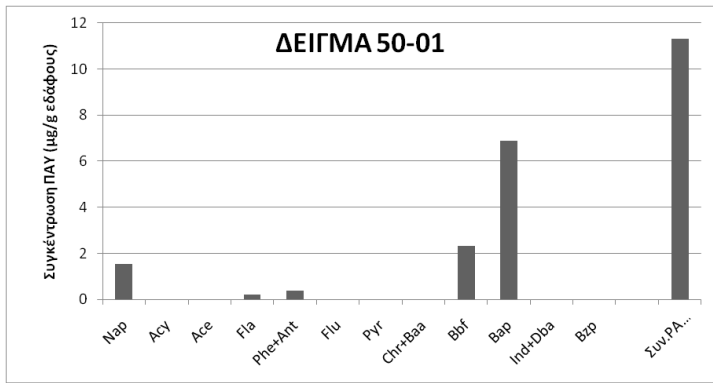
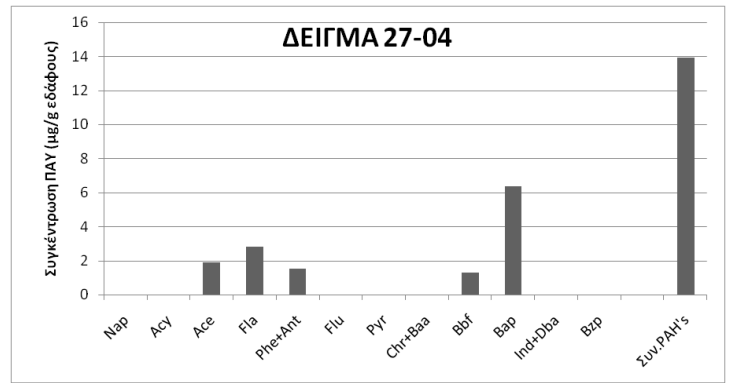
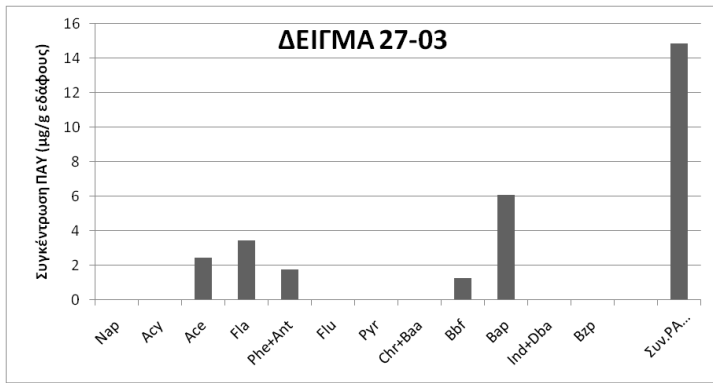
Γραφήματα 2: Συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Λατσιών.

Γραφήματα όπου παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Γερίου.









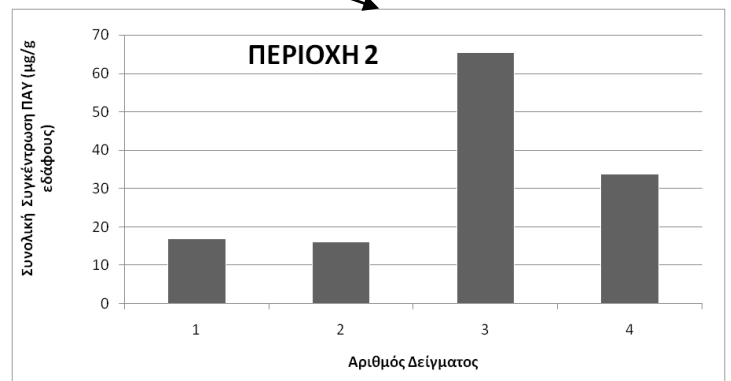
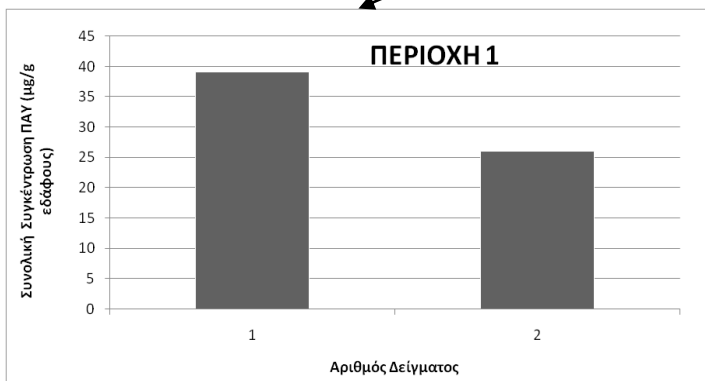
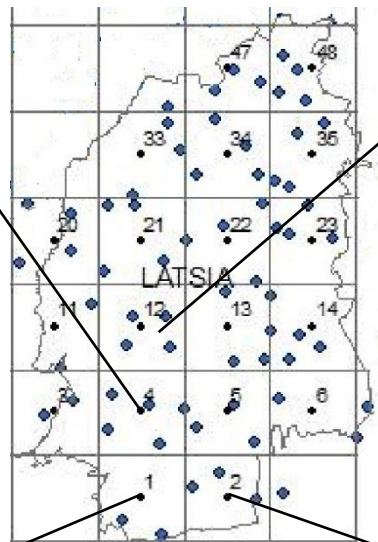
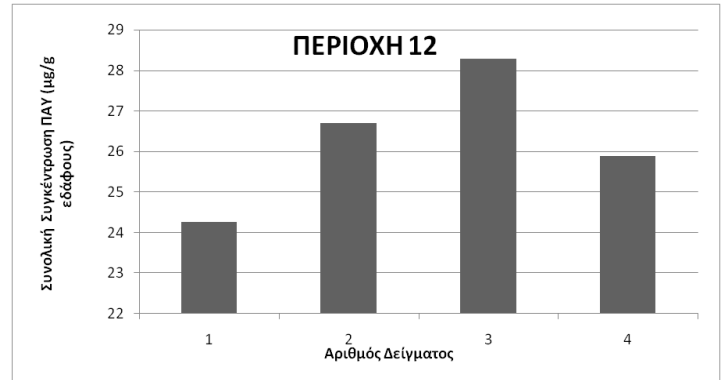
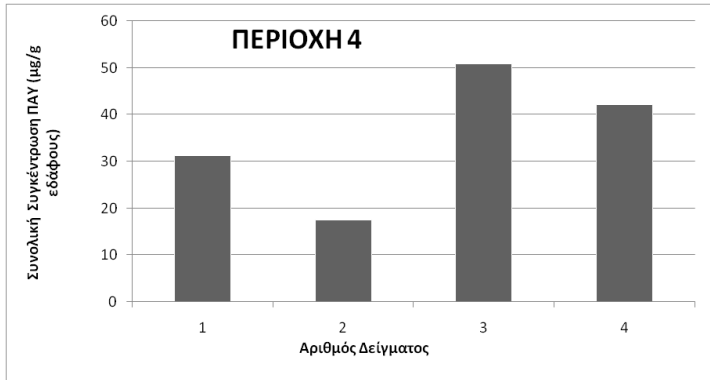
Γραφήματα 3: Συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Γερίου.

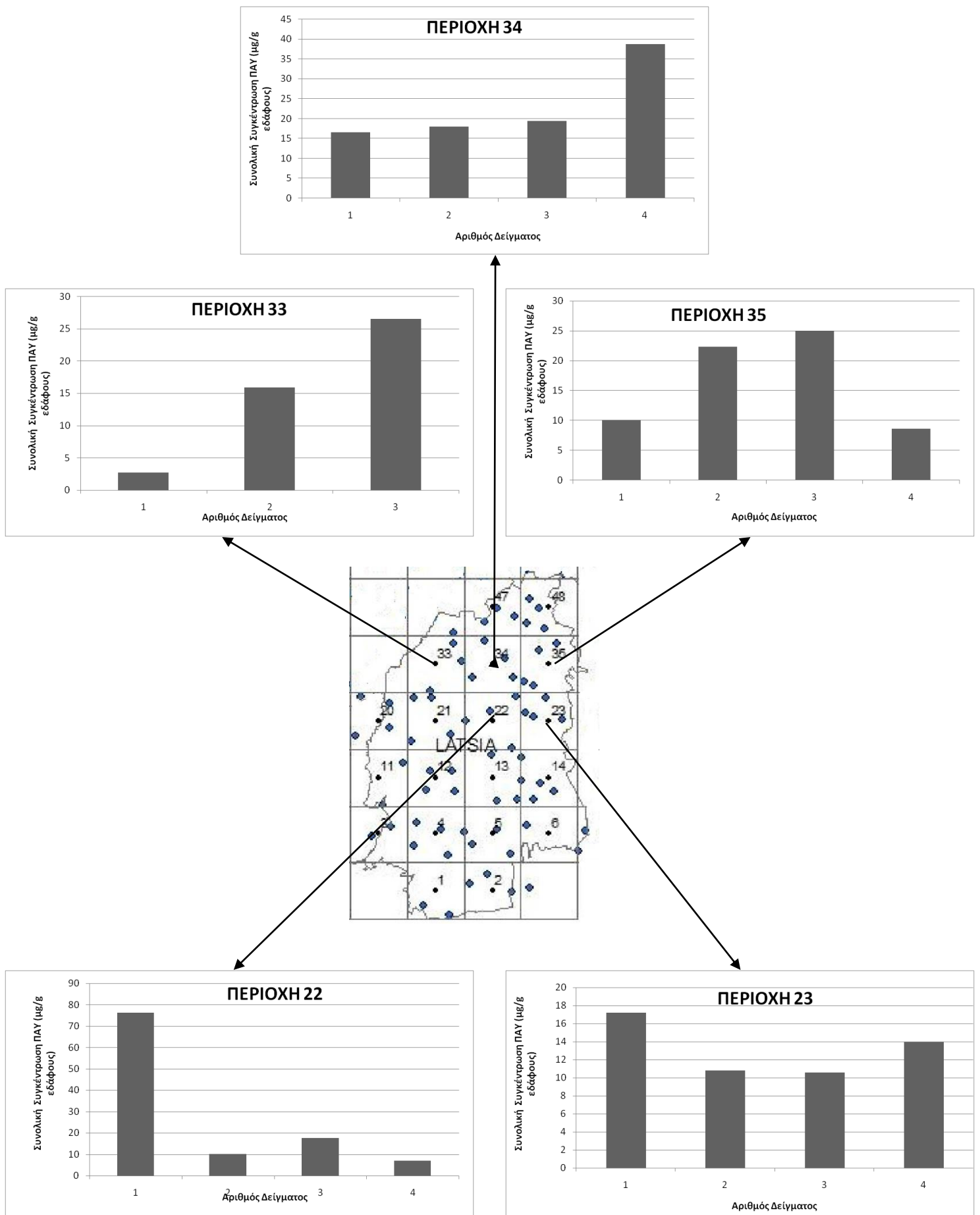
5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Στα πιο κάτω γραφήματα παρουσιάζονται οι συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ των δειγμάτων ανά περιοχή. Για τον Δήμο Λατσιών η περιοχή 4 έχει την μέγιστη συνολική συγκέντρωση που είναι ίση με 141,42 ppm και αυτό μπορεί να οφείλεται για τον λόγο ότι αυτή η περιοχή βρίσκεται σε βιομηχανική ζώνη, όπου είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ΠΑΥ στο έδαφος. Για τον Δήμο Γερίου η περιοχή που παρουσιάζει την μέγιστη συγκέντρωση των συνολικών ΠΑΥ είναι η περιοχή 25 και έχει συνολική συγκέντρωση ίση με 195,58 ppm.

5.2.1 Ανάλυση των συνολικών ΠΑΥ κάθε περιοχής με την μέθοδο της Αέριας Χρωματογραφίας

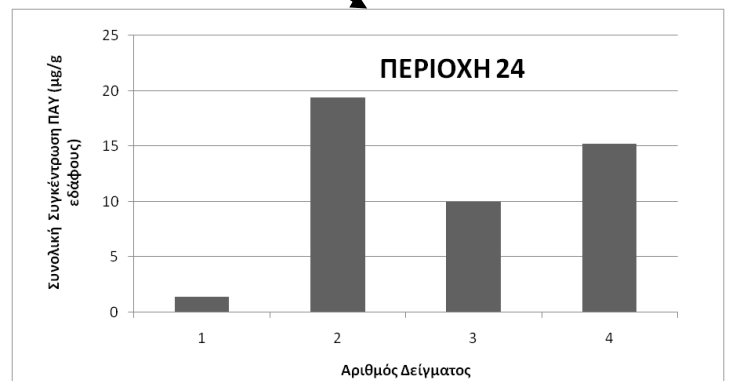
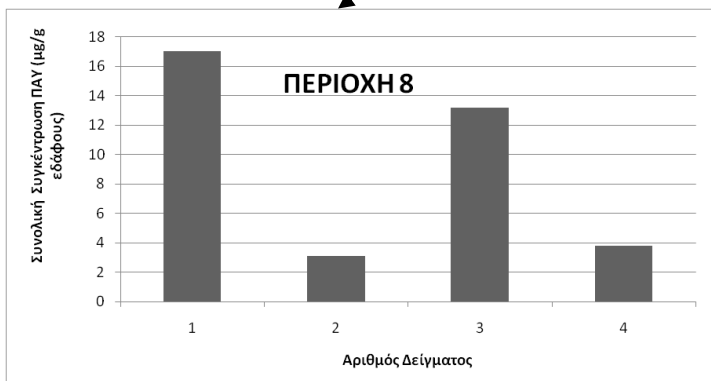
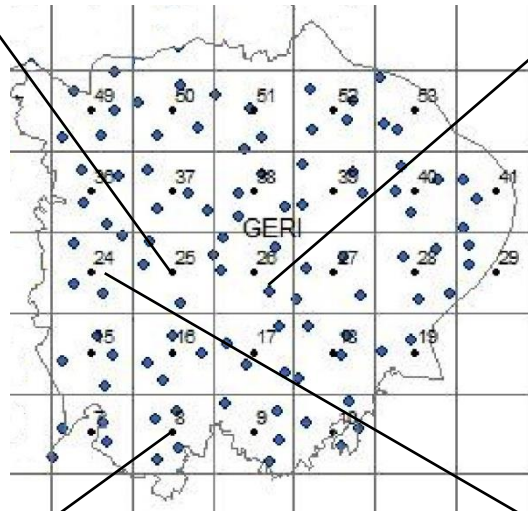
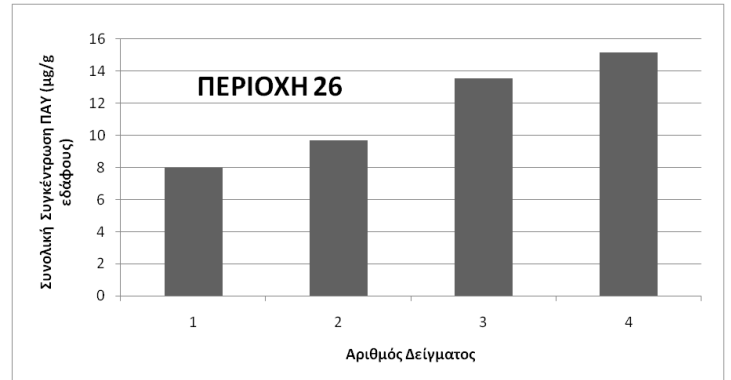
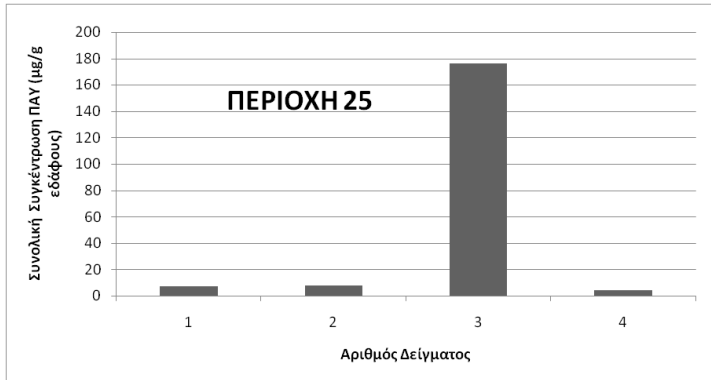
Γραφήματα όπου παρουσιάζονται οι συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ της περιοχής Λατσιών.

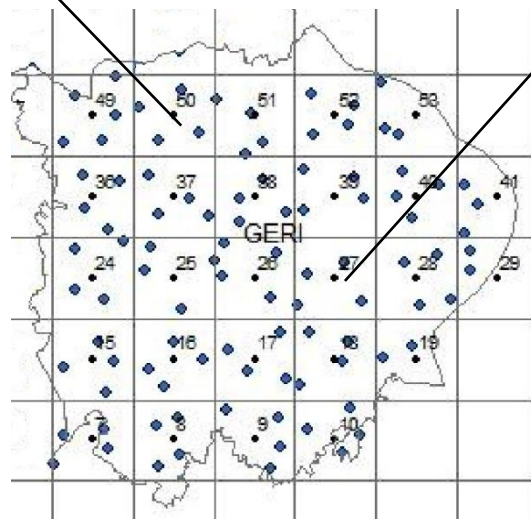
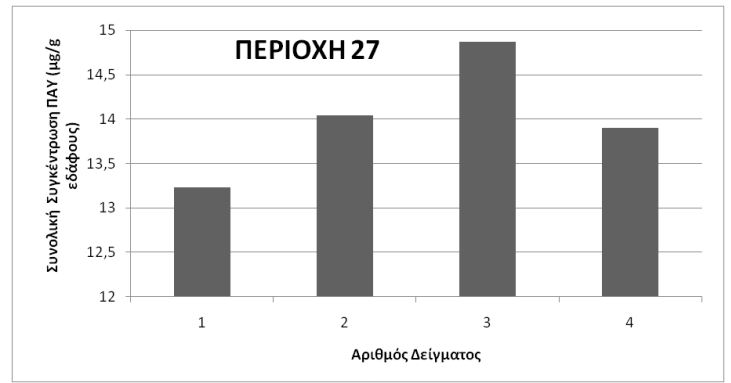
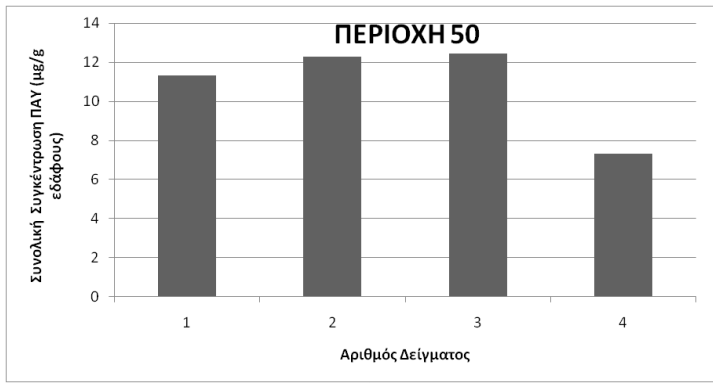




Γραφήματα 4: Συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Λατσιών

Γραφήματα όπου παρουσιάζονται οι συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ της περιοχής Γερίου..





Γραφήματα 5: Συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ για κάθε δείγμα της περιοχής Γερίου.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας σε συνδυασμό με την εκχύλιση με ανακίνηση αποδείχτηκε να είναι η καταλληλότερη στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των ΠΑΥ, όπως συμπεράθηκε από την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του πρότυπου δείγματος μετά από σύγκριση της εκχύλισης Soxhlet με απόδοση 70% και της εκχύλισης με ανακίνηση με απόδοση 90%. Χάρη την Dutch List έγινε δυνατή η σύγκριση των τιμών καθώς στην λίστα αυτή εμπεριέχονται οι επιτρεπτές τιμές για τις επιμέρους όπως επίσης και για τις συνολικές συγκεντρώσεις των ΠΑΥ στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα η λίστα περιέχει δύο όρια, το target value το οποίο αναφέρεται στο επιθυμητό όριο συγκέντρωσης, και το intervention value, το οποίο αναφέρεται στο σημείο όπου οι τιμές των συγκεντρώσεων των ΠΑΥ θεωρούνται ισχυρά επικίνδυνες. Ποσοτικά, το target value είναι ίσο με 1 ppm και το intervention value είναι ίσο με 40 ppm. Μέσω της λίστας αυτής, προέκυψε ότι στις περιοχές στις οποίες έγιναν δειγματοληψίες, τα δείγματα φέρουν αρκετά ψηλές συγκεντρώσεις, με την προαναφερόμενη μέγιστη να είναι 195,58 ppm και την μέση τιμή των συνολικών ΠΑΥ να ανέρχεται στα 21,13 ppm. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί μεμονωμένα είτε λόγω του ότι σε κάποιες περιοχές δειγματοληψίας έγκειται βιομηχανική περιοχή είτε σε αυξημένη κυκλοφορική κίνηση, τα οποία συντελούν στην αυξημένη παρουσία των ΠΑΥ στο έδαφος. Πέραν τούτου, το γεγονός πως η μέση τιμή συγκέντρωσης των ολικών ΠΑΥ ανέρχεται στα 21,13 ppm και βρίσκεται αρκετά κοντά στο ανώτατο όριο των 40 ppm υπονοεί την ανάγκη οριοθέτησης και αντιμετώπισης του προβλήματος. Οι ΠΑΥ είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την υγεία του πληθυσμού, καθώς κατά κύριο λόγο αποτελούνται από αρωματικούς δακτύλιους οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται με κρούσματα καρκίνου και άλλες θανατηφόρες παθήσεις. Η έρευνα αυτή γίνεται για πρώτη φορά σε Κυπριακά εδάφη. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής είναι αναγκαίο να αξιοποιηθούν για περαιτέρω διερεύνηση της ύπαρξης των ΠΑΥ, ούτως ώστε να αποκτηθεί μια γενική εικόνα για την κατάσταση των αστικών εδαφών της Κύπρου και μέσω αυτής να ληφθούν τα απαιτούμενα μέτρα για την σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, είτε αυτά έχουν να κάνουν με την νομική οριοθέτηση των συγκεντρώσεων των ΠΑΥ στο έδαφος είτε με την ανάπτυξη και εφαρμογή μεθόδων απορρύπανσης του εδάφους.

7 Μελλοντική Έρευνα

Ως μελλοντική έρευνα μπορεί να γίνει περαιτέρω ανάλυση δειγμάτων αστικών εδαφών έτσι ώστε να αποκτηθεί μια πλήρης εικόνα για την ύπαρξη των ΠΑΥ στα κυπριακά εδάφη. Μέσω των δεδομένων που θα αποκτηθούν, δύναται να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση της κατάστασης, από την οποία μπορούν να εφαρμοστούν τυχών απαραίτητα μέτρα που να διασφαλίζουν την ανθρώπινη υγεία, είτε αυτό θα επιτευχθεί με νομοθετικά όρια είτε με περιβαλλοντικές μεθόδους (π.χ απορρύπανση εδαφών) ώστε να απαλείφουν οι επιδράσεις των ΠΑΥ σε γενικό πλαίσιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργαντά, Ειρήνη-Μαρία, (2004). Η επίδραση προσθήκης οργανικών προσθετικών στη βιοδιαθεσιμότητα της φαινανθρίνης σε αγροτικά εδάφη και η εύρεση της καταλληλότερης τεχνικής για την εκχύλιση της. Σελ: 5, 7, 8.
2. Θεοδωρακάκης, Μάριος επιμ. (2013). National geographic magazine = εγκυκλοπαίδεια του περιβάλλοντος για νέους, τόμος 5, Σελένα εκδοτική Α.Ε.: Αθήνα, page: 4-5, 10-13.
3. Καραγκιοζίδου, Όλγα (2014). Μελέτη κατανομής των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στα εσπνεύσιμα και αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια αστικών περιοχών. σελ: 6, 9.
4. Κομηνού Ξ. και Σπύρου Δόντα (2003). Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) στο περιβάλλον και στους χώρους εργασίας. Περιοδικό του Ελληνικού Ινστιτούτου Υγιεινής και Ασφάλειας της εργασίας, τεύχος: 16 , Εκδότης Κέντρο τεκμηρίωσης και πληροφόρησης: Αθήνα.
5. Ματζίρης, Ευάγγελος Η. (2011) Χαρακτηριστικά των εδαφών της Θεσσαλονίκης και εκτίμηση τους ως μέσο ανάπτυξης του αστικού πρασίνου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Θεσσαλονίκη.
6. Τσιανάκας, Κ., Φουρμουζής, Α., Ζαχαρίας, Α., 2010. Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα.
7. Χουλιάρης, Ν. 2002. Εργαστηριακά Μαθήματα Εφαρμοσμένης εδαφολογίας, εκδόσεις ΙΩΝ.
8. Χρυσικού, Λ., 2009. Μελέτη της κατανομής και της βιοδραστικότητας σωματιδιακών οργανικών ρύπων στην ατμόσφαιρα αστικών περιοχών. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Χημείας, Θεσσαλονίκη.
9. Alexander M. (1991) Research needs. *Environ. Sci. Technol.* 25, 1972-1974.
10. Awata, A., Bates, S., Knaub, D. and Popelka, R., 1998. Polynuclear aromatic hydrocarbons: Properties and environmental fate. ChemsonUniversity, ParticideInformationProgram.
11. Bakker, M. I., Casado, B., Koerselman, J. W., Tolls, J., Kolloffel, C., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and plant samples from the vicinity of an oil refinery. *The Science of the Total Environmet.* 263, 91-100.

12. Barret, I. (1987). Research in Urban Ecology. Report to the Nature Conservancy Council.
13. Biasioli, M., Barberis, R., AjmoneMarsan, F. 2006. The influence of a large city on some soil properties and metals content. *The Science of the Total Environment* 356, 154-164.
14. Bockheim, J.G. 1974. Nature and properties of highly disturbed urban soils, Philadelphia, Pa. Paper presented before Div. S-5, Soil Sci. Soc. Am. Annual Meeting, Chicago, IL.
15. Cemiglia C.E. 1992. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Biodegradation* 3, 351-368.
16. Craul, P.J. 1985. A description of urban soils and their desired characteristics. *J. Arboriculture* 11(11), 330-339.
17. Flowers, L., Reith, S. H. Cogliano, V. J., Foureman, G. L., Hertzberg, R., Hofmann, E. L., Murphy, D. L., Nesnow, S., and Schoney, R. S., 2002. Health assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons mixtures: Current practices and future directions. *Polycyclic aromatic compound*, 22, 811-821.
18. Heitzer, A., Webb, O.F., Thonnard, J.E., Sayler, G.S., 1992. Specific and quantitative assessment of naphthalene and salicylate bioavailability by using a bioluminescent catabolic reporter bacterium. *Applied and Environmental Microbiology* 58, 1839-1846.
19. Johnson, D. L., Anderson, D. R., McGrath, S. P., 2005. Soil microbial response during the phytoremediation of a PAH contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 2334-2336.
20. Jones, K.C., Alcock, R.E., Johnson, D.L., Nothcott, G.L., Semple, K.T., Woolgar, P.J., 1996. Organic chemicals in contaminated land: analysis, significance and research priorities. *Land Contamination and Reclamation* 3, 189-197.
21. Kelsey, J.W., Kottler, B.D., Alexander, M. 1997. Selective chemicals extractants to predict bioavailability of soil-aged organic chemicals. *Environmental Science and Technology* 31, 214-217.
22. LaDou, Joseph ed. (1997). *Occupational and environmental medicine*, Appleton & Lange: New York
23. Lee, M. L., Novotny, M. V., Bartle, K. D., 1981. *Analytical chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds*. Academic Press, New York

24. Lima, C.A.L., Farrington, J.W., Reddy, C.M., 2005. Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment—A Review. *Environmental Forensics*, 6, 109–131.
25. Luthy M. L., R. G., Aiken G. R., Brussaeu Cunningham S. D., Gschwend P. M., Pignatello J. J., Reinhard M, Traina S. J., Weber W. J., Jr. and Westall J. C. (1997) Sequestration of hydrophobic organic contaminants by geosorbents. *Environ. Sci. Technol.* 31, 3341-3347.
26. Menzie, C.A. et al. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. *Environmental science and technology*, 26: 1278-1284 (1992).
27. Northcott. G.L., Jones K.C. Experimental approaches and analytical techniques for determining organic compound bound residues in soil and sediment. *Environmental Pollution* 108 (2000) 19-43.
28. Patterson, J.C., Murray, J.J., Short, J.R. 1980. The impact of urban soils on vegetation. *METRIA: 3*, Proceedings of the Third Conference of Metropolitan Tree Improvement Alliance, pp. 33-56. Rutgers, The State University, New Brunswick, NJ.
29. Ravindra, K., Sokhi, R., Van Grieken, R., 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation, *Atmospheric Environment*, 42, 2895–2921.
30. Santodonato, J. (1997). Review of the estrogenic and antiestrogenic activity of polycyclic aromatic hydrocarbons: relationship to carcinogenicity. *Chemosphere*, 34, 835-848.
31. Scow K. M. and Alexander M. (1992) Effect of diffusion on the kinetics of biodegradation: experimental results with synthetic aggregates. *Soil Science Society American Journal*. 56, 128-134.
32. Thornton, I., 1991. Metal contamination of soils in urban areas. In: Bullock P., Gregory, P.J. (Eds.), *Soils in the Urban Environment*. Blackwell, pp. 47–75.
33. US Environmental Protection Agency, 1992. Framework for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R92/001. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
34. Wild, S., Jones, K., 1995. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: A preliminary source inventory and budget. *Environmental Pollution*, 88, 91-108.

35. Xiao Ping, N., Tan Dong, Y., Zhi Yuan, C., Xin Liang, Y., Shi Chang, K., Yong, Z., 2007. Concentration level and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and grass around Mt. Qomolagma, China, 52, pp 1405-1413.
36. Yuan, S. Y., Chang, J. S., Yen, J. H., and Chang, B. V., 2001. Biodegradation of phenanthrene in river sediment. *Chemosphere*, 43, 273-278.