



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΧΓΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

## ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ

Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών  
ρύπων στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου

## ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Απρίλιος 2016

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΕΙΔΙΚΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΔΥΛΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Κτίριο ΚΕΔΕΑ, 3ης Σεπτεμβρίου,  
Πανεπιστημιούπολη,  
546 36 Θεσσαλονίκη

Πρόεδρος: Καθηγητής Θ. Λαόπουλος,  
Αναπληρωτής Πρύτανης Έρευνας και  
Συντονισμού

Τηλ. 2310 995140, Fax 2310 200392

Email: research@rc.auth.gr

ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

"Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος-  
Ομάδα Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων,  
ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ",

Παλαιό Χημείο, Πανεπιστημιούπολη, 541 24  
Θεσσαλονίκη

Διευθύντρια: Καθηγ. Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου

Τηλ. 2310 997805, Fax 2310 997747

Email: csamara@chem.auth.gr

<i>Τίτλος Έργου</i>	<b>Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου</b>
<i>Χρονική Διάρκεια</i>	12 μήνες (16/03/2015 – 15/03/2016)
<i>Φορέας Χρηματοδότησης</i>	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΟΣ ΒΟΛΟΥ, Α.Ε.
<i>Αριθμός Συμβολαίου</i>	Απόφαση ΟΛΒ για Παράταση Σύμβασης Ανάθεσης Έργου (16-03-2015)
<i>Ανάδοχος</i>	Διαπιστευμένο Εργαστήριο "Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος-Ομάδα Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων, ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ", Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ.
<i>Επιστημονικώς Υπεύθυνη</i>	Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Καθηγήτρια Τμ. Χημείας Α.Π.Θ.
<i>Επιστημονικοί Συνεργάτες</i>	Δ. Βουτσά, Αναπλ. Καθηγήτρια Τμ. Χημείας Α.Π.Θ. Α. Κούρας, Διδάκτωρ Χημείας, ΕΔΙΠ Τμ. Χημείας Α.Π.Θ. Ε. Μανώλη, Διδάκτωρ Χημείας, ΕΔΙΠ Τμ. Χημείας Α.Π.Θ.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Μεθοδολογία</b> .....	3
1.1. Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	3
1.2. Δειγματοληψία και χημική ανάλυση των PM10 .....	5
1.2.1. PAHs.....	5
1.2.2. Μέταλλα/μεταλλοειδή.....	6
<b>2. Αποτελέσματα</b> .....	7
2.1. Συγκεντρώσεις αέριων και σωματιδιακών ρύπων .....	7
2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες .....	11
2.3. Σταθμικές μετρήσεις /αναλύσεις PM10 .....	18
2.3.1. PM10.....	18
2.3.2. PAHs.....	18
2.3.3. Μέταλλα/μεταλλοειδή.....	24
2.4. Συγκριτικά δεδομένα .....	28
Βιβλιογραφία .....	32

# 1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

## 1.1. Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) είναι εγκατεστημένος σε οικίσκο που διατέθηκε από την ΟΛΒ Α.Ε. και βρίσκεται στο δυτικό άκρο της περιοχής του λιμένα (Εικόνα 1). Ο εξοπλισμός του ΣΜΑΡ περιλαμβάνει όργανα online μέτρησης αερίων ρύπων ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ , αρωματικών υδρογονανθράκων ΒΤΕΧ) και αιωρούμενων σωματιδίων  $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$ , μετεωρολογικό σταθμό, λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων, Η/Υ και δειγματολήπτη  $\text{PM}_{10}$  (Πίνακας 1, Εικόνα 2).



**Εικόνα 1.** Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) του ΟΛΒ

Οι αναλυτές  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ , ΒΤΕΧ είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του οικίσκου, σε κλιματιζόμενο χώρο. Ο αυτόματος μετρητής  $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$  και ο δειγματολήπτης  $\text{PM}_{10}$  τοποθετήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένες εξωτερικές θέσεις, στο πλαϊνό και μπροστινό μέρος του οικίσκου. Τα ακροφύσια και οι κεφαλές όλων των συσκευών μέτρησης/δειγματοληψίας τοποθετήθηκαν σε κατάλληλο ύψος από το έδαφος ώστε να βρίσκονται μέσα στη ζώνη αναπνοής (1.5-3.5 m).

**Πίνακας 1.** Εξοπλισμός του ΣΜΑΡ του ΟΛΒ

<b>Εξοπλισμός</b>	<b>Τύπος</b>
Αναλυτής NO <sub>x</sub>	AC32M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής O <sub>3</sub>	O341M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX	VOC71M, ENVIRONMENT SA
Μετρητής PM10/PM2.5	DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor, TSI
Μετεωρολογικός σταθμός με <ul style="list-style-type: none"><li>– αισθητήριο ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου</li><li>– αισθητήριο θερμοκρασίας και υγρασίας</li><li>– αισθητήριο βαρομετρικής πίεσης</li></ul>	LSI-LASTEM
Λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων	ENVIDAS For Windows της Envitech LTD
Δειγματολήπτης PM10	LVS Ingenieur Derenda, Berlin με κεφαλή PM10 και παροχή 2.3 m <sup>3</sup> /h σε συμφωνία με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341



**Εικόνα 2.**

*Δειγματολήπτης αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά ISO/IEC EN-12341*

Η βαθμονόμηση/συντήρηση των αυτόματων αναλυτών NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, BTEX γίνεται σε μηνιαία βάση από διαπιστευμένο Εργαστήριο I.B. Καμπάς Ε.Π.Ε., Κέντρο Αναλυτικής Οργανολογίας & Εργαστηρίων Περιβαλλοντικών Μετρήσεων.

## 1.2. Δειγματοληψία και χημική ανάλυση των PM10

Η δειγματοληψία των PM10 γίνεται με συχνότητα περίπου 1 δείγμα ανά 8 ημέρες σε προζυγισμένο φίλτρο quartz (Tissuquartz Pall,  $\Phi$  47 mm). Η διάρκεια των δειγματοληψιών είναι 24 ώρες. Τα φορτισμένα φίλτρα μεταφέρονται στο Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος για προσδιορισμό της συγκέντρωσης των PM10 και περαιτέρω χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό των καρκινογόνων συστατικών B[a]P, As, Cd, Ni σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ. Η δειγματοληψία, χειρισμός και ζύγιση των φίλτρων γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341.

Μετά την τελική ζύγιση, τα φίλτρα κόβονται ακριβώς στη μέση και το ένα μισό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του B[a]P και άλλων PAHs, ενώ το άλλο μισό για τον προσδιορισμό Ni, Cd, As και άλλων βαρέων μετάλλων.

### 1.2.1. PAHs

Η εκχύλιση των PAHs από τα φίλτρα πραγματοποιήθηκε σε συσκευή μικροκυμάτων (CEM MARSX, Model 907600, CEM Corp.) με μίγμα dichloromethane:n-hexane (3:2 v/v). Μετά τη συμπύκνωση των εκχυλισμάτων, αρχικά σε περιστροφικό εξατμιστήρα κενού, και στη συνέχεια με ήπιο ρεύμα N<sub>2</sub>, έγινε επαναδιάλυση του υπολείμματος σε 1 mL acetonitrile. Οι PAHs προσδιορίστηκαν με την τεχνική της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με προγραμματιζόμενο φθορισμομετρικό ανιχνευτή (HPLC/FLD) σύμφωνα με βελτιστοποιημένες διαδικασίες του Εργαστηρίου Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος (Manoli et al., 2002; Manoli et al., 2004; Manoli et al., 2015).

Η βαθμονόμηση του συστήματος HPLC/FLD έγινε με το πρότυπο NIST Standard Reference Material 1647c που περιέχει 16 PAHs: Naphthalene (Np), Acenaphthylene (Acn), Acenaphthene (Ace), Fluorene (F), Phenanthrene (Ph), Anthracene (An), Fluoranthene (Fl), Pyrene (Py), Benzo[a]anthracene (B[a]An), Chrysene (Chry), Benzo[b]fluoranthene (B[b]Fl), Benzo[k]fluoranthene (B[k]Fl), Benzo[a]pyrene (B[a]Py), diBenzo[a,h]anthracene (dB[a,h]An), Benzo[g,h,i]perylene (B[ghi]Pe), Indenol[1,2,3-c,d]pyrene (IPy). Το Acenaphthylene έχει πολύ ασθενή φθορισμό και γι αυτό δεν μπορεί να ανιχνευθεί με HPLC/FLD. Στο κεφάλαιο 2.2.2 δίνονται αποτελέσματα για 13 PAHs (Ph-IPy) που συνήθως ανιχνεύονται στη σωματιδιακή φάση της ατμόσφαιρας.

Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Η ανάκτηση των χαμηλού MB PAHs (Np, Ace και F) είναι συνήθως σχετικά χαμηλή και με μεγάλες διακυμάνσεις (48–71%) λόγω της υψηλής τους πτητικότητας και για το λόγο αυτό δεν δίνονται αποτελέσματα για αυτές τις ενώσεις. Η ανάκτηση των υπόλοιπων PAHs ήταν σχεδόν ποσοτική (87–108%) και η επαναληψιμότητα της μέτρησής τους (εκφραζόμενη ως σχετική τυπική απόκλιση του ύψους κορυφής) καλύτερη από 10%. Τα όρια ανίχνευσης (LOD) των διαφόρων PAHs κυμάνθηκαν μεταξύ 0.001 και 0.077

ng/m<sup>3</sup>. Για τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, οι συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης θεωρήθηκαν ίσες με το μισό της τιμής του ορίου.

### **1.2.2. Μέταλλα/ μεταλλοειδή**

Ο προσδιορισμός των μετάλλων/μεταλλοειδών στα δείγματα των PM10 πραγματοποιείται με την τεχνική ICP-MS μετά από διαλυτοποίηση (πέψη) των φίλτρων με μίγμα νιτρικού οξέος HNO<sub>3</sub> και υπεροξειδίου του υδρογόνου H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Η ανάκτηση των μετάλλων από τα δείγματα των φίλτρων κυμάνθηκε μεταξύ 95.4% για το Cr και 111% για το As. Το όριο ποσοτικοποίησης (LOQ) για τα στοιχεία Pb, As, Ni, Mn, Fe, Zn και Cr είναι 0,025 μg/δείγμα, ενώ για το Cd είναι 0,0025 μg/δείγμα. Για τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων, οι συγκεντρώσεις κάτω από το όριο ανίχνευσης θεωρήθηκαν ίσες με το μισό της τιμής του ορίου.

## 2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 2.1. Συγκεντρώσεις αέριων και σωματιδιακών ρύπων

Η μέση ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων ΒΤΕΧ, ΝΟ<sub>x</sub>, Ο<sub>3</sub>, ΡΜ10 και ΡΜ2.5 κατά το χρονικό διάστημα Μάρτιος 2015 – Μάρτιος 2016 δίνεται στο Σχήμα 1. Όπως προκύπτει, όλοι οι πρωτογενείς ρύποι εμφανίζουν δύο μέγιστα ένα πρωινό (8:00-9:00) και ένα βραδινό (23:00-24:00), τα οποία σχετίζονται με την ημερήσια διακύμανση των πηγών εκπομπής (κυκλοφορία, οικιακή θέρμανση), αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών (ύψος ανάμιξης, ταχύτητα ανέμου). Όπως αναμενόταν, η ημερήσια διακύμανση του δευτερογενούς Ο<sub>3</sub> είναι αντίθετη με μέγιστο μεταξύ 14:00-18:00.

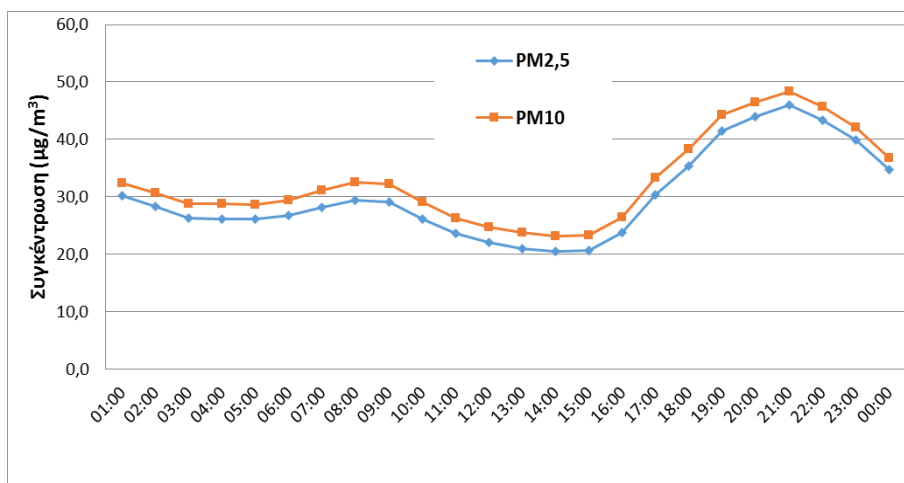
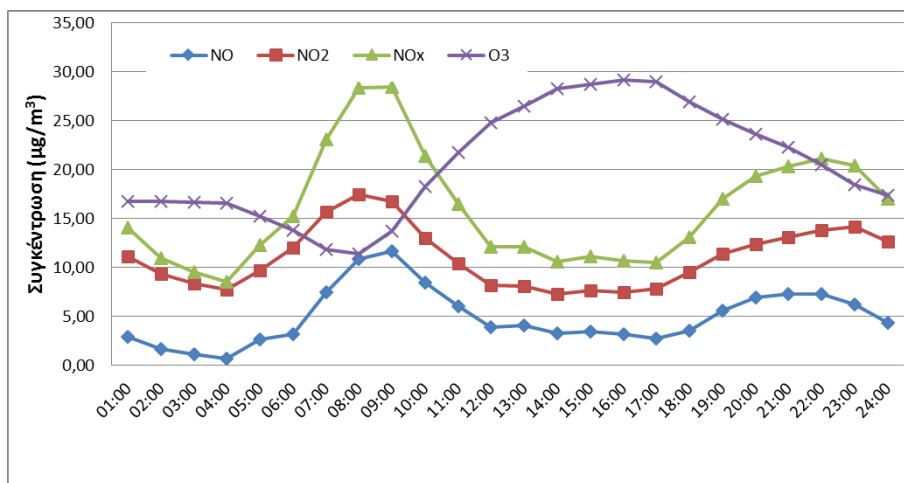
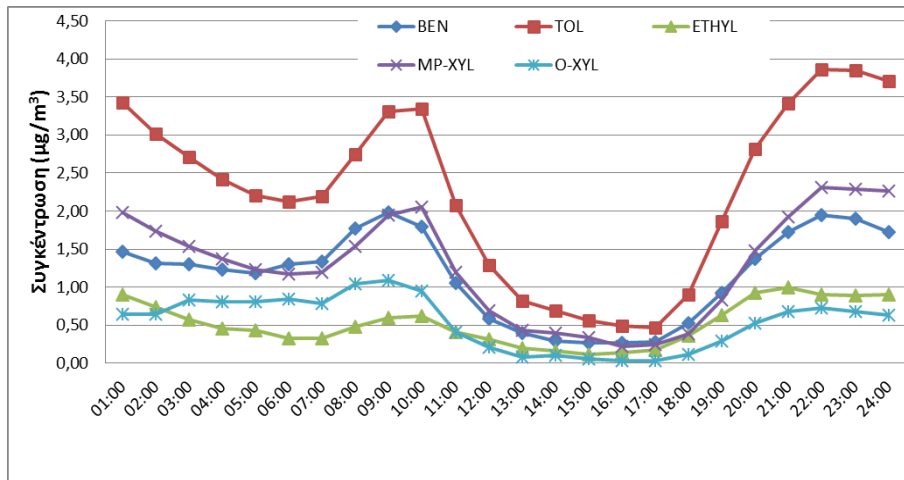
Η συνδιακύμανση που παρατηρείται μεταξύ πολλών ρύπων υποδηλώνει ότι αυτοί εκπέμπονται από τις ίδιες ανθρωπογενείς πηγές, εκτίθενται στα ίδια φαινόμενα αραίωσης μετά την εκπομπή τους στον ατμοσφαιρικό αέρα, ή ακόμη ότι υπόκεινται στους ίδιους μηχανισμούς αποδόμησης π.χ. μέσω χημικών αντιδράσεων ή φωτόλυσης.

Η εβδομαδιαία και μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων των ΒΤΕΧ, ΝΟ<sub>x</sub>, Ο<sub>3</sub>, ΡΜ10 και ΡΜ2.5 δίνονται στα Σχήματα 2 και 3, αντίστοιχα. Όπως προκύπτει, οι συγκεντρώσεις όλων των πρωτογενών ρύπων είναι σχετικά υψηλότερες κατά τις εργάσιμες ημέρες σε σύγκριση με το Σαββατοκύριακο, και σημαντικά υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες σε σύγκριση με τους θερινούς. Οι υψηλότερες τιμές της χειμερινής περιόδου οφείλονται τόσο στις εκπομπές από εποχικές πηγές (οικιακή θέρμανση, αυξημένες εκπομπές από την κυκλοφορία ή/και τη βιομηχανία), όσο και στις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (χαμηλότερο ύψος ανάμιξης, πιο συχνές άπνοιες και θερμοκρασιακές αναστροφές) που δεν ευνοούν τη διασπορά. Αντίθετη είναι η εβδομαδιαία και μηνιαία διακύμανση του δευτερογενούς Ο<sub>3</sub>.

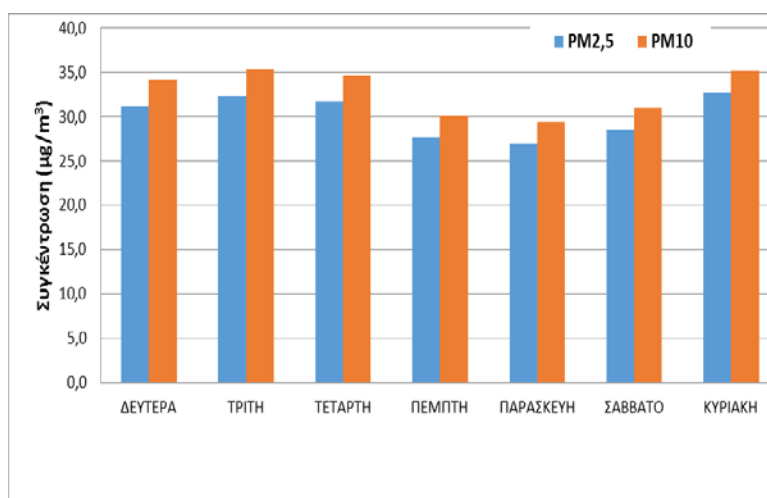
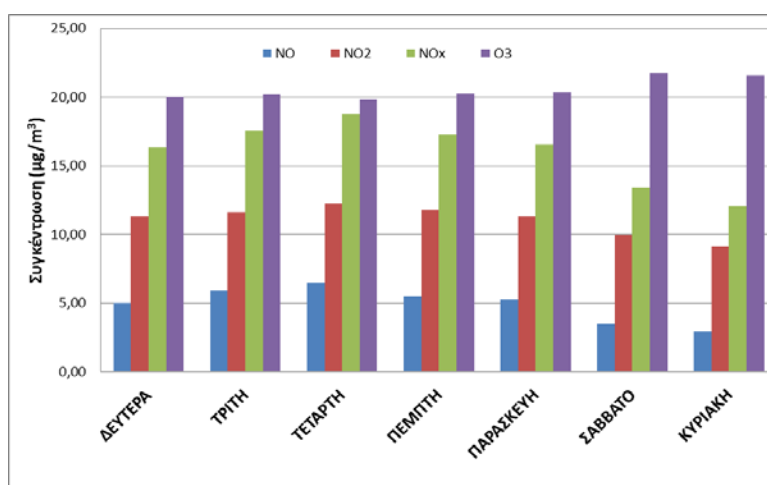
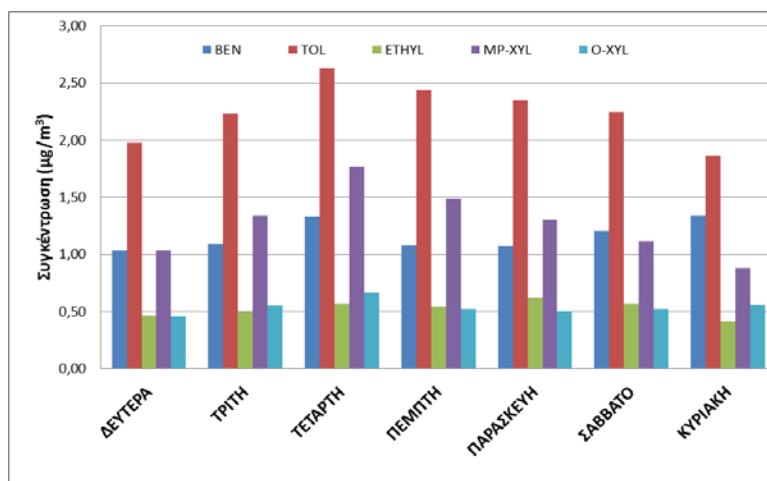
Σε σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη», η μέση ωριαία τιμή του ΝΟ<sub>2</sub> για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 11 μg/m<sup>3</sup>, κατά πολύ μικρότερη από το ετήσιο όριο (40 μg/m<sup>3</sup>), ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 200 μg/m<sup>3</sup>. Αντίστοιχα, η μέση τιμή του βενζολίου για το ίδιο χρονικό διάστημα ήταν 1.2 μg/m<sup>3</sup>, επίσης κατά πολύ μικρότερη του ετήσιου ορίου (5 μg/m<sup>3</sup>).

Η μέση ετήσια τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος ΡΜ10 ήταν 33 μg/m<sup>3</sup>, μικρότερη του αντίστοιχου ετήσιου ορίου (40 μg/m<sup>3</sup>), ενώ ο αριθμός των υπερβάσεων του ημερήσιου ορίου των 50 μg/m<sup>3</sup> ήταν 69 (με τιμές μεταξύ 51-172 μg/m<sup>3</sup>), μεγαλύτερος του ανώτατου επιτρεπτού αριθμού των 35 υπερβάσεων/έτος. Τέλος, η μέση ετήσια τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος ΡΜ2.5 ήταν 31 μg/m<sup>3</sup>, μικρότερη του ετήσιου ορίου (25 μg/m<sup>3</sup>).

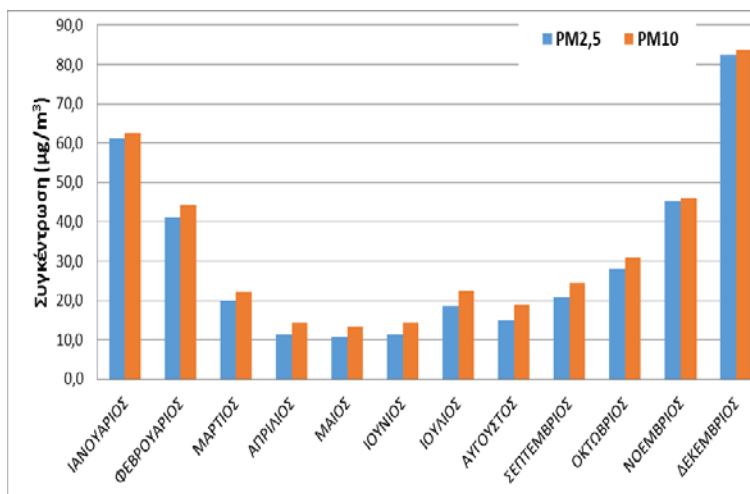
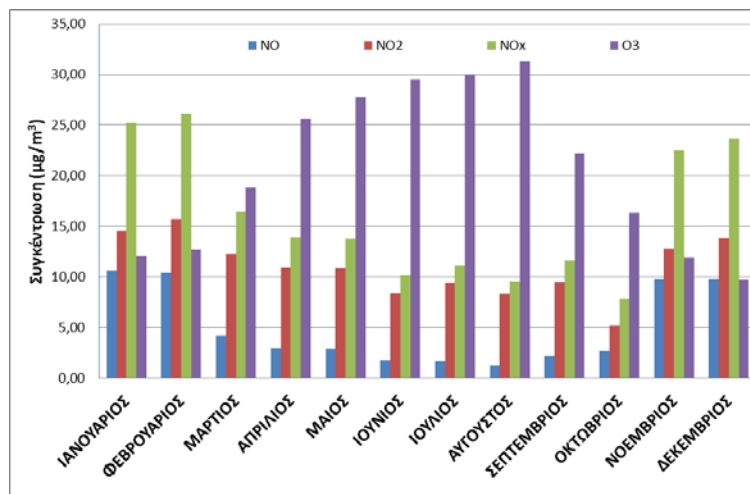
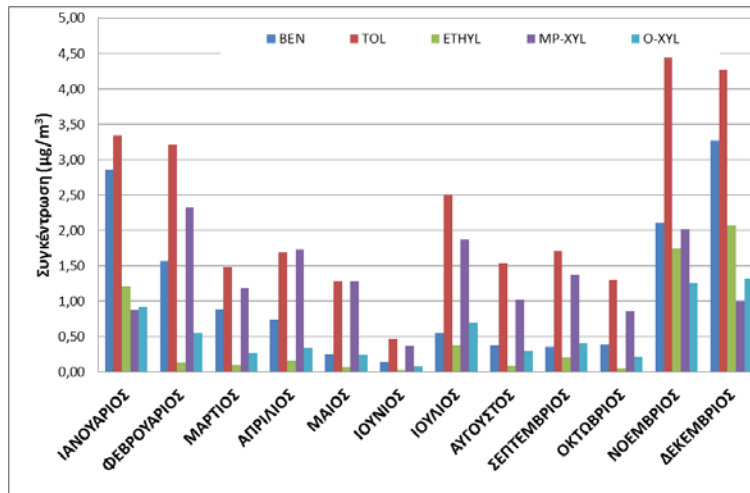




**Σχήμα 1.** Μέση ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NOx, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub> κατά το χρονικό διάστημα Μάρτιος 2015 – Μάρτιος 2016



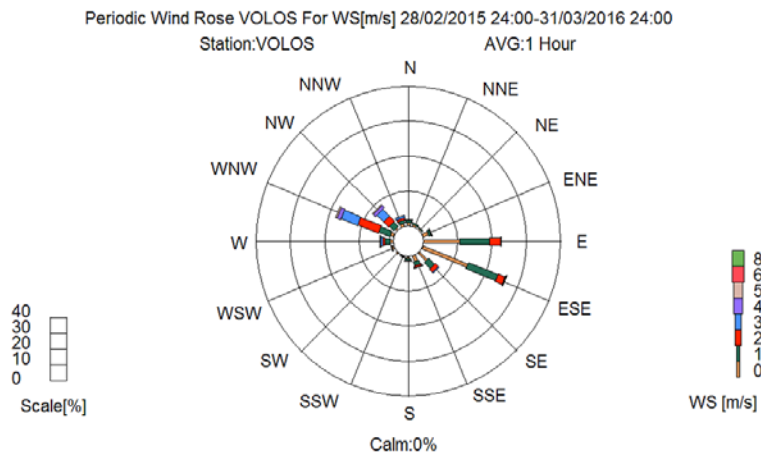
**Σχήμα 2.** Μέση εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub> κατά το χρονικό διάστημα Μάρτιος 2015 – Μάρτιος 2016



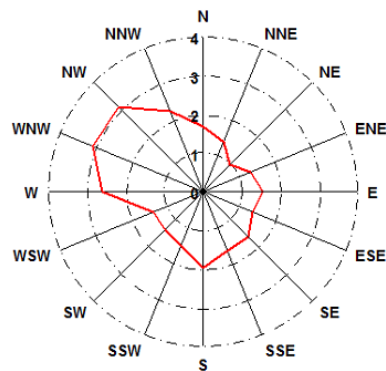
**Σχήμα 3.** Μέση μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NOx, O<sub>3</sub>, PM10 και PM2.5 κατά το χρονικό διάστημα Μάρτιος 2015 – Μάρτιος 2016

## 2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες

Η συχνότητα εμφάνισης των επικρατούντων ανέμων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων δίνεται στο ροδόγραμμα του Σχήματος 4. Είναι εμφανές ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, στην περιοχή επικρατούσε άπνοια σε ποσοστό περίπου 11%, άνεμοι νοτιοανατολικοί-ανατολικοί ασθενείς (με ταχύτητα < 2 m/s) σε ποσοστό περίπου 50% και σε μικρότερο ποσοστό άνεμοι δυτικοί-βορειοδυτικοί, πιο ισχυροί (με ταχύτητα μέχρι και 5 m/s).



Periodic Wind Polar Mean 28/02/2015 24:00 - 31/03/2016 24:00 1 Hour AVG

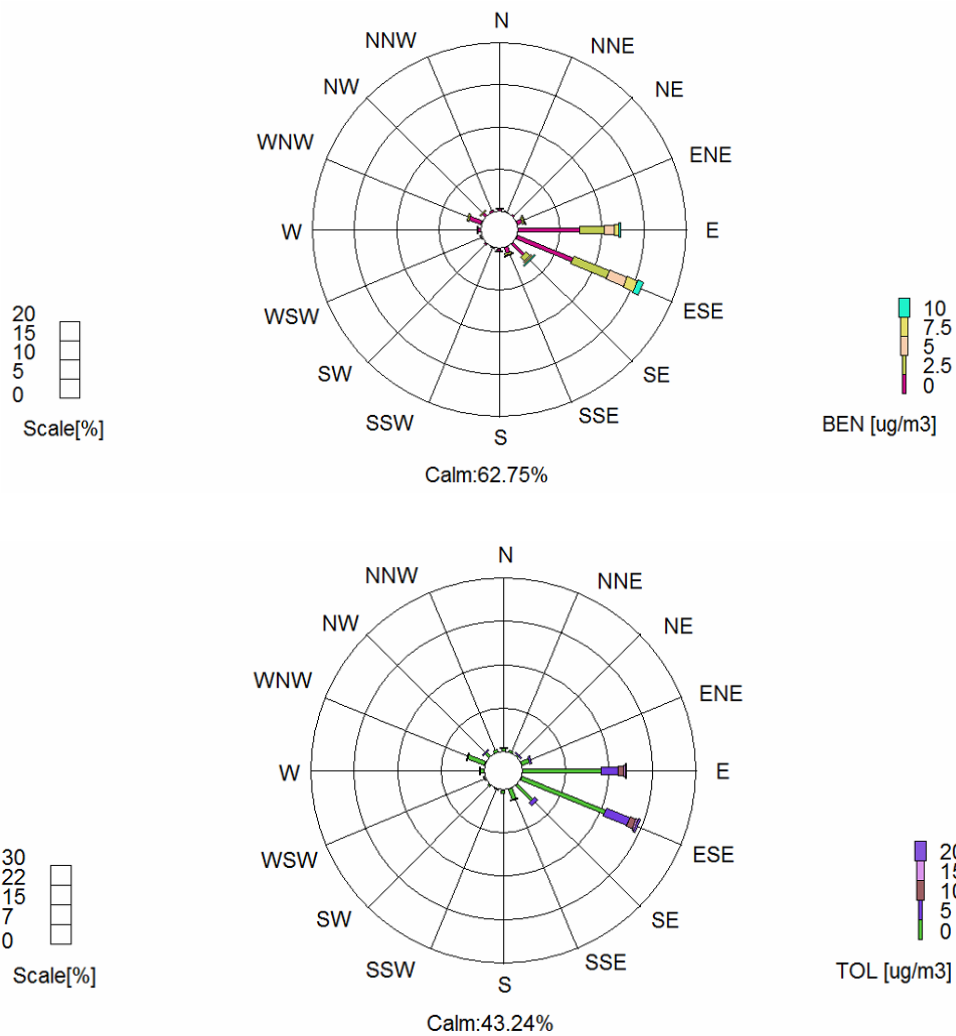


WS [m/s]  
0 >

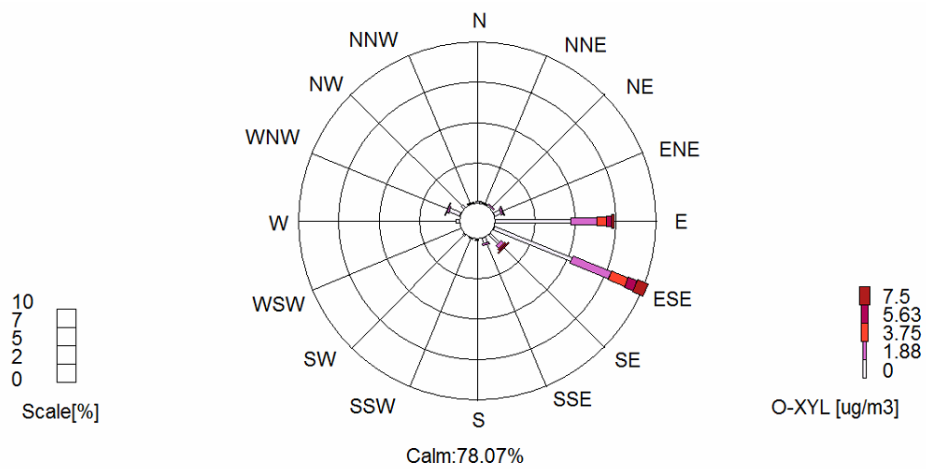
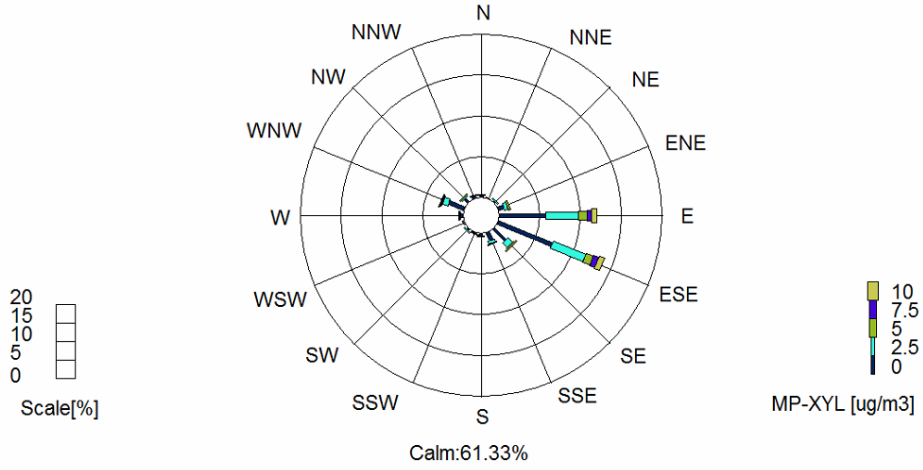
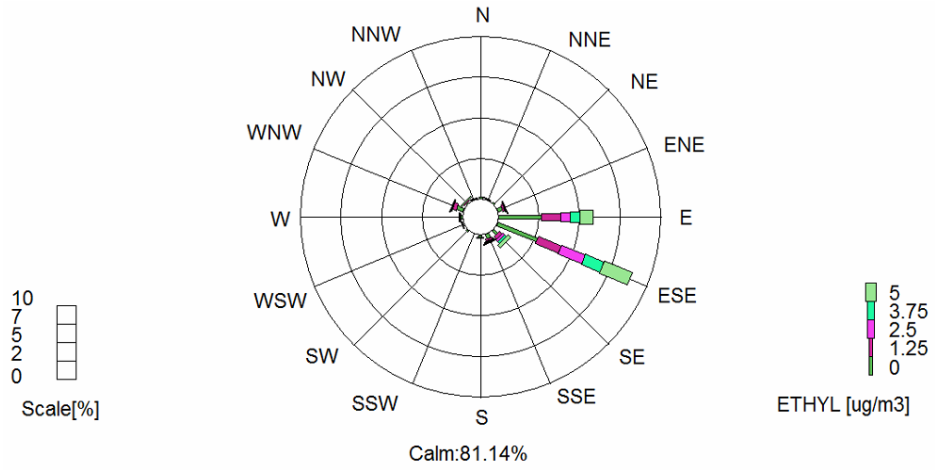
Calm < 0.5m/s! = 0.4m/s!

**Σχήμα 4.** Επάνω: Ροδόγραμμα επικρατούντων ανέμων κατά την περίοδο των μετρήσεων  
Κάτω: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση προέλευσης

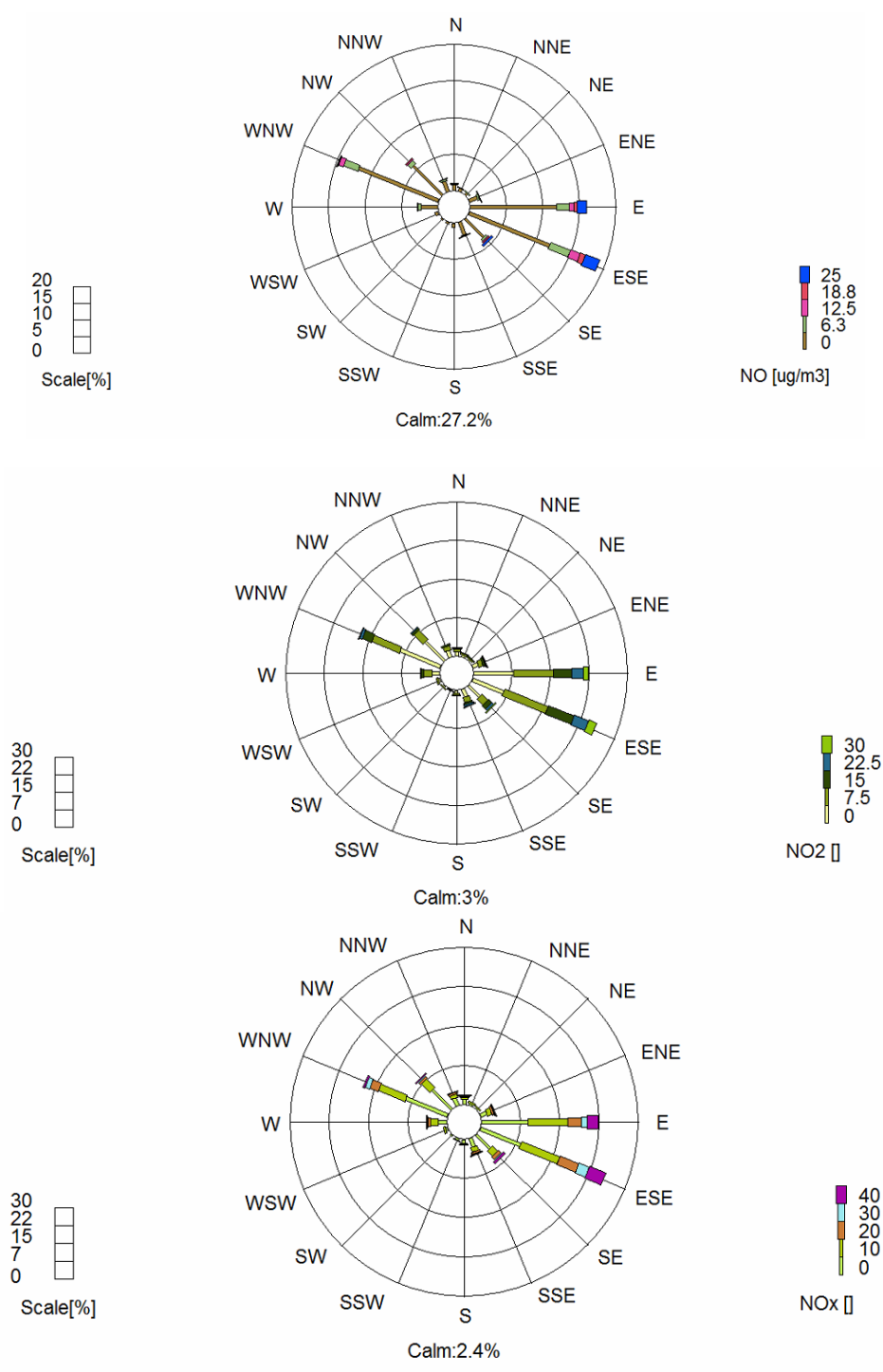
Τα αντίστοιχα ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων και των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και PM2.5 δίνονται στα Σχήματα 5-8. Όπως φαίνεται, όλοι σχεδόν οι ρύποι εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις τους με νοτιοανατολικούς και ανατολικούς ανέμους, γεγονός που υποδηλώνει επιδράσεις από την κίνηση των πλοίων, πιθανή μεταφορά από αστικές και βιομηχανικές χερσαίες δραστηριότητες από την περιοχή ανατολικά του λιμανιού, ενώ υπογραμμίζει και το σημαντικό ρόλο της θαλάσσιας αύρας, η οποία μπορεί να ανακυκλώνει τους ρύπους που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της νύχτας στην ατμόσφαιρα της πόλης.



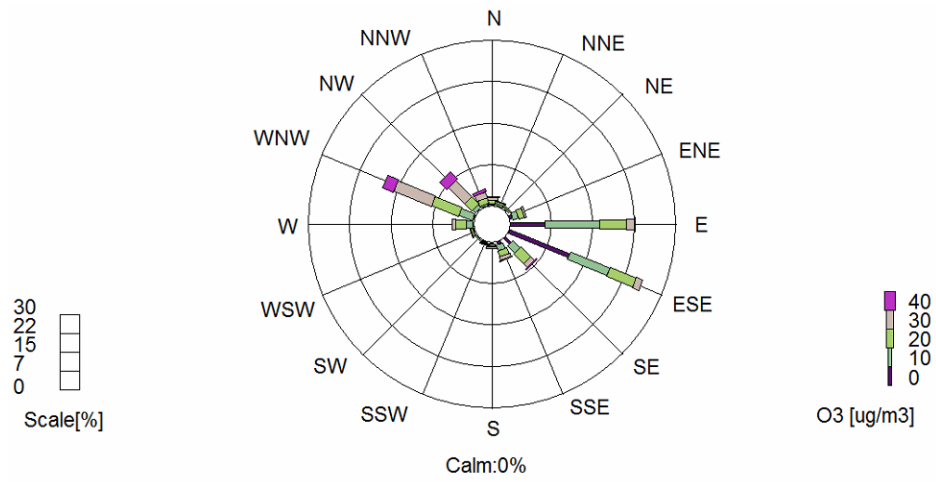
**Σχήμα 5.** Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX κατά την περίοδο των μετρήσεων



**Σχήμα 5 (συνέχεια).** Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX κατά την περίοδο των μετρήσεων

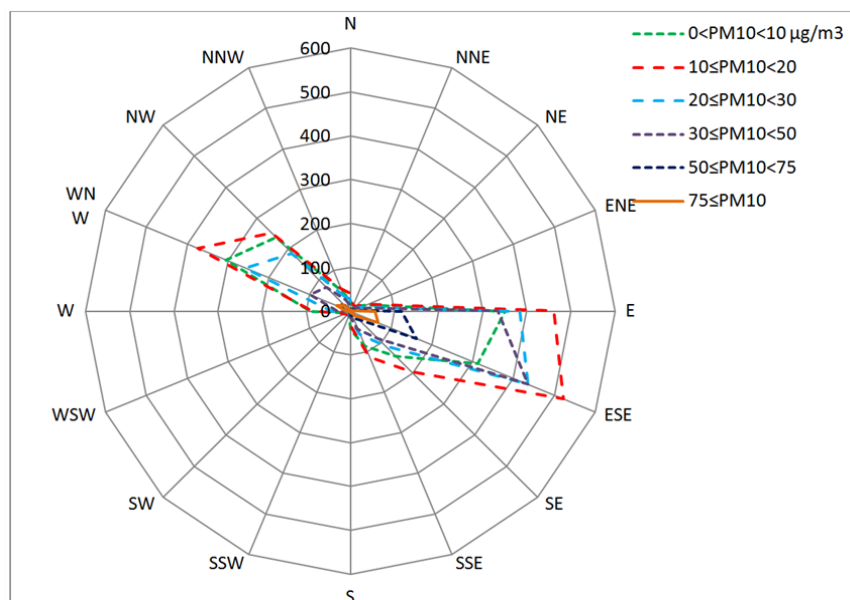
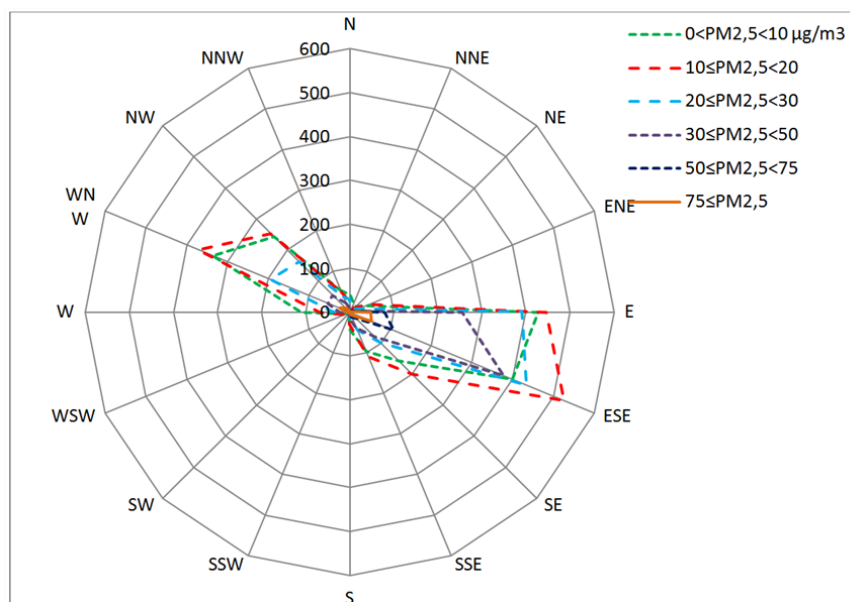


**Σχήμα 6.** Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των οξειδίων του αζώτου (NO, NO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>) κατά την περίοδο των μετρήσεων



**Σχήμα 7.** Ροδόγραμμα των συγκεντρώσεων  $O_3$  κατά την περίοδο των μετρήσεων



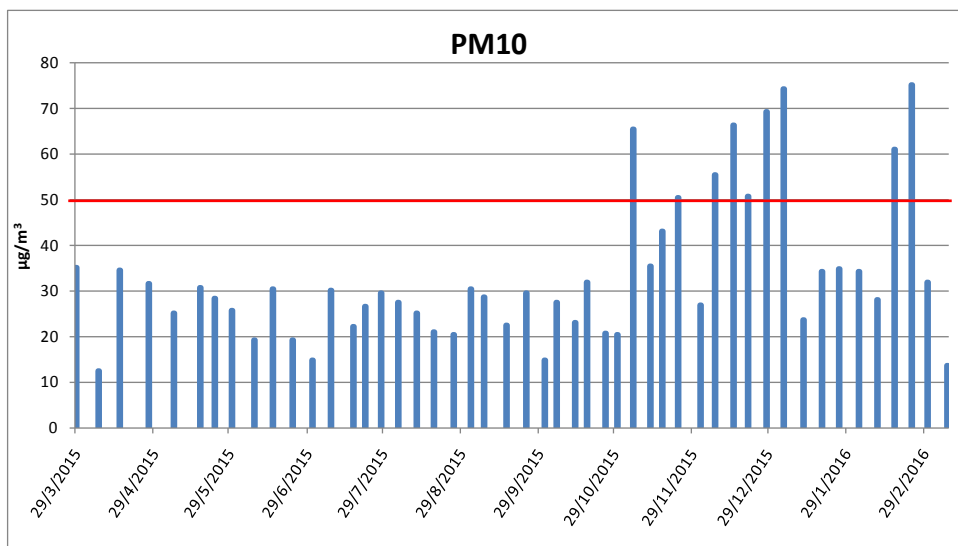


**Σχήμα 8.** Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων PM10 και PM2.5 κατά την περίοδο των μετρήσεων

## 2.3. Σταθμικές μετρήσεις/αναλύσεις PM10

### 2.3.1. PM10

Οι συγκεντρώσεις των PM10 που συλλέχθηκαν από 29/3/15 μέχρι και 9/3/2016 σε φίλτρο quartz για χημική ανάλυση και προσδιορίστηκαν σταθμικά, κυμάνθηκαν μεταξύ 12,5 και 75,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Σχήμα 9).



*Σχήμα 9. Συγκεντρώσεις των PM10 στα δείγματα που υποβλήθηκαν σε χημική ανάλυση*

### 2.3.2. PAHs

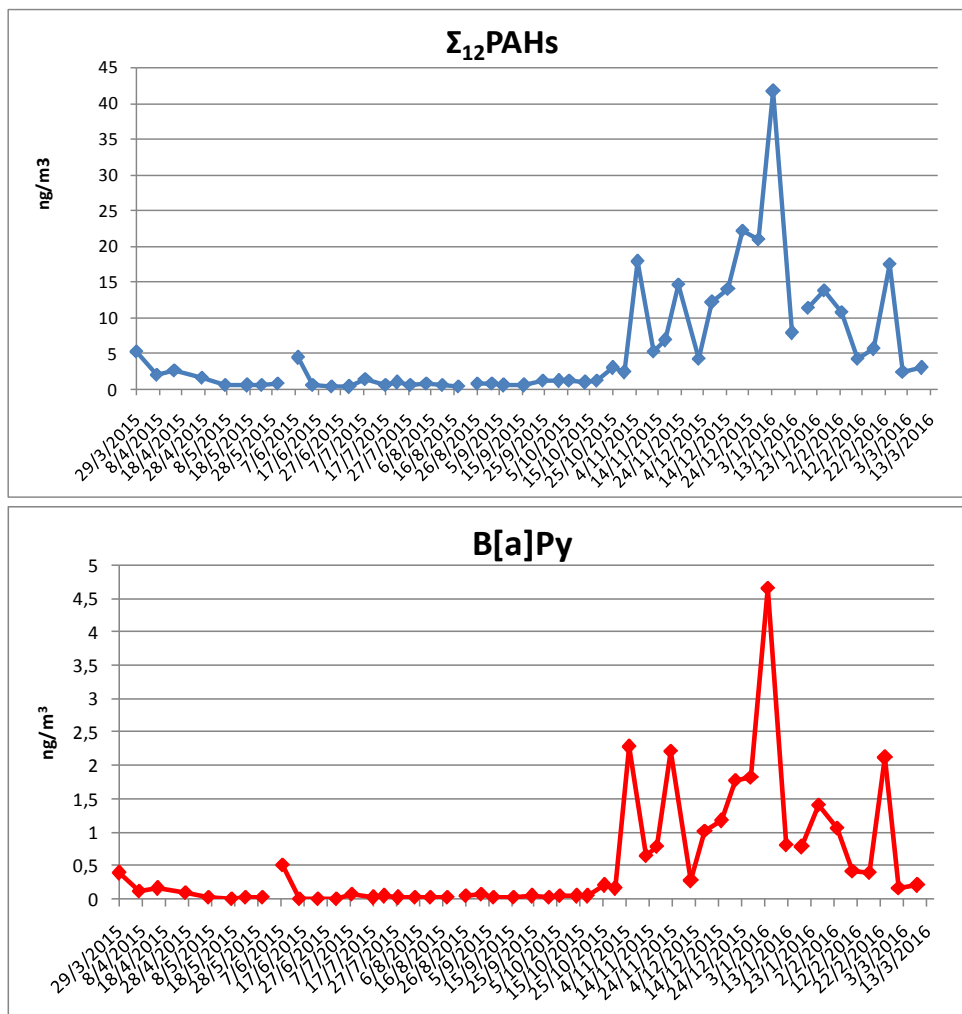
Οι συγκεντρώσεις των 12 PAHs που προσδιορίστηκαν στα δείγματα PM10 δίνονται στον Πίνακα 2. Στο Σχήμα 10 απεικονίζονται οι χρονικές διακυμάνσεις της αθροιστικής συγκέντρωσης των 13 PAHs (Σ13PAHs) και του B[a]Py. Τέλος, στο Σχήμα 11 απεικονίζεται η μέση ετήσια τιμή των 13 PAHs (Σ13PAHs) και του B[a]Py.

**Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις PAHs στα PM10 (ng/m<sup>3</sup>)**

Ημερομηνία	Ph	An	Fl	Py	B[a]An	Chry	B[b]Fl	B[k]Fl	B[a]Py	dB[a,h]An	B[ghi]Pe	IPy	Σ12PAHs
29/3/2015	0,284	0,179	0,276	0,122	0,147	0,316	1,079	0,520	0,392	0,156	0,717	1,116	5,304
7/4/2015	0,173	0,080	0,142	0,091	0,079	0,155	0,363	0,150	0,123	0,048	0,304	0,337	2,046
15/4/2015	0,153	0,069	0,222	0,149	0,077	0,179	0,537	0,186	0,161	0,071	0,390	0,485	2,680
27/4/2015	0,139	0,053	0,080	0,057	0,020	0,064	0,327	0,097	0,097	0,044	0,353	0,355	1,686
7/5/2015	0,108	0,016	0,064	0,051	0,015	0,032	0,067	0,026	0,032	0,008	0,109	0,086	0,617
17/5/2015	0,109	0,018	0,038	0,053	0,017	0,024	0,078	0,021	0,017	0,013	0,111	0,079	0,578
23/5/2015	0,171	0,020	0,077	0,058	0,016	0,027	0,077	0,026	0,032	0,012	0,109	0,101	0,726
30/5/2015	0,212	0,024	0,072	0,079	0,007	0,021	0,056	0,022	0,035	0,014	0,216	0,120	0,876
8/6/2015	0,289	0,090	0,247	0,198	0,153	0,203	0,562	0,237	0,518	0,108	1,009	0,808	4,421
15/6/2015	0,162	0,008	0,105	0,061	0,020	0,044	0,051	0,021	0,011	0,009	0,124	0,073	0,688
23/6/2015	0,122	0,008	0,086	0,033	0,018	0,026	0,038	0,011	0,016	0,010	0,131	0,015	0,515
1/7/2015	0,111	0,002	0,058	0,026	0,012	0,021	0,017	0,008	0,011	0,003	0,077	0,015	0,361
8/7/2015	0,268	0,011	0,149	0,103	0,034	0,064	0,119	0,047	0,085	0,030	0,415	0,170	1,497
17/7/2015	0,236	0,007	0,099	0,053	0,021	0,034	0,053	0,016	0,020	0,004	0,133	0,015	0,692
22/7/2015	0,182	0,015	0,124	0,066	0,025	0,059	0,124	0,043	0,046	0,014	0,154	0,111	0,963
28/7/2015	0,157	0,006	0,094	0,057	0,024	0,036	0,048	0,015	0,019	0,001	0,114	0,051	0,621
4/8/2015	0,179	0,008	0,105	0,062	0,029	0,052	0,085	0,030	0,030	0,016	0,175	0,101	0,872
11/8/2015	0,161	0,010	0,065	0,039	0,018	0,028	0,036	0,009	0,033	0,002	0,122	0,080	0,603
18/8/2015	0,141	0,010	0,069	0,034	0,019	0,031	0,044	0,012	0,033	0,006	0,107	0,015	0,519
26/8/2015	0,194	0,013	0,144	0,065	0,036	0,069	0,084	0,032	0,054	0,011	0,114	0,090	0,906
2/9/2015	0,159	0,012	0,116	0,066	0,036	0,061	0,083	0,032	0,077	0,012	0,145	0,127	0,927
7/9/2015	0,127	0,008	0,092	0,046	0,017	0,035	0,035	0,013	0,039	0,001	0,077	0,054	0,545
16/9/2015	0,109	0,005	0,080	0,038	0,013	0,031	0,047	0,018	0,036	0,009	0,096	0,059	0,542
24/9/2015	0,187	0,041	0,114	0,080	0,041	0,100	0,127	0,053	0,044	0,027	0,311	0,163	1,288
1/10/2015	0,157	0,027	0,138	0,069	0,032	0,050	0,174	0,049	0,032	0,021	0,279	0,149	1,176
6/10/2015	0,167	0,022	0,119	0,080	0,032	0,077	0,130	0,050	0,058	0,017	0,303	0,166	1,219
13/10/2015	0,153	0,019	0,108	0,071	0,025	0,071	0,100	0,038	0,042	0,015	0,202	0,117	0,959
18/10/2015	0,151	0,034	0,144	0,094	0,035	0,079	0,166	0,051	0,048	0,018	0,288	0,183	1,290
25/10/2015	0,151	0,107	0,222	0,173	0,059	0,170	0,520	0,214	0,206	0,090	0,575	0,514	3,001
30/10/2015	0,119	0,092	0,157	0,075	0,041	0,106	0,411	0,186	0,160	0,073	0,479	0,486	2,385
5/11/2015	0,443	0,422	1,116	0,501	1,336	1,831	2,948	1,268	2,283	0,458	2,588	2,650	17,84

12/11/2015	0,268	0,161	0,267	0,160	0,131	0,210	0,845	0,347	0,662	0,166	1,061	1,113	5,390
17/11/2015	0,248	0,179	0,366	0,180	0,153	0,292	1,229	0,540	0,799	0,213	1,393	1,280	6,872
23/11/2015	0,680	0,347	0,656	0,398	0,713	0,987	2,327	1,123	2,225	0,370	2,520	2,403	14,75
2/12/2015	0,155	0,147	0,291	0,141	0,134	0,321	0,735	0,360	0,277	0,141	0,751	0,841	4,294
8/12/2015	0,519	0,370	0,907	0,513	0,892	1,453	1,892	0,881	1,021	0,251	1,699	1,755	12,15
15/12/2015	0,281	0,343	1,125	0,953	0,897	1,523	2,241	0,997	1,171	0,318	2,081	2,108	14,04
21/12/2015	0,364	0,531	1,449	0,827	2,120	3,209	3,330	1,597	1,787	0,480	3,153	3,359	22,21
28/12/2015	0,563	0,616	1,263	0,515	2,199	2,737	3,432	1,766	1,838	0,529	2,202	3,288	20,95
4/1/2016	1,100	1,136	2,755	2,118	5,286	5,998	5,068	2,525	4,664	0,787	4,429	5,753	41,62
12/1/2016	0,383	0,216	0,682	0,331	0,527	0,812	1,028	0,515	0,810	0,209	1,241	1,129	7,882
19/1/2016	0,102	0,331	0,764	0,408	1,108	1,598	1,828	0,912	0,781	0,291	1,435	1,858	11,42
26/1/2016	0,180	0,359	1,194	0,638	1,393	1,614	2,017	1,029	1,419	0,373	1,849	1,857	13,92
3/2/2016	0,179	0,429	0,831	0,329	0,553	0,989	2,007	0,970	1,077	0,372	1,598	1,540	10,87
10/2/2016	0,134	0,135	0,407	0,263	0,285	0,414	0,657	0,259	0,421	0,135	0,680	0,585	4,374
17/2/2016	0,172	0,221	0,394	0,187	0,163	0,334	0,986	0,417	0,399	0,199	1,080	1,091	5,643
24/2/2016	0,256	0,622	1,628	0,712	1,081	1,847	3,026	1,287	2,122	0,524	2,354	2,104	17,56
1/3/2016	0,330	0,067	0,196	0,115	0,078	0,177	0,327	0,159	0,174	0,065	0,399	0,380	2,468
9/3/2016	0,330	0,106	0,183	0,141	0,093	0,170	0,454	0,188	0,202	0,099	0,534	0,509	3,009
<b>Μέση τιμή</b>	<b>0,239</b>	<b>0,158</b>	<b>0,410</b>	<b>0,238</b>	<b>0,413</b>	<b>0,587</b>	<b>0,857</b>	<b>0,395</b>	<b>0,544</b>	<b>0,140</b>	<b>0,832</b>	<b>0,854</b>	<b>5,669</b>
<b>Διάμεση τιμή</b>	<b>0,173</b>	<b>0,067</b>	<b>0,149</b>	<b>0,094</b>	<b>0,041</b>	<b>0,106</b>	<b>0,327</b>	<b>0,150</b>	<b>0,123</b>	<b>0,048</b>	<b>0,390</b>	<b>0,355</b>	<b>2,046</b>

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, κατά τη θερινή περίοδο οι συγκεντρώσεις όλων των PAHs είναι πολύ χαμηλές εξαιτίας ενός συνδυασμού παραγόντων, όπως: (α) οι χαμηλότερες εκπομπές από πηγές καύσης, (β) η δραστηριότητα πολλών PAHs, οι οποίοι διασπώνται από το ηλιακό φως ή αντιδρούν με το όζον, (γ) οι μετεωρολογικές συνθήκες της θερινής περιόδου που ευνοούν τη διασπορά των σωματιδίων (μεγαλύτερο ύψος ανάμιξης, σπανιότερες θερμοκρασιακές αναστροφές).

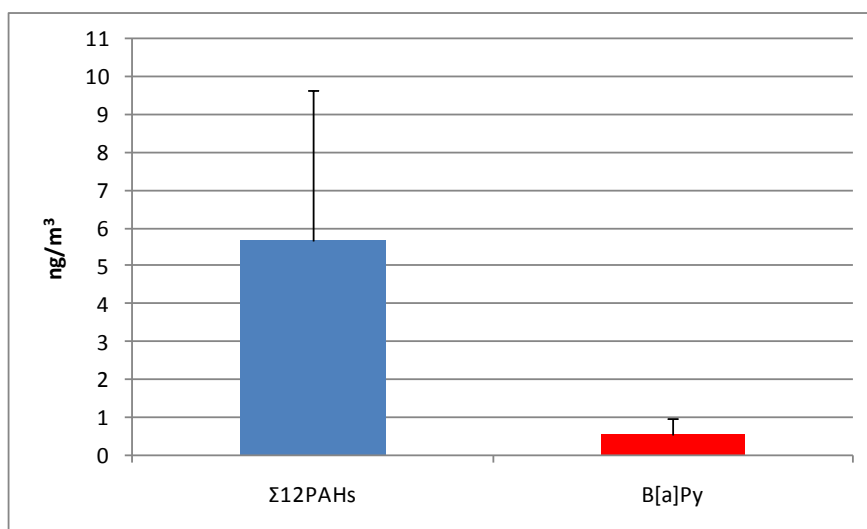


**Σχήμα 10.** Χρονικές διακυμάνσεις των ημερήσιων συγκεντρώσεων Σ<sub>13</sub>PAHs και B[a]Py

Η αθροιστική συγκέντρωση των 12 PAHs (Σ<sub>12</sub>PAHs) κυμάνθηκε μεταξύ 0,321 και 41,62 ng/m<sup>3</sup> με μέση ετήσια τιμή τα 5,669 ng/m<sup>3</sup> (Σχήμα 11). Αντίστοιχα, οι συγκεντρώσεις του καρκινογόνου B[a]Py κυμάνθηκαν από μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι 4,664 ng/m<sup>3</sup> με μέση

ετήσια τιμή ίση με  $0,544 \text{ ng/m}^3$ . Η μέγιστη συγκέντρωση Σ12PAHs και B[a]Py παρατηρήθηκε στις 4/1/2016.

Η μέση ετήσια συγκέντρωση του B[a]Py είναι χαμηλότερη της τιμής-στόχου της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ ( $1 \text{ ng/m}^3$  ως μέση ετήσια τιμή). Επίσης, η μέση ετήσια συγκέντρωση B[a]Py στο λιμάνι του Βόλου είναι σχετικά μικρότερη από αυτή που βρέθηκε στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης ( $0,73 \text{ ng/m}^3$ , Tolis et al., 2014) και πιο κοντά στις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν σε αστικές περιοχές της Θεσσαλονίκης ( $0,547 \text{ ng/m}^3$  στο κέντρο της πόλης και  $0,312 \text{ ng/m}^3$  σε θέση αστικού υποβάθρου, Manoli et al., 2015).



**Σχήμα 11.** Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της συνολικής συγκέντρωσης των PAHs (Σ12PAHs) και B[a]Py στα PM10

### 2.3.3. Μέταλλα/ μεταλλοειδή

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων/ μεταλλοειδών που προσδιορίστηκαν στα δείγματα PM10 από 29/3/15 μέχρι και 9/3/2016 δίνονται στον Πίνακα 3. Από τα νομοθετημένα στοιχεία, το As και το Ni κυμάνθηκαν από μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι 22,7 ng/m<sup>3</sup> και 40,1 ng/m<sup>3</sup>, αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις του Pb, επίσης, κυμάνθηκαν μεταξύ 2,28 και 81,0 ng/m<sup>3</sup>. Τέλος, το Cd, κυμάνθηκε από μη ανιχνεύσιμα επίπεδα μέχρι 9,29 ng/m<sup>3</sup>.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων/μεταλλοειδών ακολουθούν τη σειρά: Fe>Zn>Pb=Mn>Ni>As>Cd.

Από το Σχήμα 12 προκύπτει ότι η μέση ετήσια τιμή των συγκεντρώσεων των νομοθετημένων μετάλλων/μεταλλοειδών είναι χαμηλότερη των αντίστοιχων ορίων της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (6, 5, 20 και 500 ng/m<sup>3</sup> για As, Cd, Ni, Pb, ως μέση ετήσια τιμή).

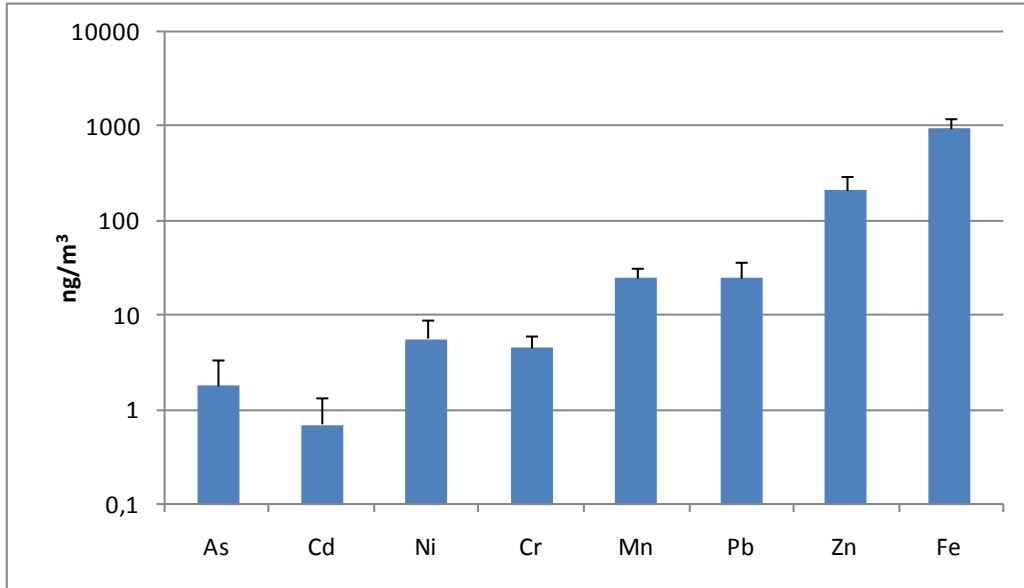
Η διακύμανση των συγκεντρώσεων μετάλλων/μεταλλοειδών σε σχέση με την φορτοεκφόρτωση scrap στο λιμάνι δίνεται στο Σχήμα 13. Με βάση τη στατιστική δοκιμή Man-Whitney U-test, δεν φαίνεται να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% μεταξύ ημερών με φορτοεκφόρτωση scrap και χωρίς φορτοεκφόρτωση scrap.

Πίνακας 3. Συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM10 (ng/m<sup>3</sup>)

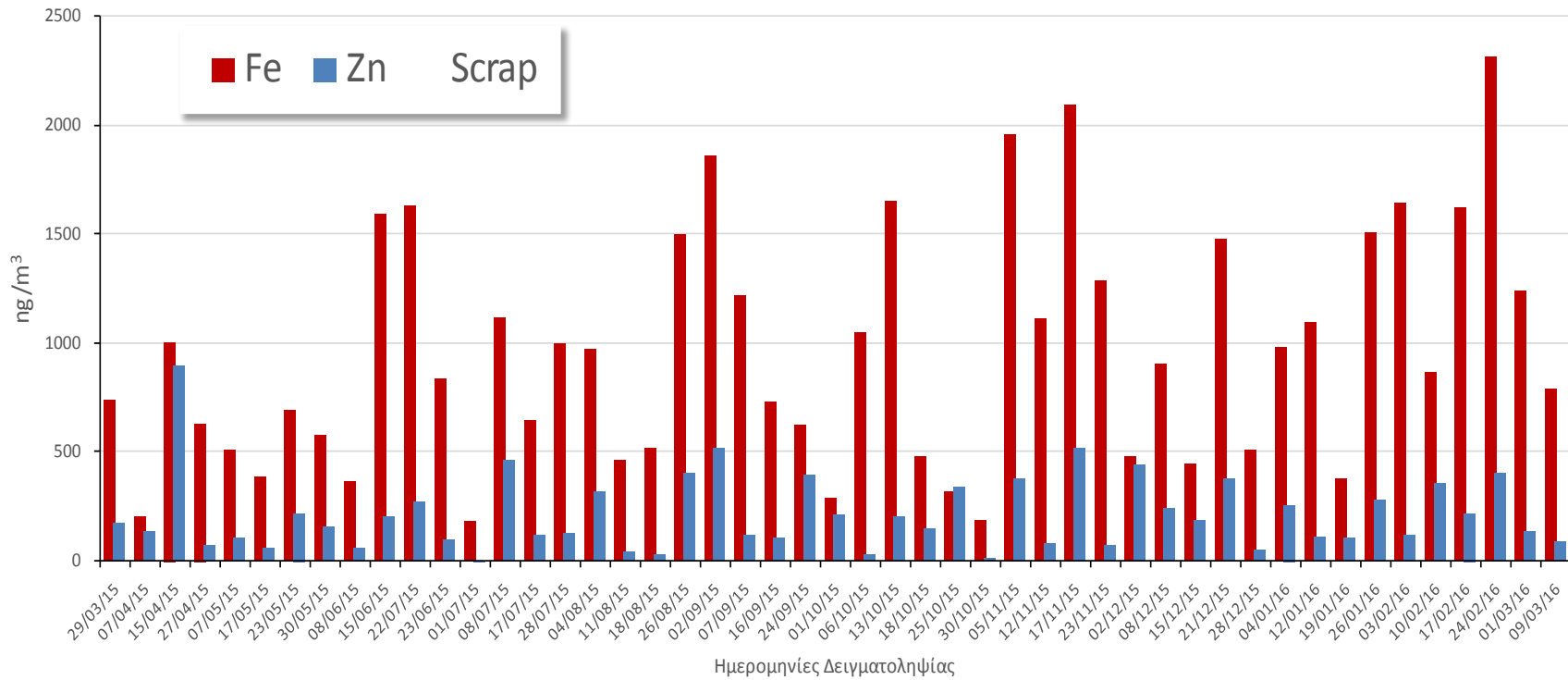
Ημερομηνία	As	Cd	Ni	Cr	Mn	Pb	Zn	Fe
29/3/2015	2,69	0,14	9,97	6,14	20,3	11,5	174	737
7/4/2015	0,45	0,14	5,60	4,55	7,55	6,36	139	204
15/4/2015	1,62	1,54	10,1	9,32	80,6	76,6	896	1001
27/4/2015	0,45	0,14	8,60	5,53	19,8	4,59	77,0	629
7/5/2015	0,45	0,14	7,26	5,28	11,8	6,40	102	506
17/5/2015	0,45	0,14	10,3	0,45	10,1	6,65	57,8	390
23/5/2015	0,45	0,45	40,1	5,10	19,4	20,3	220	694
30/5/2015	0,98	0,14	8,82	4,88	15,6	33,3	159	582
8/6/2015	0,45	0,14	5,82	0,45	9,43	5,02	61,8	365
15/6/2015	1,51	0,45	8,60	6,76	25,6	19,0	203	1594
23/6/2015	1,38	0,45	2,26	6,43	33,1	34,9	270	1630
1/7/2015	1,26	0,14	0,69	5,02	18,7	13,6	99,7	838
8/7/2015	0,45	0,14	0,69	2,26	7,81	2,28	2,5	181
17/7/2015	1,25	1,59	2,26	10,1	50,6	81,0	466	1117

22/7/2015	0,45	0,45	0,69	4,55	20,1	17,6	120	643
28/7/2015	1,37	0,45	2,26	5,71	24,3	16,3	131	994
4/8/2015	1,12	0,45	0,69	6,43	25,9	40,1	318	976
11/8/2015	0,45	0,14	0,69	2,26	13,7	4,59	46,3	463
18/8/2015	0,45	0,14	2,26	2,26	20,6	2,85	32,6	517
26/8/2015	1,30	0,45	0,69	6,25	37,6	2,39	401	1503
2/9/2015	1,98	9,29	2,26	7,44	39,0	61,1	517	1861
7/9/2015	1,16	0,45	5,42	8,93	27,6	12,4	121	1218
16/9/2015	1,12	0,45	2,26	2,26	16,3	5,64	105	734
24/9/2015	22,7	0,45	2,26	7,15	34,2	59,6	394	622
1/10/2015	0,14	0,45	2,26	2,26	20,9	43,4	215	289
6/10/2015	1,70	0,14	7,44	2,26	15,2	4,37	27,7	1048
13/10/2015	1,77	0,45	6,25	2,26	27,4	27,0	203	1651
18/10/2015	1,92	1,77	2,26	2,26	19,2	24,4	152	477
25/10/2015	1,55	0,45	2,26	2,26	21,6	54,6	344	318
30/10/2015	0,14	0,14	2,26	0,69	2,26	3,36	14,7	187
5/11/2015	1,92	1,48	16,8	8,13	49,5	53,5	383	1955
12/11/2015	1,79	0,45	5,42	4,70	22,4	9,32	84	1113
17/11/2015	2,69	0,45	6,36	8,13	52,4	57,8	520	2096
23/11/2015	2,99	0,45	4,77	6,22	24,1	10,7	71,6	1283
2/12/2015	0,45	1,14	2,26	2,26	34,8	41,2	441	477
8/12/2015	1,82	0,45	5,96	2,26	29,9	37,6	240	903
15/12/2015	1,31	0,45	2,26	2,26	21,4	27,6	193	449
21/12/2015	2,20	1,38	5,06	6,94	39,4	65,8	383	1478
28/12/2015	2,33	0,45	2,26	4,63	15,2	7,91	53,8	506
4/1/2016	1,95	0,45	4,55	5,06	32,9	45,5	255	983
12/1/2016	0,14	0,14	6,65	0,69	21,4	12,6	1099	116
19/1/2016	5,42	0,90	4,84	0,69	8,82	14,5	379	107
26/1/2016	1,68	0,45	5,89	2,26	29,6	13,5	1507	283
3/2/2016	0,14	0,45	2,26	2,26	24,0	9,83	1644	120
10/2/2016	2,64	1,47	7,23	2,26	24,3	25,7	867	358
17/2/2016	2,22	0,14	6,72	7,12	36,0	25,8	1619	220
24/2/2016	1,86	0,15	25,1	13,0	30,0	58,7	2314	403
1/3/2016	0,45	1,54	2,26	6,00	24,3	14,3	1243	136
9/3/2016	3,51	0,45	2,26	0,69	6,69	7,59	788	90
<b>Μέση τιμή</b>	<b>1,85</b>	<b>0,71</b>	<b>5,76</b>	<b>4,62</b>	<b>25,0</b>	<b>25,3</b>	<b>215</b>	<b>952</b>
<b>Διάμεση τιμή</b>	<b>1,37</b>	<b>0,45</b>	<b>4,77</b>	<b>4,70</b>	<b>22,4</b>	<b>16,3</b>	<b>159</b>	<b>847</b>

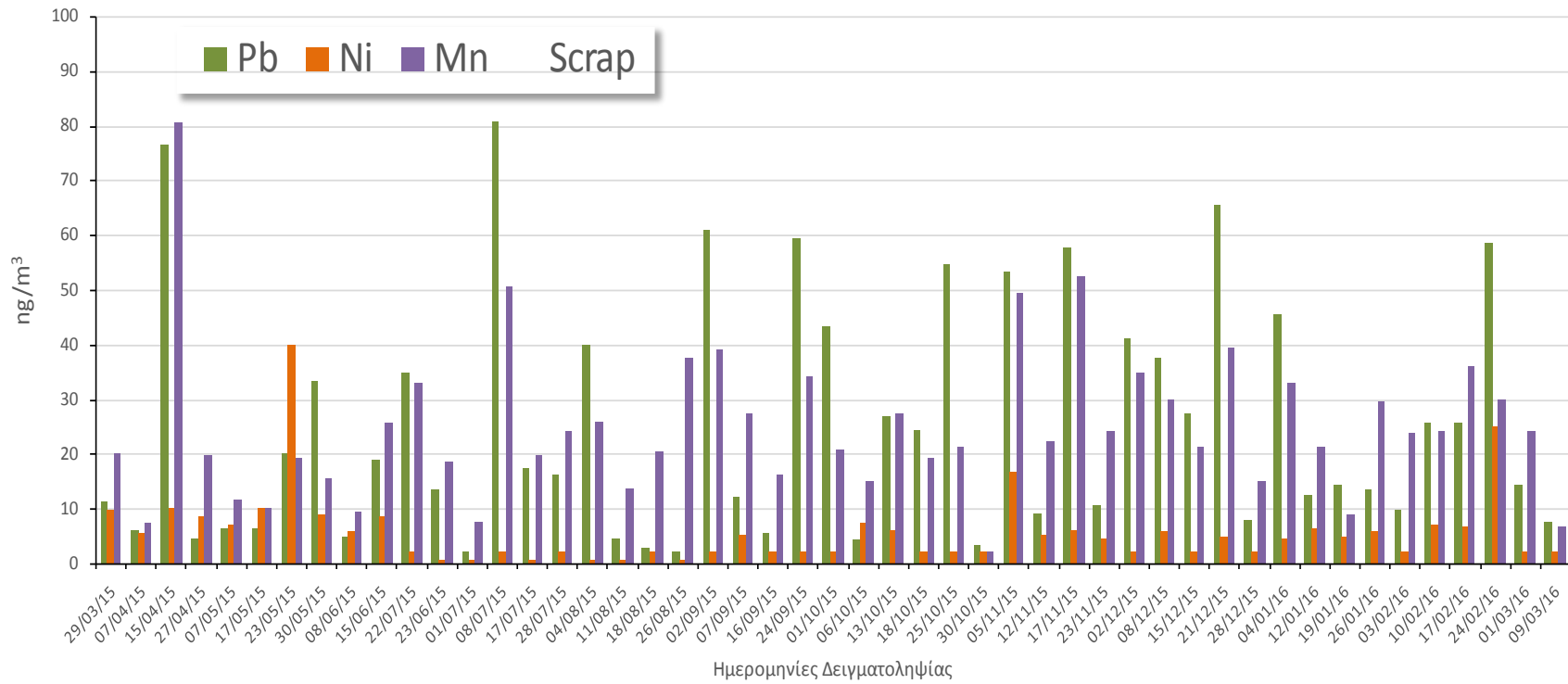




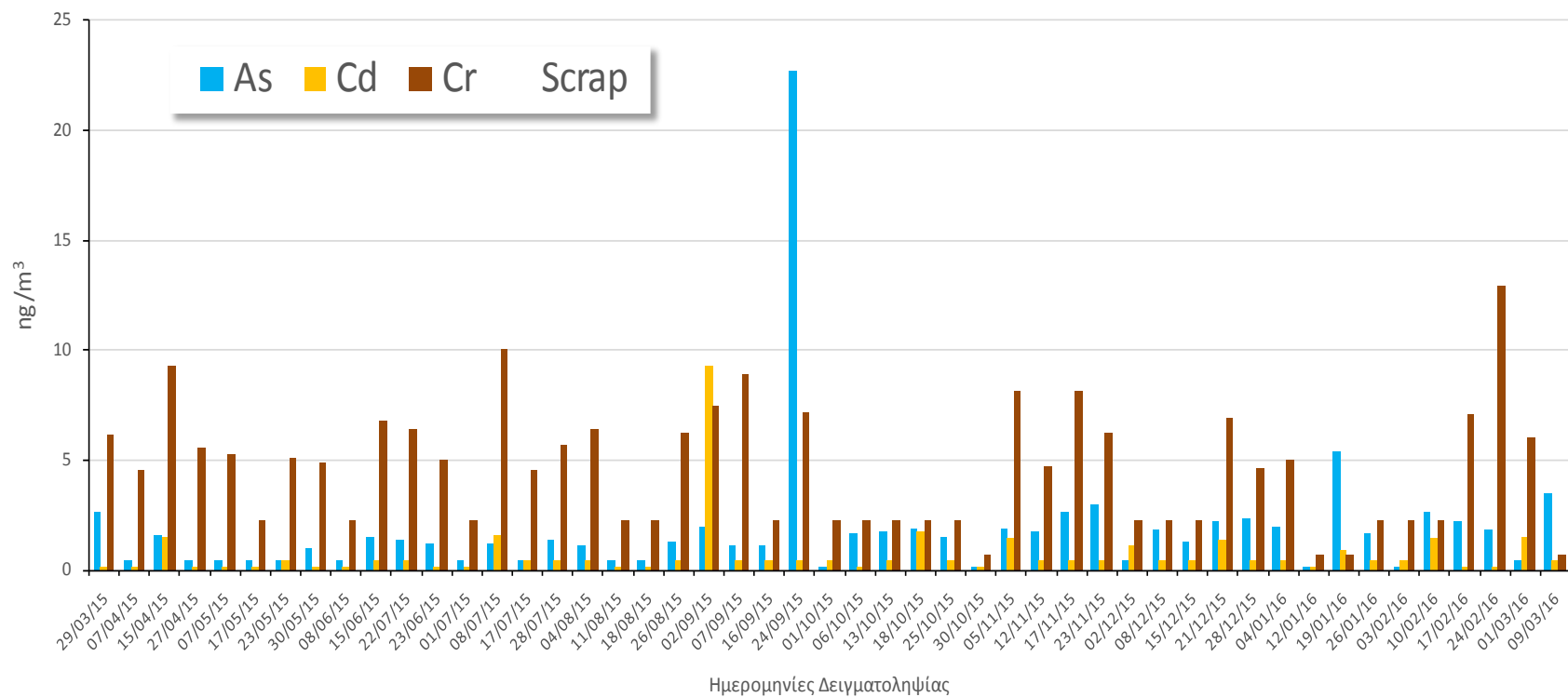
**Σχήμα 12.** Μέση ετήσια τιμή και τυπική απόκλιση των συγκεντρώσεων μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM10



**Σχήμα 13.** Διακύμανση των συγκεντρώσεων μετάλλων/μεταλλοειδών σε σχέση με την φορτοεκφόρτωση scrap



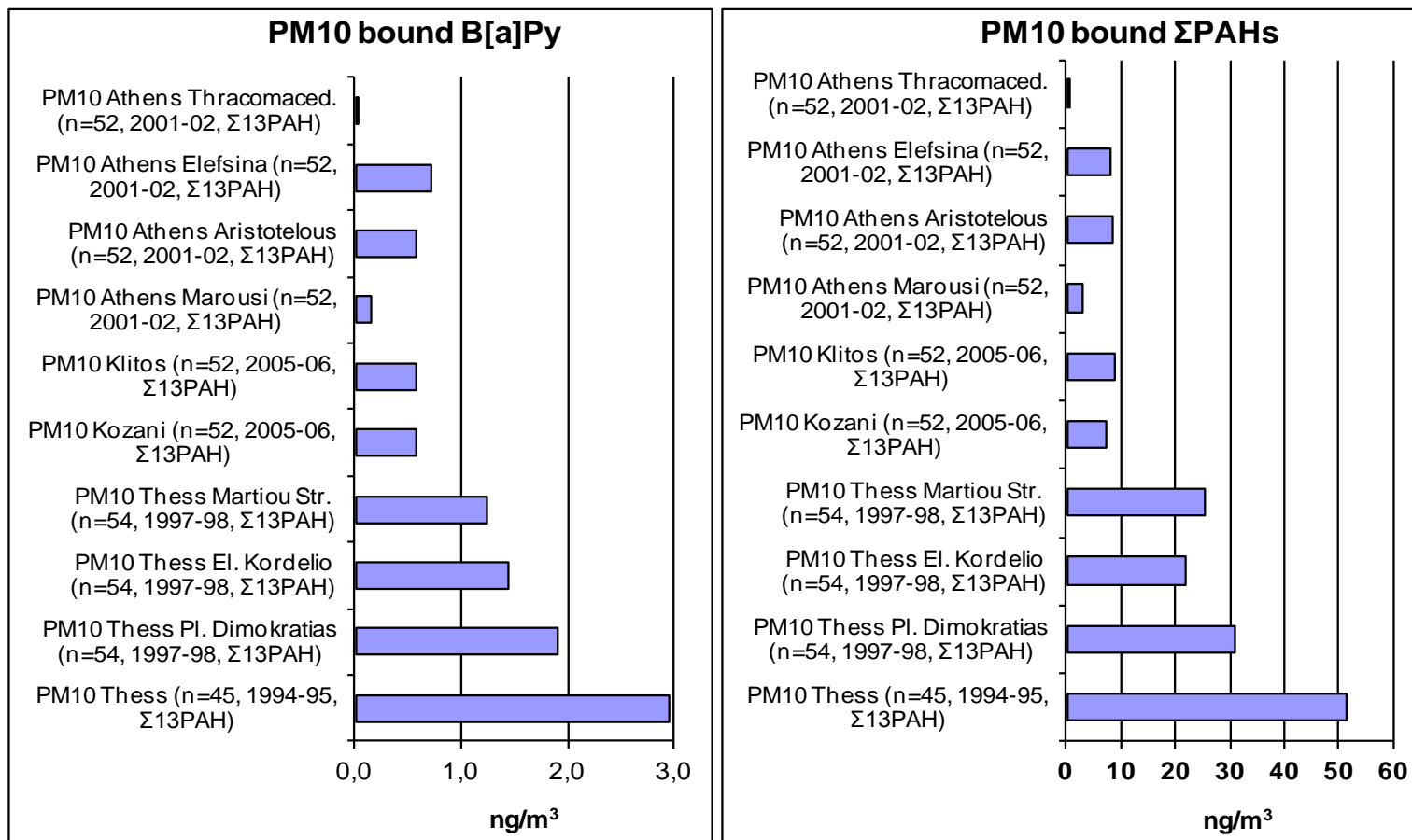
**Σχήμα 13 (συνέχεια).** Διακύμανση των συγκεντρώσεων μετάλλων/μεταλλοειδών σε σχέση με την φορτοεκφόρτωση scrap



**Σχήμα 13 (συνέχεια).** Διακύμανση των συγκεντρώσεων μετάλλων/μεταλλοειδών σε σχέση με την φορτοεκφόρτωση scrap

## **2.4. Συγκριτικά δεδομένα**

Στο Σχήμα 14 δίνονται συγκριτικά δεδομένα από τη βιβλιογραφία για τις συγκεντρώσεις B[a]Pγ και Σ13PAHs στα PM10 άλλων περιοχών της Ελλάδας. Επίσης, στους Πίνακες 4 και 5 δίνονται συγκριτικά δεδομένα για τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM10 άλλων περιοχών της Ελλάδας.



**Σχήμα 14.** Συγκεντρώσεις B[a]Py και Σ13PAHs στα PM10 διαφόρων περιοχών της Ελλάδας κατά την περίοδο 1994-2002 (Manoli et al., 2011)

**Πίνακας 4.** Μέσες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και μετάλλων/μεταλλοειδών στην περιοχή του Βόλου <sup>α</sup>

Παράμετρος	Μονάδες	Κέντρο Βόλου <sup>β</sup> Ιούν-Ιούλ 2007 & Ιαν-Φεβ 2008	Ν. Ιωνία Βόλου <sup>β</sup> Ιούν-Ιούλ 2007 & Ιαν-Φεβ 2008	Ν. Δημητριάδα Βόλου <sup>β</sup> Ιούν-Ιούλ 2007 & Ιαν-Φεβ 2008	Παλαιά Βόλου <sup>γ</sup> Ιούν-Ιούλ 2008	ΟΛΒ 2014 <sup>δ</sup> (παρούσα μελέτη)
<b>PM10</b>	<b>μg/m<sup>3</sup></b>	<b>69</b>	<b>51</b>	<b>69</b>	<b>35</b>	<b>32</b>
As	ng/m <sup>3</sup>	15	10	9,2	10	1,7
Ni	ng/m <sup>3</sup>	11	11	9,8	8,0	5,3
Cd	ng/m <sup>3</sup>	10	15	11	11	0,5 <sup>ε</sup>
Cr	ng/m <sup>3</sup>	20	18	18	13	4,6
Mn	ng/m <sup>3</sup>	53	46	41	40	20
Fe	ng/m <sup>3</sup>	1579	1149	1007	1012	793
Zn	ng/m <sup>3</sup>	403	290	193	192	215
Pb	ng/m <sup>3</sup>	74	62	46	47	28

<sup>α</sup> Ολικές συγκεντρώσεις όπως προσδιορίστηκαν με ED-XRF

<sup>β</sup> Πρόγραμμα «Προσδιορισμός της συμβολής πηγών στην ατμοσφαιρική ρύπανση του Βόλου και σχεδιασμός ιεραρχημένης περιβαλλοντικής πολιτικής για την αναβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας», Τεχνική Έκθεση Ν.Α.Μ., 2008.

<sup>γ</sup> Πρόγραμμα «Προσδιορισμός της συμβολής του λιμανιού στην ατμοσφαιρική ρύπανση του Δήμου Βόλου (συνοικία Παλαιών) από αιωρούμενα σωματίδια (PM10)», Τεχνική Έκθεση Ν.Α.Μ., 2008, Τεχνική Έκθεση Δήμος Βόλου, 2010

<sup>δ</sup> Προσδιορισμός με ICP/MS σε διαλυτοποιημένο φίλτρο

<sup>ε</sup> Διάμεση τιμή

**Πίνακας 5.** Μέσες συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών της Οδηγίας 2004/17/ΕΚ που μετρήθηκαν σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας στο πλαίσιο του LIFE+ACEPT-AIR Project

Παράμετρος	Αθήνα, Αγ. Παρασκευή		Αθήνα, Νέα Σμύρνη		Θεσσαλονίκη, Εγνατία		Θεσσαλονίκη, Επταπύργιο		Βόλος, Πανεπιστήμιο <sup>γ</sup>	
	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012
<b>PM10</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>44</b>	<b>48</b>	<b>53</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>28</b>	<b>72</b>
As (ng/m <sup>3</sup> ) <sup>α</sup>	19,3	2,8	2,2	0,5	7,3	14,5	2,1	8,1	1,7	8,3
Cd (ng/m <sup>3</sup> ) <sup>α</sup>	0,3	0,1	0,9	0,4	1,2	0,4	0,9	0,2	0,1	0,3
Ni (ng/m <sup>3</sup> ) <sup>β</sup>	6,5	4,3	5,5	9,1	9,4	10,6	5,8	6,3	7,6	9,2

<sup>α</sup> Προσδιορισμός με AAS σε διαλυτοποιημένο φίλτρο

<sup>β</sup> Προσδιορισμός με ED-XRF

<sup>γ</sup> Diarouli et al., 2015



## Βιβλιογραφία

- Bairachtari K., Saraga D., Moysiadi A., Vasilakos CH. and Maggos T., PAHs concentration levels in the ambient air of a suburban area in Athens and in a rural area near a timber processing plant. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 3-5 September 2015.
- Manoli E., Kouras A., Samara C., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Greek atmospheric environment, 16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, 24-27 Sept 2011, Ioannina, Greece.
- Manoli E., Kouras A., Karagkiozidou O., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at traffic and urban background sites of northern Greece: source apportionment of ambient PAH levels and PAH-induced lung cancer risk. *Environ Sci Pollut Res* 2016;23(4):3556-68.
- Manoli E., Chelioti A., Kouras A., Voutsas D., Samara C., Kampanos H. Concentrations of gaseous and particulate pollutants in the port of Volos, Greece. CEMEPE & SECOTOX 2015, Mykonos island, June 14-18 2015.
- Proias G., Grigoratos T., Diapouli E., Vratolis S., Vasilatou V., Saraga D., Maggos Th., Samara C., Kungolos A., Kipouros S., Eleftheriadis K. Chemical composition and sources of PM10 and PM2.5 in the greater area of Volos during the LIFE+ACCEPT-AIR Project. Book of Abstracts of the 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference ISBN: 978-960-6865-67-1, Mykonos island, Greece, June 24-28, 2013.
- Proias G., Moustris K., Larissi I., Nastos P., Paliatsos A. Temporal evolution of PM10 concentrations during 2001- 2013 in the city of Volos, Greece MESAEP 2015, Crete, September 26 to 30 2015.
- Proias G.T., Moustris K.P., Larissi I.K., Nastos P.T. and Paliatsos A.G., 2012. AMBIENT PM10 CONCENTRATIONS AND THE IMPACT OF WIND AT AN URBAN SITE IN CENTRAL GREECE. *Fresenius Environmental Bulletin* 21(7a), 1935 – 1941 .
- Saffari A., Daher N., Samara C., Voutsas D., Kouras A., Manoli E., Karagkiozidou O., Vlachokostas Ch., Moussiopoulos N., Shafer M.M., Schauer J.J., Sioutas C., 2013. Increased Biomass Burning Due to the Economic Crisis in Greece and Its Adverse Impact on Wintertime Air Quality in Thessaloniki, *Environ. Sci. Technol.* 47, 13313–13320.
- Tolis I.E., Saraga E.D., Filiou F.K., Tziavos I.N., Tsiaousis P.Ch., Dinas A. Bartzis G.J., 2014. One-year intensive characterization on PM2.5 nearby port area of Thessaloniki, Greece. *Environ Sci Pollut Res*, DOI 10.1007/s11356-014-3883-7.
- Tzoumaka N.P., Kelessis G.A., Petrakakis J.M., Samara C., Papagiannopoulos M.N. Zoumakis M.N., Tzourelis G., 2008. Experimental measurements of C2-C5 and C6-

- C10 in urban area of Thessaloniki, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (10A), 1594-1600.
- Voutsas D., Samara C., Kouimtzis Th., Ochsenkuhn K., 2002. Elemental composition of airborne particulate matter in the multi-impacted urban area of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 36, 4453-4462.
- Wang X., Chancellor G., Evenstad J., Farnsworth E.J., Hase A., Olson M. G., Sreenath A., and Agarwal K. J., 2009. A Novel Optical Instrument for Estimating Size Segregated Aerosol Mass Concentration in Real Time. *Aerosol Science and Technology*, 43, 939–950.
- Γρηγοράτος Θ., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Κουμπαρέλος Γ. και Σαμαρά Κ., 2012. Αιωρούμενα Σωματίδια PM10 στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου: Επίπεδα συγκεντρώσεων - Χημική σύσταση - Πηγές, 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, 8-10 Σεπτεμβρίου, Σκιάθος, Πρακτικά σελ. 8.
- Μανώλη Ε., Χελιώτη Α., Κούρας Α., Βουτσά Δ., Σαμαρά Κ., Καμπανός Η. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και γονοτοξικών συστατικών στο λιμάνι του Βόλου. 12ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδας-Κύπρου, Θεσσαλονίκη
- Πρώιας Γ., Ελευθεριάδης Κ., Διαπούλη Ε., Βράτολης Σ., Βασιλάτου Β., Κούγκολος Α., Κηπουρός Σ., Παλιατσός Α.Γ. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΚΑΙ PM2.5 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2011 – 2012 ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ LIFE + ACERT-AIR. Βιβλίο Περιλήψεων 1ου Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Θεσσαλίας Σκιάθος, 8-10 Σεπτεμβρίου 2012, ISBN 978-960-6865-49-7.