



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

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

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ

**Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων
στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου**

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Οκτώβριος 2019

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

<i>Τίτλος Έργου</i>	Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου
<i>Χρονική Διάρκεια</i>	12 μήνες (02/06/2018 – 01/06/2019)
<i>Φορέας Χρηματοδότησης</i>	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΟΣ ΒΟΛΟΥ, Α.Ε.
<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, 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

1. Μεθοδολογία	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
2. Αποτελέσματα	7
2.1. On line μετρήσεις.....	7
2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες.....	11
2.3. Σταθμικές μετρήσεις /αναλύσεις PM10	14
2.2.1. PM10.....	14
2.2.2. PAHs.....	14
2.2.3. Μέταλλα/μεταλλοειδή.....	17
2.3. Συγκριτικά δεδομένα	17
Βιβλιογραφία	22

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1.1. Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) είναι εγκαταστημένος 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 (NO_x , 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 PM_{10} (Πίνακας 1, Εικόνα 2).



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

Οι αναλυτές NO_x , 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 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).



Εικόνα 2.
*Δειγματολήπτης αιωρούμενων
 σωματιδίων PM10 κατά ISO/IEC
 EN-12341*

Πίνακας 1. Εξοπλισμός του ΣΜΑΡ του ΟΛΒ

Εξοπλισμός	Τύπος
Αναλυτής NO _x	AC32M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής O ₃	O341M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX	VOC71M, ENVIRONMENT SA
Μετρητής PM10/PM2.5	DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor, TSI
Μετεωρολογικός σταθμός με	LSI-LASTEM
– αισθητήριο ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου	
– αισθητήριο θερμοκρασίας και υγρασίας	
– αισθητήριο βαρομετρικής πίεσης	
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 ³ /h σε συμφωνία με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341

Η βαθμονόμηση/συντήρηση των αυτόματων αναλυτών NO_x, O₃, BTEX γίνεται σε μηνιαία βάση από διαπιστευμένο Εργαστήριο Ι.Β. 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 1 δείγμα/εβδομάδα σε προζυγισμένο φίλτρο quartz (Tissuquartz Pall, Φ 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 Β[α]Ρ, 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 Β[α]Ρ 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 πραγματοποιείται σε συσκευή μικροκυμάτων () 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 N₂, έγινε επαναδιάλυση του υπολείματος σε 1 mL acetonitrile. Οι PAHs προσδιορίζονται με την τεχνική της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης με προγραμματιζόμενο φθορισμομετρικό ανιχνευτή (HPLC/FLD) σύμφωνα με βελτιστοποιημένες διαδικασίες (Manoli et al., 2002; Manoli et al., 2004). Η βαθμονόμηση γίνεται 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 (I[1,2,3-cd]Py) και με το Benzo[e]pyrene (B[e]Py) που συχνά χρησιμοποιείται ως ένωση αναφοράς. Το Acenaphthylene έχει πολύ ασθενή φθορισμό και γι αυτό δεν μπορεί να ανιχνευθεί.

Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Η ανάκτηση των χαμηλού MB PAHs (Np, Ace και F) βρέθηκε σχετικά χαμηλή και με μεγάλες διακυμάνσεις (48–71%) λόγω της μεγάλης πτητικότητας αυτών των ενώσεων. 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/m³. 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 πέψη των φίλτρων με οξειδωτικό μίγμα οξέων (HCl/HNO₃). Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει ανάλυση λευκών φίλτρων και αντιδραστηρίων, καθώς και επιφορτισμένων δειγμάτων (spike). Το όριο ποσοτικοποίησης (LOQ) για Pb, As, Ni, Mn, Fe, Zn και Cr είναι 0,025 μg/δείγμα, ενώ για το Cd είναι 0,0025 μg/δείγμα.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.1. On-line μετρήσεις

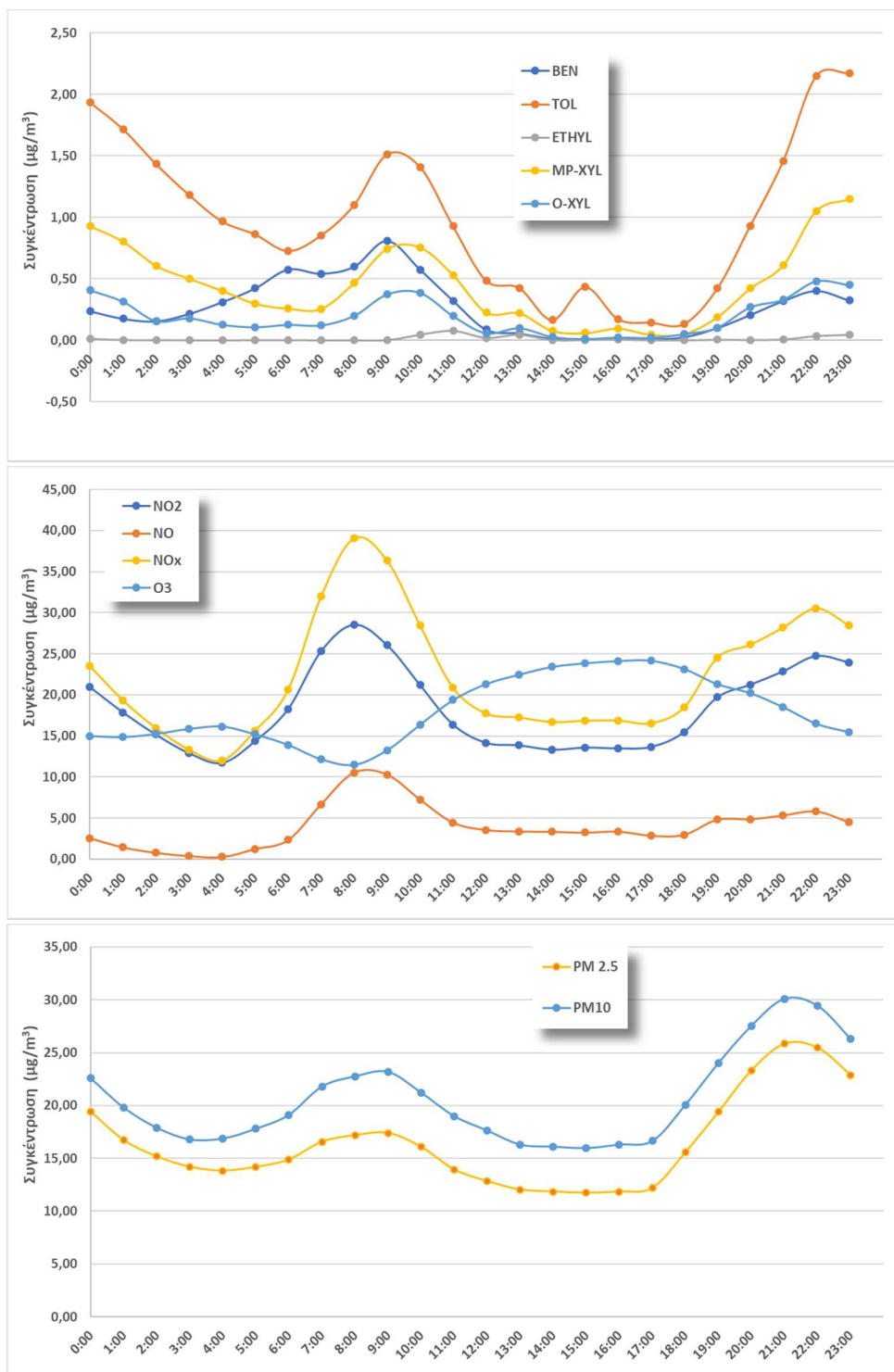
Οι μέσες διακυμάνσεις (ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία) των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 02/06/2018 – 01/06/2019 δίνονται στα Σχήματα 2.1.1, 2.1.2 και 2.1.3, αντίστοιχα.

Όπως προκύπτει, οι πρωτογενείς ρύποι εμφανίζουν δύο μέγιστα στη διάρκεια του 24ώρου, ένα πρωινό (~9:00) και ένα βραδινό (~22:00), τα οποία σχετίζονται με την ημερήσια διακύμανση των πηγών εκπομπής (κυκλοφορία, οικιακή θέρμανση), αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών (ύψος ανάμιξης, ταχύτητα ανέμου). Η ημερήσια διακύμανση του δευτερογενούς O₃ είναι αντίθετη με μέγιστο μεταξύ 15:00-17:00.

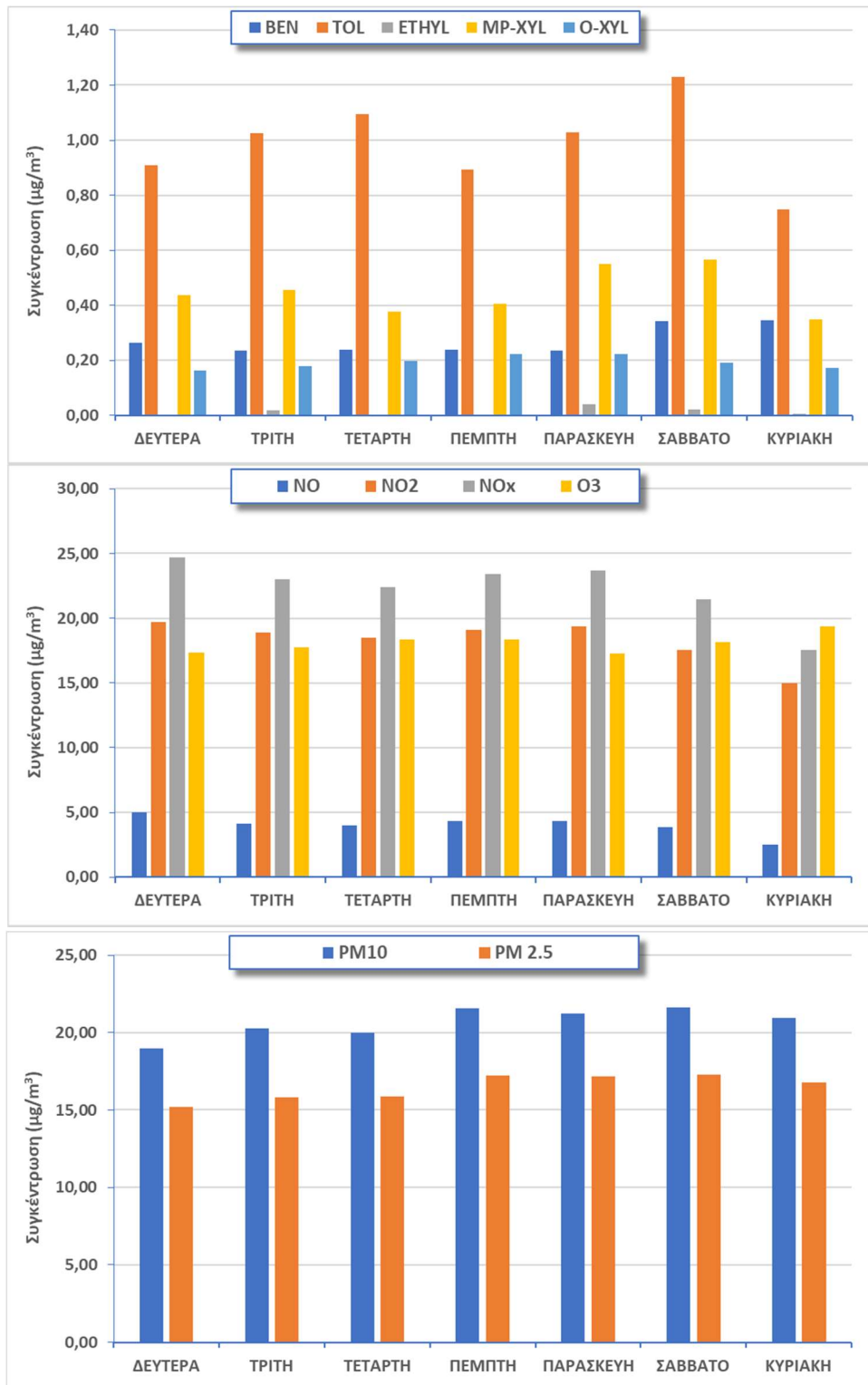
Η συνδιακύμανση που παρατηρείται μεταξύ πολλών ρύπων υποδηλώνει ότι αυτοί εκπέμπονται από τις ίδιες ανθρωπογενείς πηγές, εκτίθενται στα ίδια φαινόμενα αραίωσης μετά την εκπομπή τους στον ατμοσφαιρικό αέρα, ή ακόμη ότι υπόκεινται στους ίδιους μηχανισμούς αποδόμησης π.χ. μέσω χημικών αντιδράσεων ή φωτόλυσης.

Η εβδομαδιαία και μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων των δίνονται στα Σχήματα 2.1.2 και 2.1.3, αντίστοιχα. Δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ημερών αν και ορισμένοι ρύποι (NO_x, TOL, MP-XYL) εμφανίζουν σχετικά χαμηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων κατά την Κυριακή. Μεγαλύτερη είναι η μηνιαία διακύμανση με υψηλότερες γενικά συγκεντρώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες σε σύγκριση με τους θερινούς για όλους τους πρωτογενείς ρύπους. Αντίθετα, το O₃ παρουσιάζει υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τους θερμούς μήνες. 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.

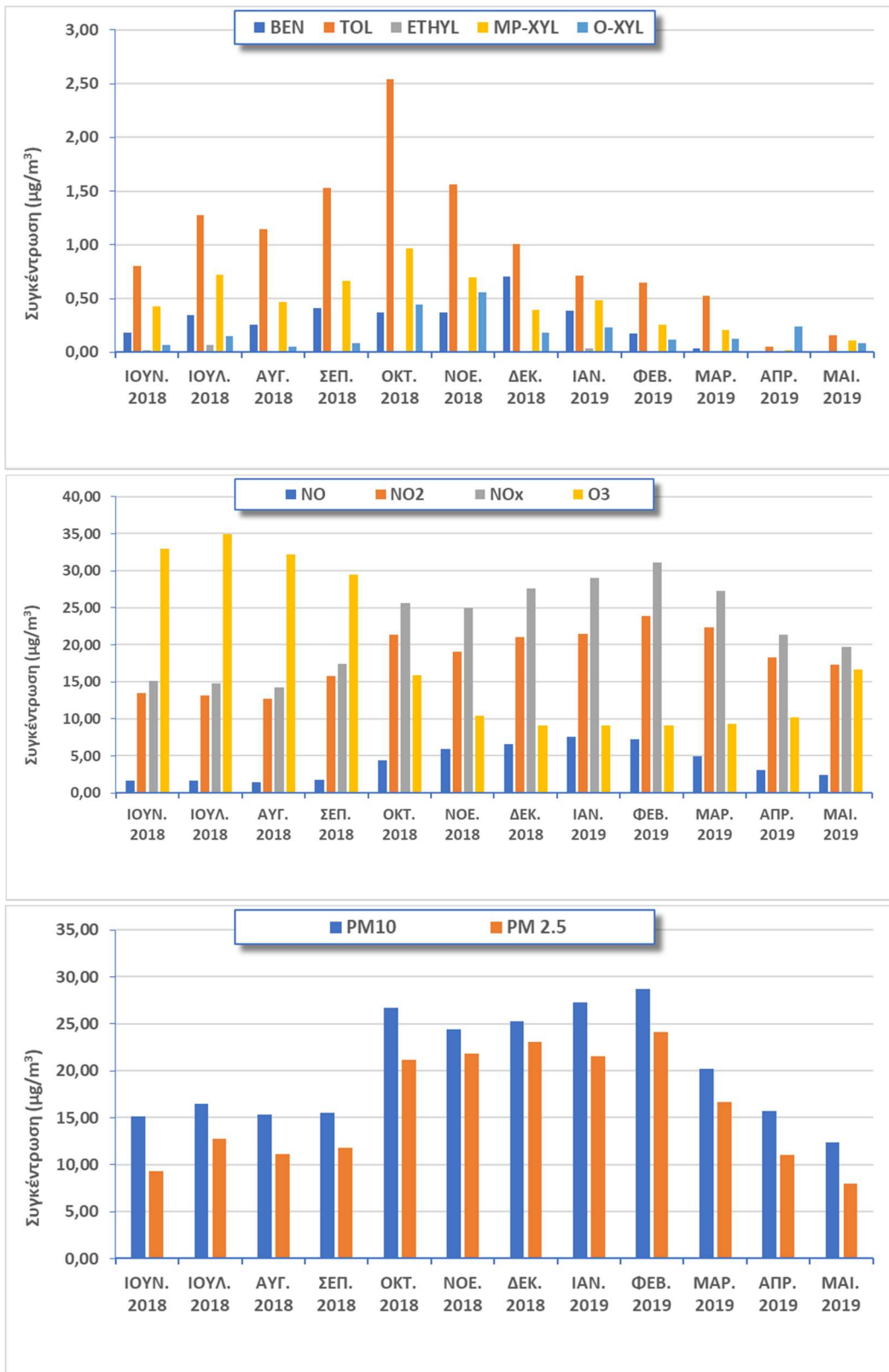
Σε σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη», η μέση ωριαία τιμή του NO₂ για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 20 μg/m³, κατά πολύ μικρότερη από το ετήσιο όριο (40 μg/m³), ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 200 μg/m³. Αντίστοιχα, η μέση τιμή του βενζολίου ήταν 1,9 μg/m³, επίσης κατά πολύ μικρότερη του ετήσιου ορίου (5 μg/m³). Η μέση ετήσια τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM₁₀ ήταν 20 μg/m³, μικρότερη του αντίστοιχου ετήσιου ορίου (40 μg/m³), ενώ ο αριθμός των υπερβάσεων του ημερήσιου ορίου για τα PM₁₀ (50 μg/m³) ήταν 5, εντός του ανώτατου επιτρεπτού αριθμού των 35 υπερβάσεων/έτος. Η μέγιστη ημερήσια τιμή PM₁₀ που καταγράφηκε ήταν 57 μg/m³. Τέλος, η μέση ετήσια τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM_{2.5} ήταν 16 μg/m³, κάτω από το ετήσιο όριο (25 μg/m³).



Σχήμα 2.1.1. Μέση ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 02/06/2018 – 01/06/2019



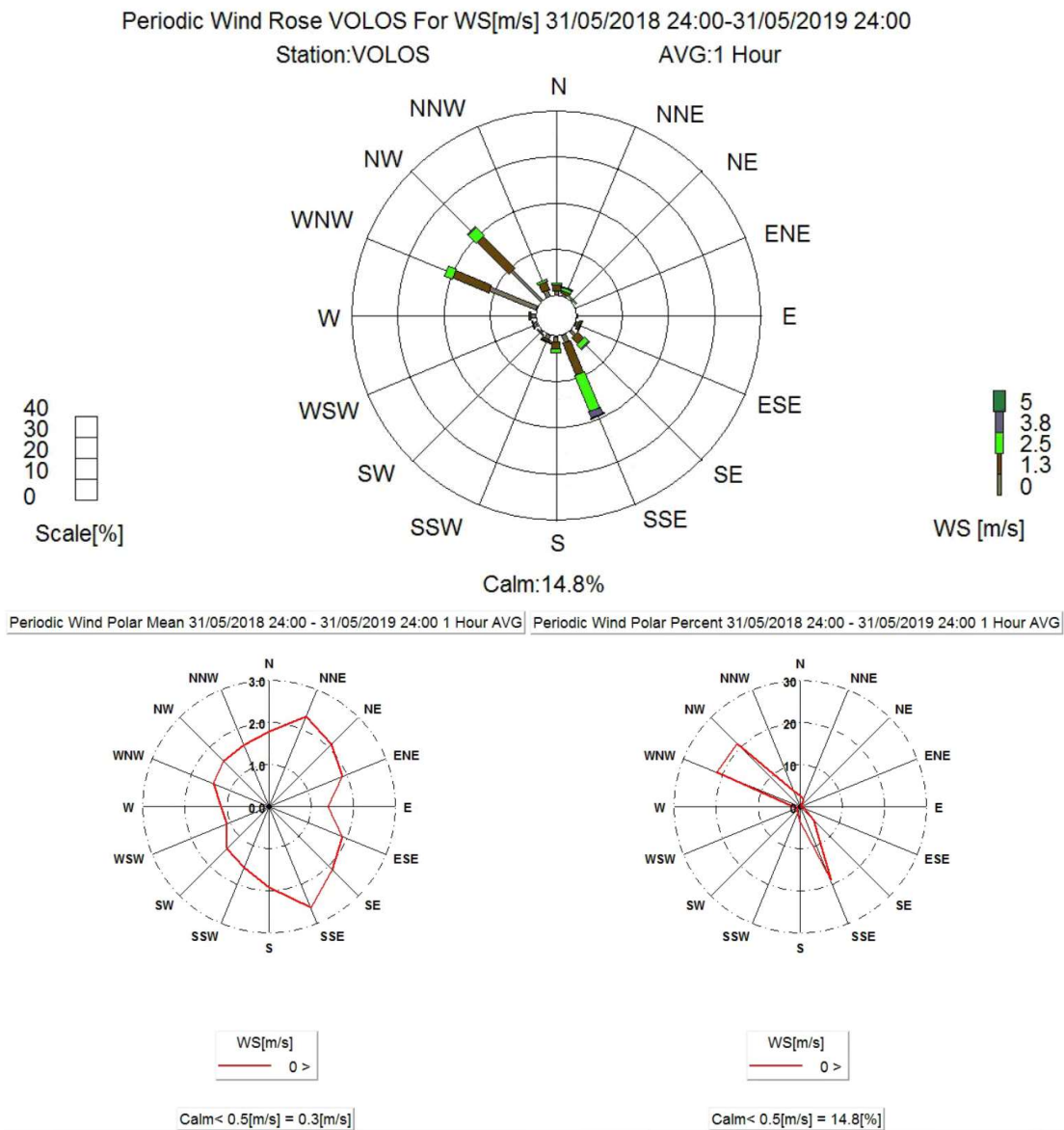
Σχήμα 2.1.2. Μέση εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NOx, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 02/06/2018 – 01/06/2019



Σχήμα 2.1.3. Μέση μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, NOx, O₃, PM₁₀ και PM_{2.5} κατά το χρονικό διάστημα 02/06/2018 – 01/06/2019

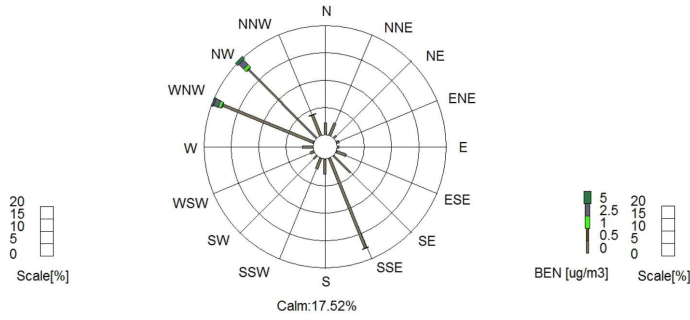
2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες

Η συχνότητα εμφάνισης και η ταχύτητα των επικρατούντων ανέμων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων δίνεται στα ροδογράμματα του Σχήματος 2.1.4. Τα αντίστοιχα ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων δίνονται στα Σχήματα 2.1.5α και 2.1.5β.

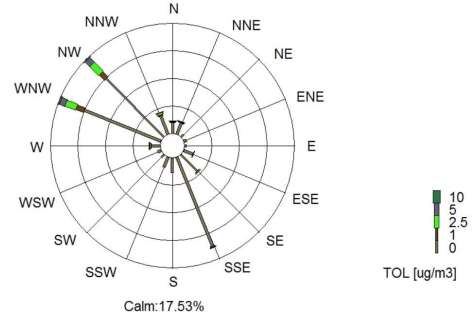


Σχήμα 2.1.4. Επάνω: Ροδογράμματα επικρατούντων ανέμων κατά την περίοδο των μετρήσεων
 Κάτω: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση προέλευσης

Periodic Pollution Rose VOLOS For BEN[ug/m3] 31/05/2018 24:00-31/05/2019 24:00
Station:VOLOS AVG:5 Min

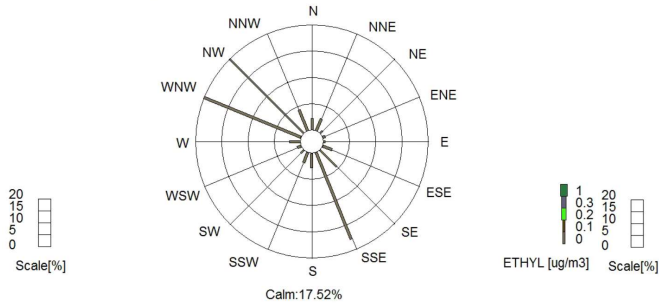


Periodic Pollution Rose VOLOS For TOL[ug/m3] 31/05/2018 24:00-31/05/2019 24:00
Station:VOLOS AVG:5 Min



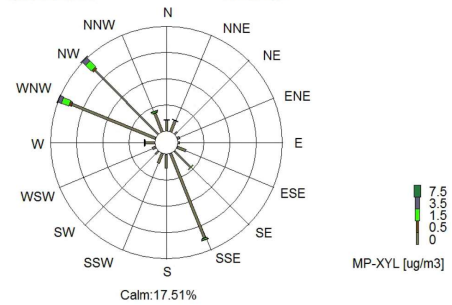
Βενζόλιο (μg/m³)

Periodic Pollution Rose VOLOS For ETHYL[ug/m3] 31/05/2018 24:00-31/05/2019 24:00
Station:VOLOS AVG:5 Min



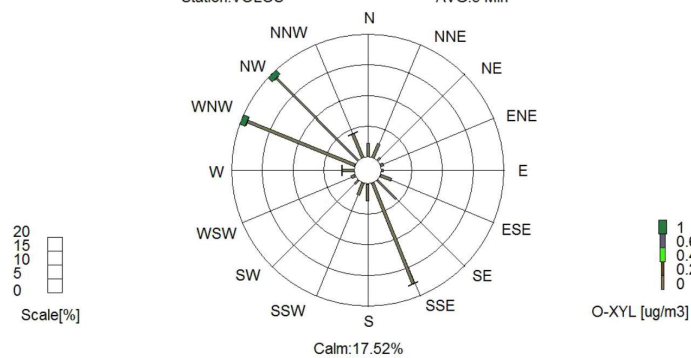
Τολουόλιο (μg/m³)

Periodic Pollution Rose VOLOS For MP-XYL[ug/m3] 31/05/2018 24:00-31/05/2019 24:00
Station:VOLOS AVG:5 Min



Αιθυλο-Βενζόλιο (μg/m³)

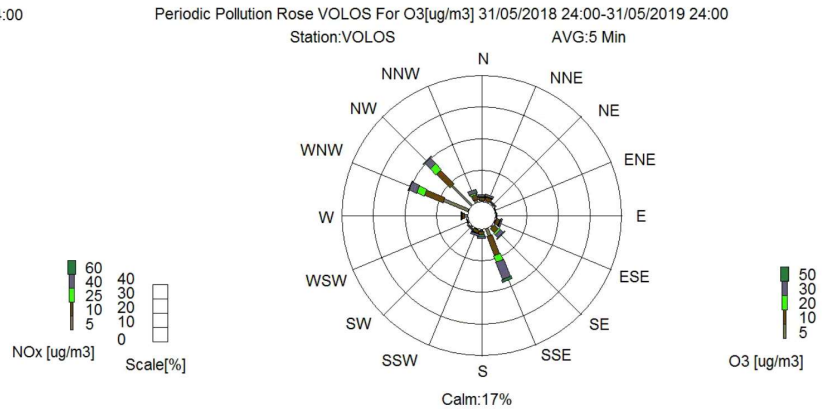
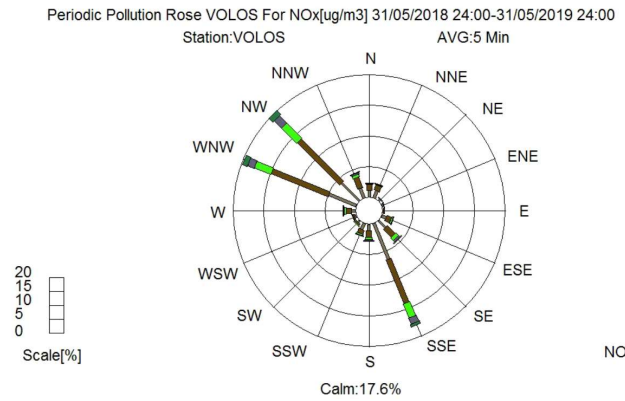
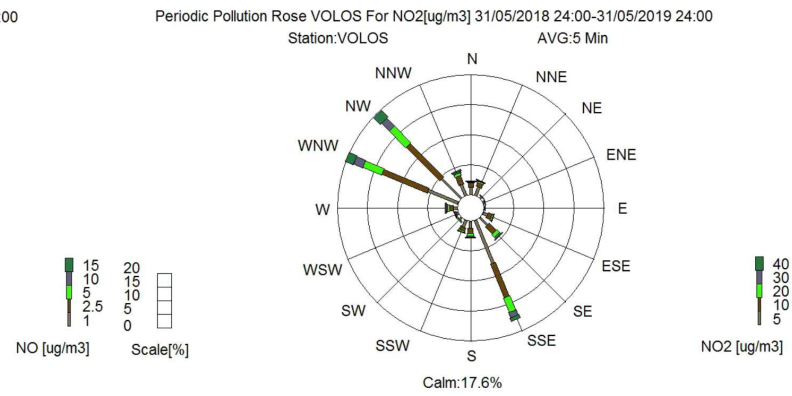
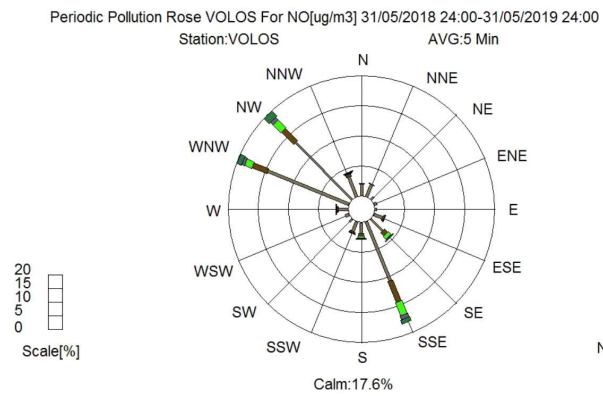
Periodic Pollution Rose VOLOS For O-XYL[ug/m3] 31/05/2018 24:00-31/05/2019 24:00
Station:VOLOS AVG:5 Min



m,p- Ξυλόλιο (μg/m³)

ο- Ξυλόλιο (μg/m³)

Σχήμα 2.1.5α. Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX (5minAverage)

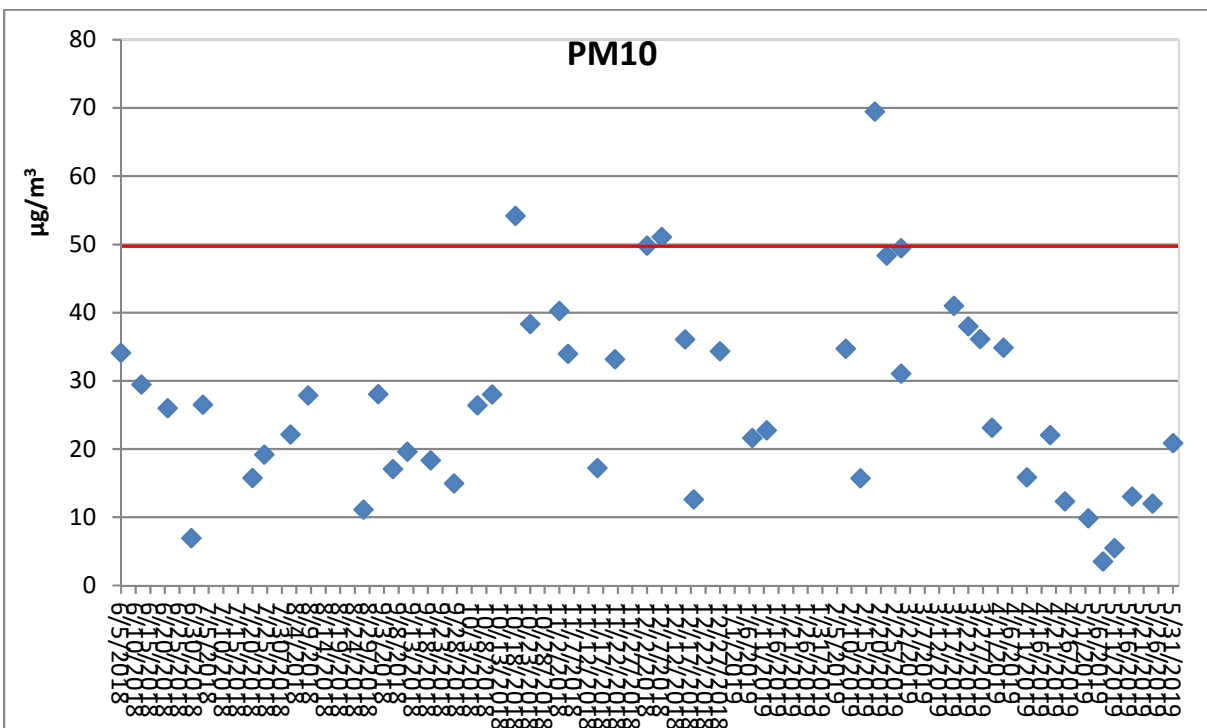


Σχήμα 2.1.5β. Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων NO, NO₂, NO_x και O₃ (5minAverage)

2.2. Σταθμικές μετρήσεις/αναλύσεις PM10

2.2.1. PM10

Οι συγκεντρώσεις των PM10 που συλλέχθηκαν σε φίλτρο για χημική ανάλυση και προσδιορίστηκαν σταθμικά κυμάνθηκαν μεταξύ 3,5 και 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ υπερβαίνοντας το ημερήσιο όριο της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) μόνον σε δύο ημερομηνίες (Σχήμα 2.2.1).



Σχήμα 2.2.1. Ημερήσιες σταθμικές συγκεντρώσεις PM10 κατά το χρονικό διάστημα 02/06/2018 – 01/06/2019

2.2.2. PAHs

Οι συγκεντρώσεις των PAHs που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα PM10 δίνονται στον Πίνακα 2.2.1. Οι αναλύσεις των δειγμάτων δεν έχουν ολοκληρωθεί σε όλα τα δείγματα λόγω βλάβης του φθορισμομετρικού ανιχνευτή της HPLC. Οι συγκεντρώσεις του Β[α]Ργ, στα δείγματα όπου ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις, κυμάνθηκαν από 0,01 μέχρι 3,00 ng/m^3 (8/12/2017) με μέση τιμή 0,34 ng/m^3 .

Πίνακας 2.2.1. Συγκεντρώσεις PAHs (ng/m³)

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
05/06/18	0.222	0.005	0.052	0.038	0.008	0.028	0.095	0.003	0.028	0.016	0.131	0.237
12/06/18	0.231	0.008	0.081	0.006	0.052	0.046	0.077	0.005	0.039	0.020	0.109	0.136
21/06/18	0.321	0.011	0.050	0.038	0.006	0.035	0.044	0.018	0.027	0.012	0.076	N/A
29/06/18	0.312	0.011	0.038	0.018	0.003	0.008	0.006	0.008	0.019	0.009	0.046	N/A
03/07/18	0.184	0.005	0.029	0.025	0.011	0.016	0.043	0.025	0.031	0.016	0.067	0.103
17/07/18	0.266	0.017	0.039	0.046	0.017	0.039	0.111	0.050	0.039	0.034	0.149	0.185
20/07/18	0.195	0.006	0.046	0.025	0.006	0.032	0.042	0.016	0.009	0.014	0.059	N/A
24/07/18	0.208	0.008	0.026	0.032	0.011	0.038	0.048	0.027	0.007	0.015	0.068	N/A
02/08/18	0.196	0.004	0.041	0.037	0.018	0.031	0.074	0.029	0.029	0.023	0.101	0.125
08/08/18	0.201	0.009	0.061	0.046	0.018	0.036	0.071	0.021	0.020	0.012	0.085	N/A
27/08/18	0.155	0.006	0.031	0.026	0.012	0.021	0.028	0.011	0.008	0.013	0.069	N/A
01/09/18	0.115	0.005	0.058	0.052	0.020	0.053	0.085	0.031	0.022	0.017	0.119	0.113
06/09/18	0.185	0.009	0.040	0.051	0.010	0.032	0.053	0.021	0.017	0.017	0.097	N/A
11/09/18	0.165	0.014	0.087	0.073	0.014	0.054	0.108	0.034	0.026	0.016	0.115	N/A
19/09/18	0.235	0.014	0.070	0.043	0.013	0.064	0.089	0.027	0.016	0.013	0.094	N/A
27/09/18	0.152	0.019	0.050	0.043	0.008	0.031	0.085	0.032	0.020	0.014	0.106	0.129
05/10/18	0.129	0.024	0.075	0.083	0.035	0.092	0.224	0.085	0.088	0.033	0.263	0.207
10/10/18	0.040	0.002	0.071	0.083	0.040	0.082	0.136	0.059	0.044	0.037	0.179	0.135
18/10/18	0.054	0.004	0.088	0.113	0.056	0.127	0.283	0.100	0.122	0.064	0.396	0.303
23/10/18	0.061	0.008	0.110	0.121	0.075	0.123	0.269	0.121	0.118	0.071	0.305	0.302
02/11/18	0.136	0.009	0.093	0.075	0.065	0.116	0.280	0.116	0.106	0.064	0.336	0.291
05/11/18	0.074	0.009	0.128	0.121	0.114	0.175	0.426	0.173	0.190	0.099	0.497	0.482
15/11/18	0.081	0.006	0.136	0.134	0.126	0.162	0.501	0.236	0.268	0.103	0.512	0.467
21/11/18	0.205	0.210	0.318	0.183	0.436	0.615	1.380	0.624	0.937	0.280	1.251	1.349

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
02/12/18	0.086	0.271	0.535	0.205	1.047	1.630	2.113	0.922	1.474	0.427	1.541	1.538
07/12/18	0.378	0.334	0.875	0.511	2.241	3.020	3.527	1.441	2.995	0.788	2.662	2.737
15/12/18	0.252	0.063	0.307	0.195	0.412	0.545	1.188	0.523	0.658	0.208	1.129	1.016
18/12/18	0.130	0.003	0.228	0.192	0.118	0.263	0.486	0.207	0.213	0.108	0.414	0.485
27/12/18	0.118	0.208	0.371	0.224	0.794	1.167	1.644	0.751	0.962	0.320	1.565	1.514
07/01/19	0.281	0.133	0.630	0.446	0.594	0.935	1.065	0.469	0.618	0.173	0.876	0.834
12/01/19	0.248	0.103	0.399	0.277	0.290	0.606	1.034	0.460	0.417	0.165	0.904	0.886
27/02/19	0.198	0.047	0.102	0.053	0.039	0.114	0.274	0.109	0.136	0.034	0.400	0.279
08/02/19	0.085	0.013	0.027	0.020	0.019	0.033	0.040	0.025	0.045	0.019	0.169	0.113
13/02/19	0.257	0.087	0.255	0.157	0.117	0.242	0.440	0.186	0.222	0.079	0.455	0.465
18/02/19	0.356	0.419	0.649	0.194	1.255	1.691	2.453	1.153	2.205	0.433	2.232	2.420
22/02/19	0.157	0.017	0.009	0.014	0.019	0.022	0.041	0.026	0.025	0.021	0.091	0.094
MEAN	0.185	0.059	0.172	0.111	0.226	0.342	0.524	0.226	0.339	0.105	0.491	0.628
STDEV	0.086	0.103	0.210	0.115	0.459	0.632	0.803	0.351	0.653	0.163	0.640	0.713
MIN	0.040	0.002	0.009	0.006	0.003	0.008	0.006	0.003	0.007	0.009	0.046	0.094
MAX	0.378	0.419	0.875	0.511	2.241	3.020	3.527	1.441	2.995	0.788	2.662	2.737

Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη της τιμής-στόχου της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (1 ng/m³ ως μέση ετήσια τιμή) και παραπλήσια με τις αντίστοιχες τιμές που μετρήθηκαν στο λιμάνι του Βόλου κατά το προηγούμενο έτος (0,44 ng/m³) ή παλαιότερα έτη (0,28 ng/m³ το 2014 και 0,60 ng/m³ το 2015, Manoli et al., 2017). Ανάλογες τιμές Β[α]Ργ αναφέρονται στη βιβλιογραφία και για άλλες αστικές περιοχές της Ελλάδας, π.χ. 0,73 ng/m³ για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης (Tolis et al., 2014), 0,55 ng/m³ για το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Manoli et al., 2015).

2.2.3. Μέταλλα/ μεταλλοειδή

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων/ μεταλλοειδών στα δείγματα PM₁₀ δεν έχουν ολοκληρωθεί λόγω μακροχρόνιας βλάβης του οργάνου μέτρησης (ICP-MS) και θα δοθούν σε νεότερη έκδοση της Τελικής Έκθεσης

2.3. Συγκριτικά δεδομένα

Στους Πίνακες 2.3.1-2.3.4 δίνονται συγκριτικά δεδομένα από τη βιβλιογραφία για τις συγκεντρώσεις PAHs και βαρέων μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM₁₀ του Βόλου και άλλων περιοχών της Ελλάδας.

Πίνακας 2.3.1. Μέσες συγκεντρώσεις Β[α]Ργ και Σ13ΡΑΗs στα ΡΜ10 διαφόρων περιοχών της Ελλάδας (ng/m³)

Τοποθεσία, χρονική περίοδος (αριθμός δειγμάτων)	ΡΜ	Άθροισμα	ΣΡΑΗs	ΒαΡγ
Θεσσαλονίκη 1994-95 (n=45) ^α	<3 μm	Σ13ΡΑΗ	50	2,9
Κοζάνη 2005-06 (n=52) ^α	ΡΜ _{2,5}	Σ13ΡΑΗ	4,5	0,35
Κλείτος Κοζάνης 2005-06 (n=52) ^α	ΡΜ _{2,5}	Σ13ΡΑΗ	5,3	0,35
Θεσσαλονίκη, Καμάρα 2006 (n=15) ^α	<3 μm	Σ12ΡΑΗ	17	0,61
Θεσσαλονίκη 1994-95 (n=45) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	51	2,9
Θεσσαλονίκη, Πλ. Δημοκρατίας 1997-98 (n=54) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	31	1,9
Θεσσαλονίκη, Ελευθέριο-Κορδελιό 1997-98 (n=54) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	22	1,4
Θεσσαλονίκη, Μαρτίου 1997-98 (n=54) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	25	1,2
Κοζάνη 2005-06 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	7,1	0,57
Κλείτος Κοζάνης 2005-06 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	8,9	0,58
Αθήνα, Μαρούσι 2001-02 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	2,8	0,16
Αθήνα, Αριστοτέλους 2001-02 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	8,5	0,57
Αθήνα, Ελευσίνα 2001-02 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	7,9	0,71
Αθήνα, Θρακομακεδόνες 2001-02 (n=52) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	0,65	0,04
Θεσσαλονίκη, Ι. Δραγούμη 2011-12 (n=20) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	12 (ψυχρή περίοδος) 4,0 (θερμή περίοδος)	0,86 (ψυχρή περίοδος) 0,12 (θερμή περίοδος)
Θεσσαλονίκη, Επταπύργιο 2011-12 (n=20) ^α	ΡΜ ₁₀	Σ13ΡΑΗ	9,4 (ψυχρή περίοδος) 0,64 (θερμή περίοδος)	0,70 (ψυχρή περίοδος) 0,002 (θερμή περίοδος)
ΟΛΒ 2014 (n=46) ^β	ΡΜ ₁₀	Σ12ΡΑΗ	3,34 (μέση τιμή έτους)	0,28 (μέση τιμή έτους)
ΟΛΒ 2015 (n=47) ^β	ΡΜ ₁₀	Σ12ΡΑΗ	6,46 (μέση τιμή έτους)	0,60 (μέση τιμή έτους)
Βόλος 2015 ^γ	ΡΜ ₁₀	-	0,26 (7/5-19/8/15)	4,7 (1-6/1/2015)

^α Μετρήσεις του Εργαστηρίου Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος, ΑΠΘ

^β Manoli et al., 2017 (submitted)

^γ Μετρήσεις ΥΠΕΚΑ

Πίνακας 2.3.2. Μέσες συγκεντρώσεις PM10 και μετάλλων/μεταλλοειδών στο πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου (ng/m³)

Παράμετρος	Κέντρο Βόλου ^{α,β} Ιούν.-Ιούλ. 2007 & Ιαν.-Φεβ. 2008	Ν. Ιωνία Βόλου ^{α,β} Ιούν.-Ιούλ. 2007 & Ιαν.-Φεβ. 2008	Ν. Δημητριάδα Βόλου ^{α,β} Ιούν.-Ιούλ. 2007 & Ιαν.-Φεβ. 2008	Παλαιά Βόλου ^{α,γ} Ιούν.-Ιούλ. 2008
PM10	69	51	69	35
As	15	10	9,2	10
Ni	11	11	9,8	8,0
Cd	10	15	11	11
Cr	20	18	18	13
Mn	53	46	41	40
Fe	1579	1149	1007	1012
Zn	403	290	193	192
Pb	74	62	46	47

^α Ολικές συγκεντρώσεις όπως προσδιορίστηκαν με ED-XRF

^β 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.

^γ 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

Πίνακας 2.3.3. Μέσες συγκεντρώσεις PM10 και μετάλλων/μεταλλοειδών της Οδηγίας 2004/17/ΕΚ σε αστικά κέντρα της Ελλάδας (Πρόγραμμα LIFE09 “ACEPT-AIR”)

Παράμετρος		Αθήνα, Αγ. Παρασκευή		Αθήνα, Νέα Σμύρνη		Θεσσαλονίκη, Εγνατία		Θεσσαλονίκη, Επταπύργιο		Βόλος, Πανεπιστήμιο	
		Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012	Καλοκαίρι 2011	Χειμώνας 2012
PM10	μg/m³	22	23	21	44	48	53	28	37	28	76
As ^α	ng/m ³	19,3	2,8	2,2	0,5	7,3	14,5	2,1	8,1	1,7 ^β	8,3 ^β
Ni ^α	ng/m ³	6,5	4,3	5,5	9,1	9,4	10,6	5,8	6,3	7,6	9,2
Cd ^β	ng/m ³	0,3	0,1	0,9	0,4	1,2	0,4	0,9	0,2	0,1	0,3

^α Ολικές συγκεντρώσεις όπως προσδιορίστηκαν με ED-XRF

^β Συγκεντρώσεις όπως προσδιορίστηκαν με GF-AAS σε διαλυτοποιημένο φίλτρο

Πίνακας 2.3.4. Μέσες συγκεντρώσεις PM10 και μετάλλων/μεταλλοειδών της Οδηγίας 2004/17/ΕΚ στο πολεοδομικό συγκρότημα του Βόλου (ng/m³)^α

Παράμετρος		12/11-31/12/14 (n=22)	1/1/15-19/8/15 (n=29)
PM10	μg/m³	43	38
As	ng/m ³	1,10	0,31
Ni	ng/m ³	2,46	2,92
Cd	ng/m ³	0,34	0,26

^α Μετρήσεις ΥΠΕΚΑ. Συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών όπως προσδιορίσθηκαν με ICP-MS σε διαλυτοποιημένο φίλτρο

Πίνακας 2.3.5. Μέσες συγκεντρώσεις PM10 και μετάλλων/μεταλλοειδών στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας την περίοδο 22.05.2014–11.06.2014 (ng/m³) (Emmanouil et al., 2017)

Παράμετρος	Μέση τιμή ±SD	Min-Max
As ^α	1,9±1,1	<DL-2,7
Cd ^α	1,3±1,3	<DL-5,8
Ni ^β	3,0±1,0	1,4-5,3
Cr ^β	3,3±2,4	<DL-7,7
Pb ^β	37±45	6-213
Mn ^β	33±19	9-87
Zn ^β	157±255	8-1194
Fe ^β	895± 430	347-2171

^α ET-AAS, ^β XRF

Βιβλιογραφία

- Argyropoulos, G., Samara, C., 2008. Source apportionment in Volos and planning of environmental policy for air quality improvement. Technical Report. Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).
- Argyropoulos G., C. Samara C., Diapouli, E. Eleftheriadis K., Papaoikonomou K., Kungolos A., 2017. Source apportionment of PM10 and PM2.5 in major urban Greek agglomerations using a hybrid source-receptor modeling process. *The Science of the Total Environment* 601-602, 906-917.
- 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.*
- Diapouli E., Grigoratos Th., Proias G., Vasilatou V., Maggos Th., Samara C., A. Kungolos, Eleftheriadis K. PM chemical composition and sources in the greater area of Volos during the LIFE+ACCEPT-AIR Project (submitted).
- Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou V., Maggos Th., Saraga D., Grigoratos Th., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C., Eleftheriadis K., 2017. Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM10 and PM2.5 source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmos. Environ.* 164, 416-430.
- Eleftheriadis K., Diapouli E., Gini M.I., Vasilatou V., Samara C., Argyropoulos G., 2011. Source apportionment of airborne particulate matter for three urban centers in Greece. *European Aerosol Conference, 4-9 Sept, 2011.*
- Emmanouil C., Drositi E., Vasilatou V., Diapouli E., Krikonis K., Eleftheriadis K., Kungolos A., 2017. Study on particulate matter air pollution, source origin, and human health risk based of PM10 metal content in Volos City, Greece. *Toxicological & Environmental Chemistry: 1-19.* doi:10.1080/02772248.2016.1242005.
- 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., 2016. 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* 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.*
- Manoli E., Chelioti-Chatzidimitriou A., Karageorgou K., Kouras A., Voutsas D., Samara C., Kampanos I., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements bounded to airborne PM10 in the harbor of Volos, Greece: Implications for the impact of harbor activities. *Atmospheric Environment* 167, 61-72.

- Moustris K.P., Proias G.T., Larissi I.K., Nastos P.T., Koukouletsos K.V., Palitsos A.G., 2015. Health impacts due to particulate air pollution in Volos City, Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. VOL. 0, No. 0, 1-6 (<http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2015.1079099>)
- Papaioannou A.B., Viras L.G, Nastos P.T., Paliatsos A.G., 2010. Temporal evolution of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the city of Volos, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment* 161, 485-494.
- 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 - 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., 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.