



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΕΙΔΙΚΟΣ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΔΥΛΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Κτίριο ΚΕΔΕΑ, 3ης Σεπτεμβρίου,
Πανεπιστημιούπολη,
546 36 Θεσσαλονίκη
Πρόεδρος: Καθηγητής Κ. Υάκινθος,
Αντιπρύτανης Έρευνας και Καινοτομίας
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. Δ. Βουτσά
Τηλ. 2310 997858, Fax 2310 997747
Email: dvoutsas@chem.auth.gr

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ

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

**ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΚΘΕΣΗ
(01.01.25 – 30.06.25)**



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Ιούλιος 2025

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

<i>Τίτλος Έργου</i>	Παροχή υπηρεσιών μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του Εμπορικού Λιμένα Βόλου
<i>Χρονική Διάρκεια</i>	36 μήνες
<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 Υπεύθυνος</i>	Α. Κούρας, Δρ. ΕΔΙΠ Τμ. Χημείας Α.Π.Θ.
<i>Επιστημονικοί Συνεργάτες</i>	Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Καθηγήτρια Τμ. Χημείας Α.Π.Θ. Δ. Βουτσά, Καθηγήτρια 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 PM ₁₀	5
1.2.1. PAHs.....	5
1.2.2. Μέταλλα/μεταλλοειδή	6
2. Αποτελέσματα	7
2.1. Online μετρήσεις.....	7
2.2. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες.....	11
2.3. Σταθμικές μετρήσεις /αναλύσεις PM ₁₀	14
2.2.1. PM ₁₀	14
2.2.2. PAHs.....	14
2.2.3. Μέταλλα/μεταλλοειδή	17
Βιβλιογραφία	22
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	

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 1.1). Ακόμη σε 2^η θέση εντός του χώρου της ΟΛΒ Α.Ε. βρίσκεται εγκατεστημένος και το 2^{ος} μετρητής PM₁₀ (Χάρτης 1.1)



Εικόνα 1.1. Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΣΜΑΡ) του ΟΛΒ

Ο εξοπλισμός του ΣΜΑΡ περιλαμβάνει όργανα online μέτρησης αερίων ρύπων (NO_x, O₃, αρωματικών υδρογονανθράκων ΒΤΕΧ, SO₂, CO) και αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀/PM_{2,5}, μετεωρολογικό σταθμό, λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων, Η/Υ και δειγματολήπτη PM₁₀.

Οι τύποι των οργάνων περιγράφονται στον Πίνακα 1. Φωτογραφίες ορισμένων οργάνων δίνονται στην Εικόνα 1.2.

Οι αναλυτές NO_x, O₃, ΒΤΕΧ, PM₁₀/PM_{2,5} είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό του οικίσκου, σε κλιματιζόμενο χώρο. Ο δειγματολήπτης PM₁₀ είναι τοποθετημένος σε ειδικά διαμορφωμένη εξωτερική θέση, στο μπροστινό μέρος του οικίσκου. Τα ακροφύσια και οι κεφαλές όλων των συσκευών μέτρησης/δειγματοληψίας βρίσκονται σε κατάλληλο ύψος από το έδαφος σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Οδηγιών 2008/107/ΕΚ και 2004/50/ΕΚ [1,5 m (ζώνη αναπνοής) έως 4 m πάνω από το έδαφος].

Η βαθμονόμηση/συντήρηση των αυτόματων αναλυτών NO_x, O₃, ΒΤΕΧ γίνεται σε μηνιαία βάση από διαπιστευμένο Εργαστήριο ΚΑΜΠΑΣ Ι.Β. & ΣΙΑ Ε.Ε., Επιστημονικά Όργανα Μετρήσεων, σύμφωνα με τα εγχειρίδιο του κάθε οργάνου. Η βαθμονόμηση του μετρητή PM₁₀/PM_{2,5} γίνεται σε τακτική βάση από το διαπιστευμένο Εργαστήριο ΕΕΡΠ-ΟΜΑΣ, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., ενώ η ετήσια βαθμονόμηση από την κατασκευάστρια εταιρεία στην Αγγλία.



Χάρτης 1.1. Σημεία 1^{ης} και 2^{ης} θέσης μετρήσεων και δειγματοληψίας



Αναλυτές BTEX, NO_x



Μετρητής PM₁₀/PM_{2,5}



Μετρητής PM₁₀



Δειγματολήπτης
αιωρούμενων σωματιδίων
PM₁₀ κατά EN-12341:2014



Αναλυτής SO₂



Αναλυτής O₃



Αναλυτής CO

Εικόνα 1.2. Αναλυτές που έχουν εγκατασταθεί στις δύο θέσεις του Σ.Μ.Α.Ρ.

Πίνακας 1. Εξοπλισμός εγκατεστημένος στον ΣΜΑΡ του ΟΛΒ

Εξοπλισμός	Τύπος
Αναλυτής NO _x	AC32M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής O ₃	O341M, ENVIRONMENT SA
Αναλυτής αρωματικών υδρογονανθράκων BTEX	VOC72M, ENVEA SA
Αναλυτής SO ₂	T100 (SO ₂ analyzer), Teledyne API
Αναλυτής CO	T300 (CO analyzer), Teledyne API
Μετρητής PM ₁₀ (στη 2 ^η θέση δειγματοληψίας)	BAM 1020 (PM analyzer), Met One Instruments
Μετρητής PM ₁₀ /PM _{2,5} (στην 1 ^η θέση δειγματοληψίας)	DUSTTRAK™ DRX Aerosol Monitor, TSI
Μετεωρολογικός σταθμός με <ul style="list-style-type: none">– αισθητήριο ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου– αισθητήριο θερμοκρασίας και υγρασίας– αισθητήριο βαρομετρικής πίεσης	LSI-LASTEM
Λογισμικό συλλογής και καταγραφής μετρήσεων	ENVIDAS ULTIMATE της Envitech LTD
Δειγματολήπτης PM ₁₀	LVS Derenda, Berlin με κεφαλή PM10 και παροχή 2.3 m ³ /h σε συμφωνία με το πρότυπο ISO/IEC EN-12341

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 B[a]P, As, Cd, Ni, Pb σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ. Η δειγματοληψία, χειρισμός και ζύγιση των φίλτρων γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο EN-12341:2014.

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, Pb και άλλων βαρέων μετάλλων – τοξικών στοιχείων.

1.2.1. PAHs

Η παραλαβή των PAHs από τα φίλτρα πραγματοποιείται με εκχύλιση με υπερήχους, χρησιμοποιώντας ακετονιτρίλιο ως διαλύτη εκχύλισης. Ακολουθεί συμπύκνωση των εκχυλισμάτων σε περιστροφικό εξατμιστήρα κενού και ρύθμιση όγκου σε 1 mL ακετονιτρίλιο. 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), Indeno[1,2,3-c,d]pyrene (I[1,2,3-cd]Py). 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 0.0002 και 0.035 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 οξέος – υπεροξειδίου του υδρογόνου (HNO₃/H₂O₂). 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. Online μετρήσεις για τη χρονική περίοδο 01/01/25 – 30/06/25

2.1.1. Σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ

Σε σύγκριση με τα όρια της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη» που δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:

- Η μέση ωριαία τιμή του NO₂ για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 13,5 µg/m³ (τιμή μικρότερη αν συγκριθεί με το ετήσιο όριο 40 µg/m³) και δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 200 µg/m³ (η μέγιστη ωριαία τιμή για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων ήταν 45,3 µg/m³).
- Η μέση τιμή του βενζολίου ήταν 0,68 µg/m³, επίσης μικρότερη συγκρινόμενη με το ετήσιο όριο (5 µg/m³).
- Για το SO₂ η μέση ημερήσια τιμή ήταν 6,6 µg/m³ και δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ημερήσιου ορίου των 125 µg/m³ (η μέγιστη ημερήσια τιμή γι' αυτό το χρονικό διάστημα ήταν 33,4 µg/m³). Ακόμη, δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση του ωριαίου ορίου των 350 µg/m³ (η μέγιστη ωριαία τιμή γι' αυτό το χρονικό διάστημα ήταν 36,6 µg/m³).
- Η μέση ημερήσια τιμή CO ήταν 2,9 mg/m³ ενώ η αντίστοιχη μέγιστη μέση ημερήσια τιμή ήταν 3,8 mg/m³. Ακόμη, ο μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκταώρου ήταν 3,8 mg/m³, μικρότερος του ορίου των 10 mg/m³.
- Για το O₃, η μέση τιμή του ημερήσιου μέγιστου κυλιόμενου μ.ο. 8ώρου ήταν 58 µg/m³ ενώ η αντίστοιχη μέγιστη τιμή ήταν 98,3 µg/m³. Δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση της τιμής στόχου των 120 µg/m³.
- Η μέση τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM₁₀ για αυτό το χρονικό διάστημα ήταν 28,1 µg/m³, μικρότερη του ετήσιου ορίου (40 µg/m³), ενώ παρατηρήθηκαν 22 υπερβάσεις του ημερήσιου ορίου για τα PM₁₀ (50 µg/m³): 21 τον Ιανουάριο (50,6–104 µg/m³), και 1 τον Μάρτιο (64,6 µg/m³).
- Η μέση τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM_{2,5} ήταν 17,6 µg/m³, κάτω από το ετήσιο όριο (25 µg/m³).
- Η μέση τιμή των ημερήσιων συγκεντρώσεων του σωματιδιακού κλάσματος PM₁₀ για το 2^ο σημείο μέτρησης και για το ίδιο χρονικό διάστημα ήταν 31,4 µg/m³, μικρότερη του ετήσιου ορίου (40 µg/m³), ενώ παρατηρήθηκαν 11 υπερβάσεις του ημερήσιου ορίου για τα PM₁₀ (50 µg/m³) οι 3 τον Ιανουάριο (51,7–87,9 µg/m³), μία τον Φεβρουάριο (50,3 µg/m³), 2 τον Μάρτιο (51,4 και 60,9 µg/m³), 3 τον Απρίλιο (50,8–61,2 µg/m³) και 2 τον Ιούνιο (56,2 και 56,4 µg/m³).

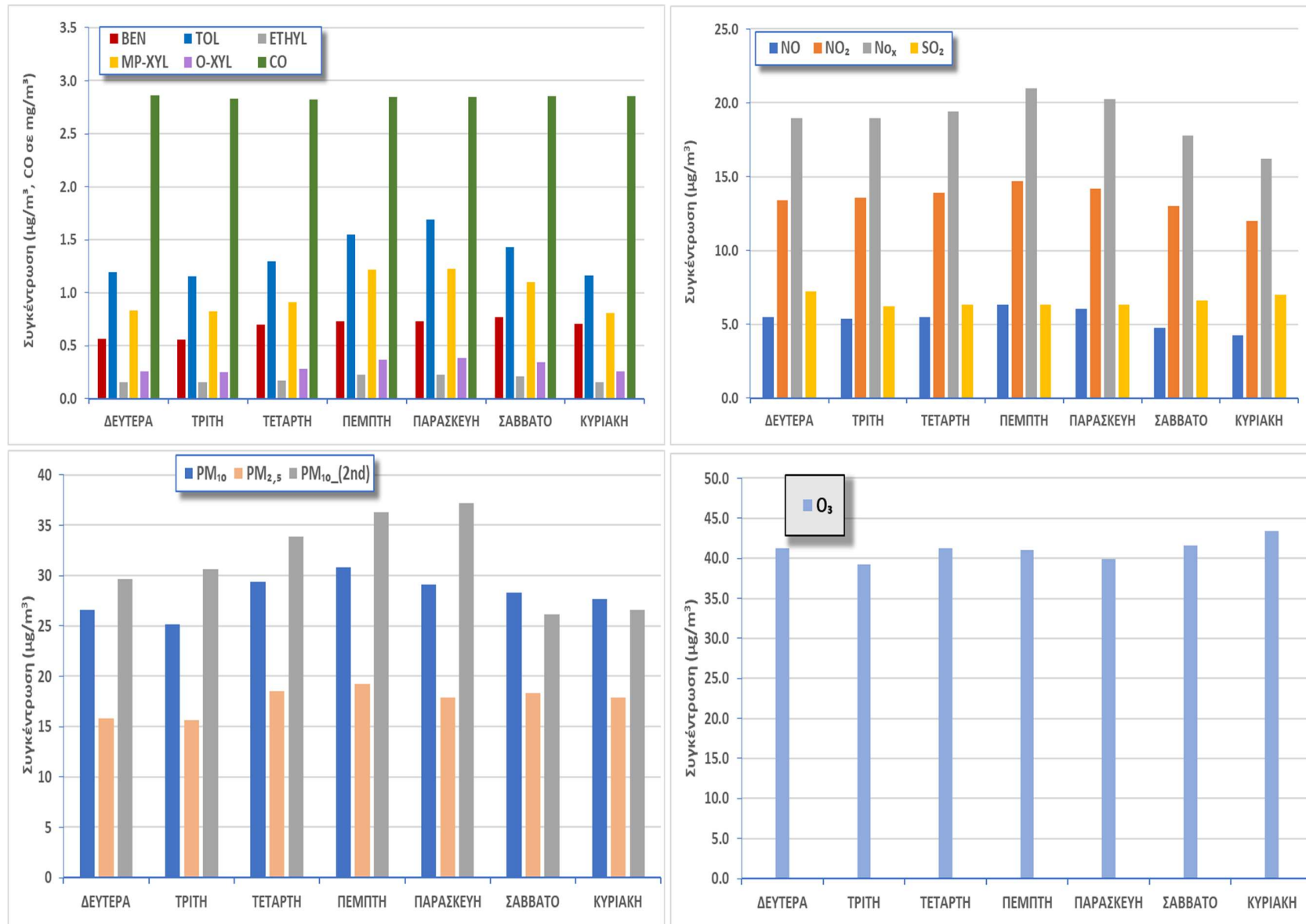
2.1.2. Χρονικές διακυμάνσεις

Οι μέσες διακυμάνσεις (ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία) των συγκεντρώσεων ΒΤΕΧ, CO, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2,5} κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25 – 30.06.25 δίνονται στα Σχήματα 2.1.1, 2.1.2 και 2.1.3, αντίστοιχα.

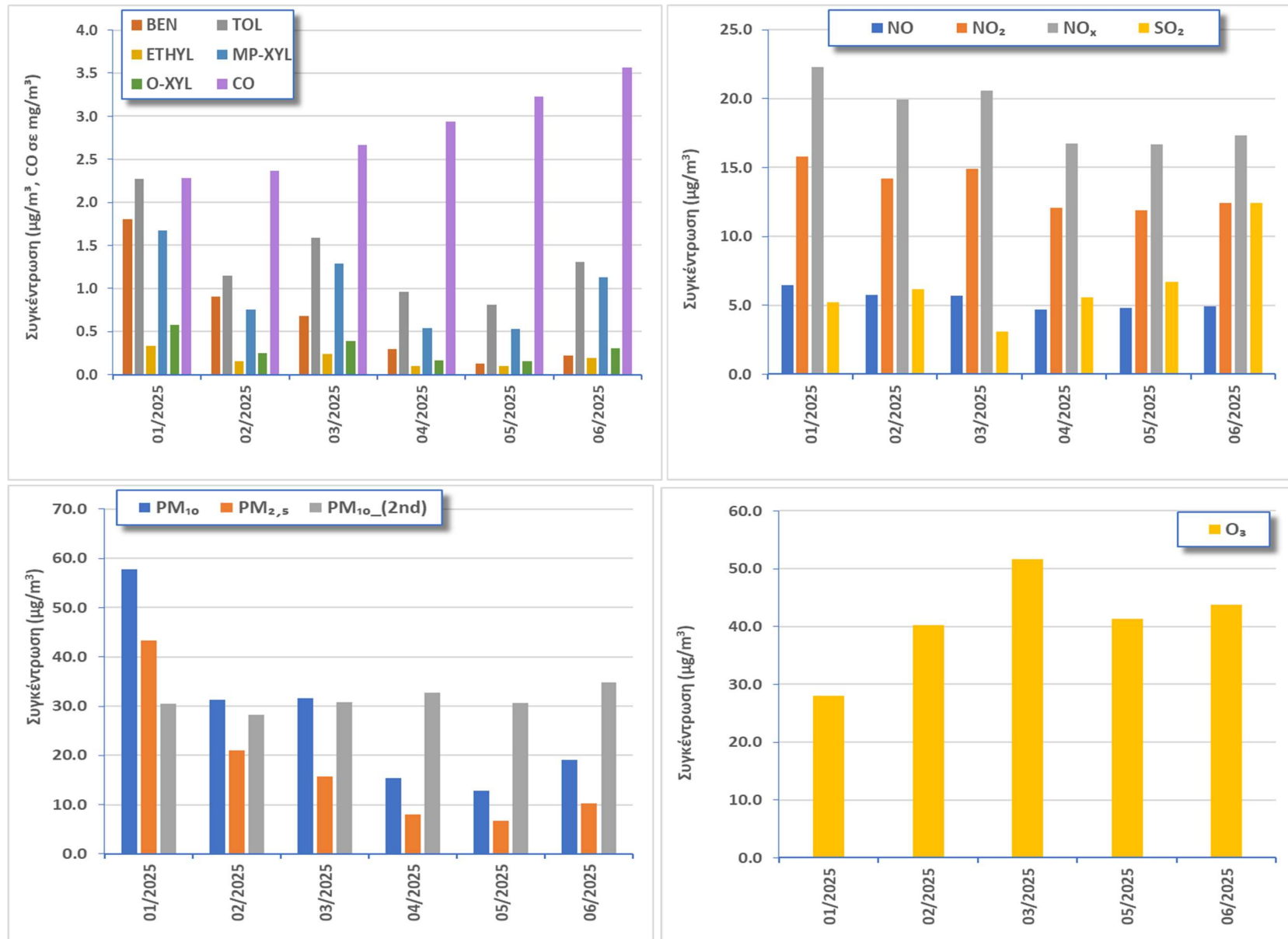
Όπως προκύπτει, οι πρωτογενείς ρύποι ΒΤΕΧ, CO, NO_x, PM₁₀ και PM_{2,5} εμφανίζουν δύο μέγιστα στη διάρκεια του 24ώρου, ένα πρωινό (μεταξύ 8:00-10:00) και ένα βραδινό (μεταξύ 20:00-02:00), τα οποία σχετίζονται με την ημερήσια διακύμανση των πηγών εκπομπής (κυκλοφορία, οικιακή θέρμανση), αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών (ύψος ανάμιξης, ταχύτητα ανέμου). Η ημερήσια διακύμανση του O₃, που είναι δευτερογενής ρύπος, είναι αντίθετη με μέγιστο μεταξύ 14:00-17:00. Το SO₂ δεν φαίνεται να έχει ημερήσια διακύμανση. Μικρή εβδομαδιαία διακύμανση παρατηρείται για το O₃ με σχετικά υψηλότερες τιμές το σαββατοκύριακο.



Σχήμα 2.1.1. Μέση ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, CO, NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀ και PM_{2,5} κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25 – 30.06.25



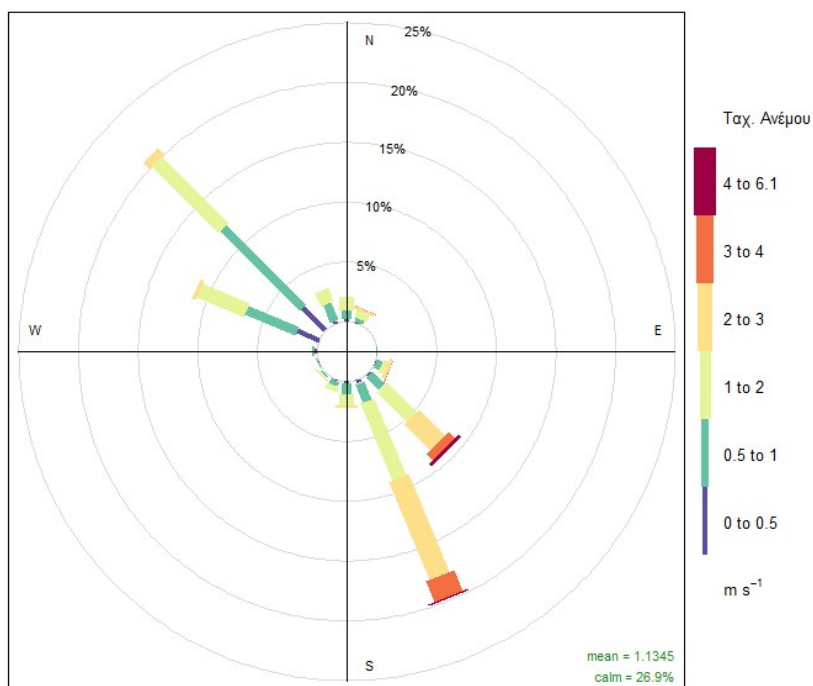
Σχήμα 2.1.2. Μέση εβδομαδιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, CO, NO_x, SO₂, O₃, PM₁₀ και PM_{2,5} κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25 – 30.06.25



Σχήμα 2.1.3. Μέση μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων BTEX, CO, NO_x, O₃, PM₁₀ και PM_{2,5} κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25-30.06.25

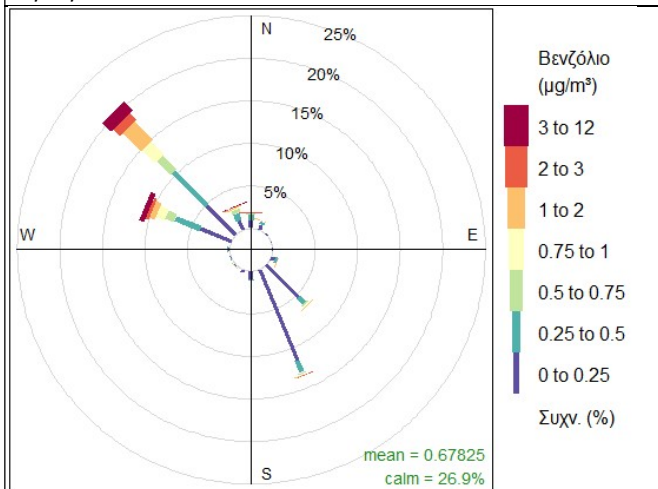
2.1.3. Συσχέτιση με μετεωρολογικούς παράγοντες

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

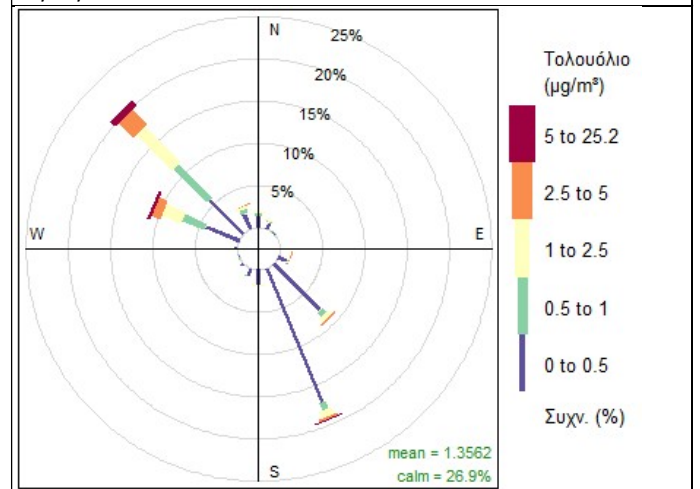


Σχήμα 2.1.4. Συχνότητα εμφάνισης και μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση προέλευσης κατά την περίοδο των μετρήσεων 01.01.25-30.06.25

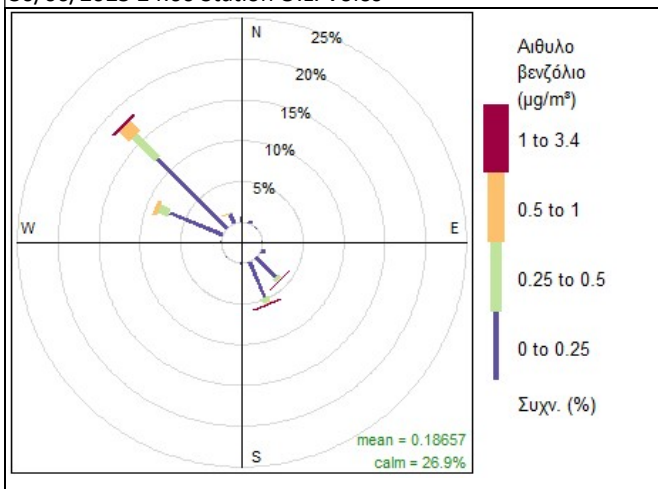
Pollution Rose for Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



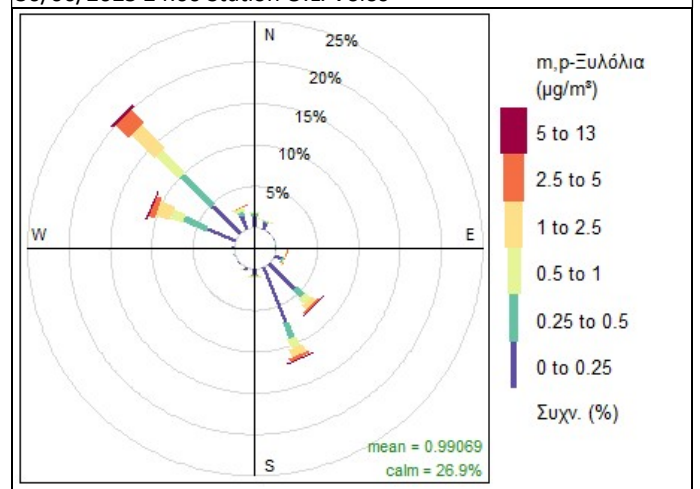
Pollution Rose for Toluene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



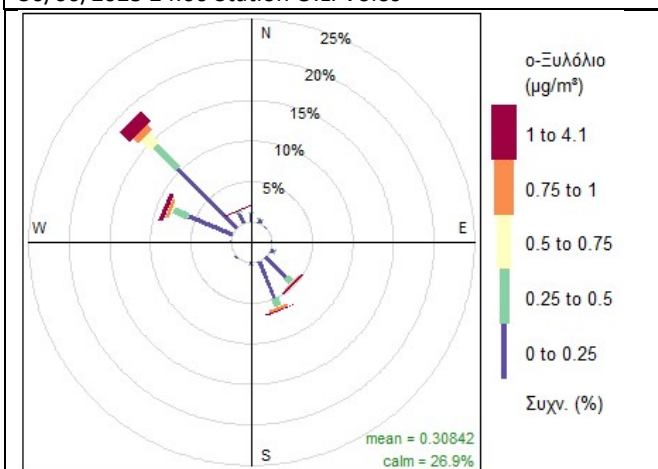
Pollution Rose for EthylBenzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



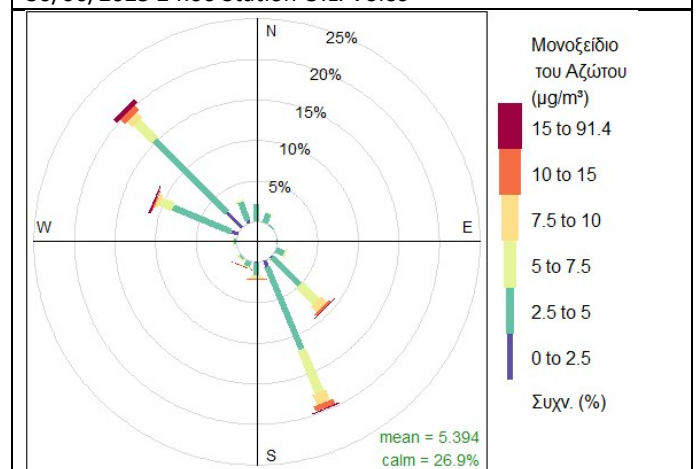
Pollution Rose for m+p-Xylenes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



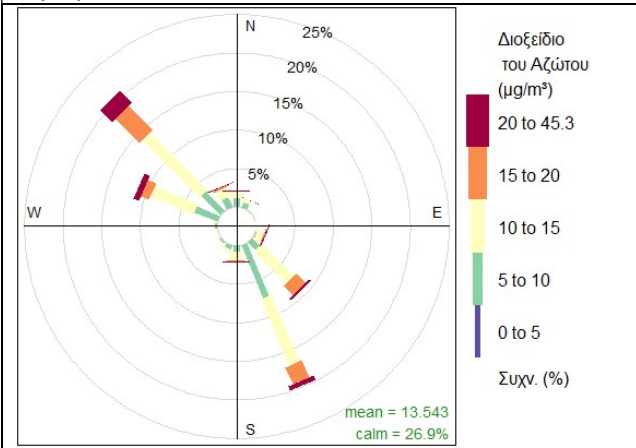
Pollution Rose for o-Xylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



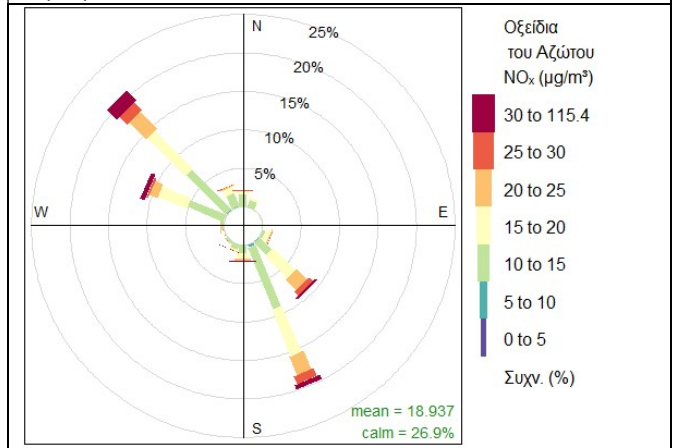
Pollution Rose for NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



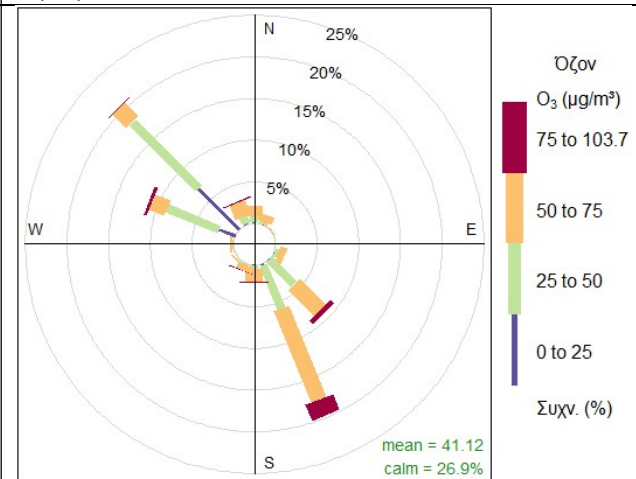
Pollution Rose for NO₂ (μg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



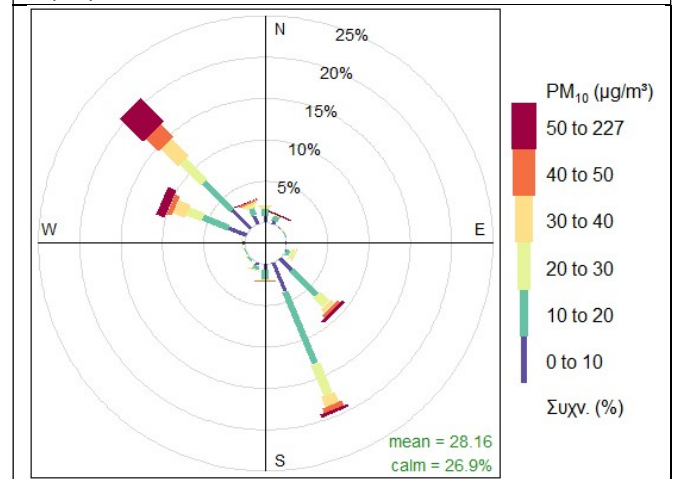
Pollution Rose for NO_x (μg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



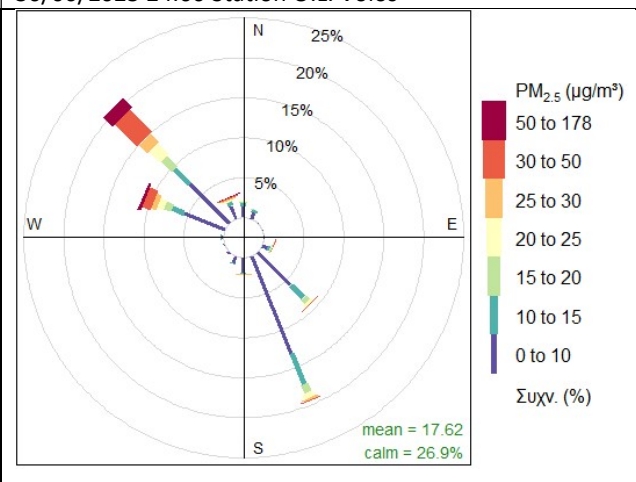
Pollution Rose for Ozone (μg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



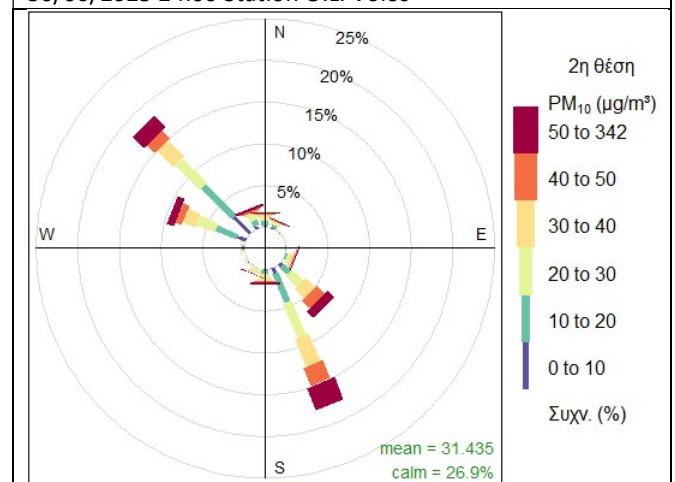
Pollution Rose for PM₁₀ (μg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos

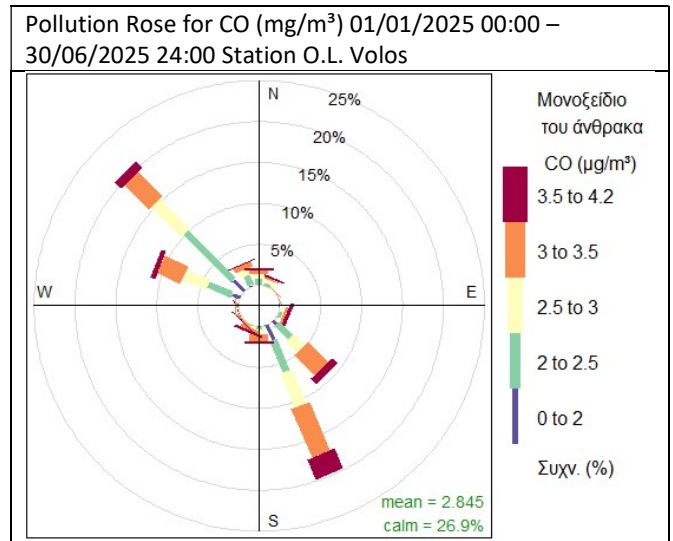
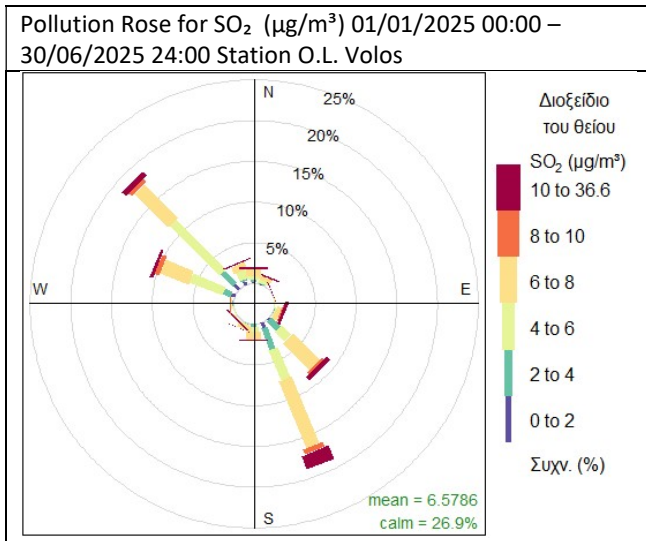


Pollution Rose for PM_{2.5} (μg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



Pollution Rose for CO (mg/m³) 01/01/2025 00:00 – 30/06/2025 24:00 Station O.L. Volos



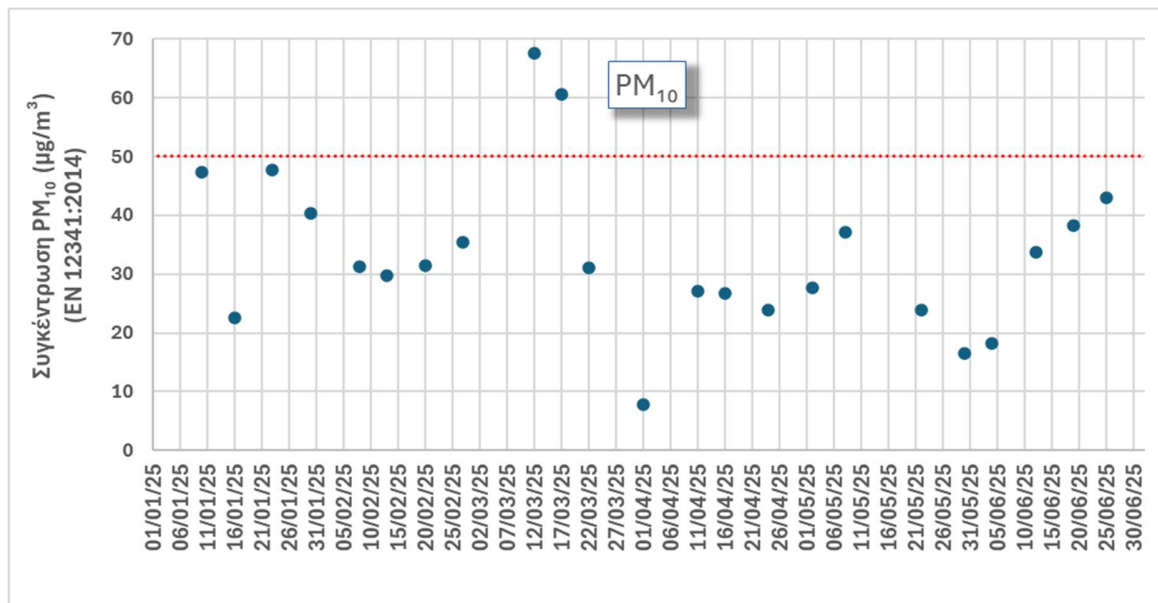


Σχήμα 2.1.5. Ροδογράμματα των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων (1h Average)

2.2. Σταθμικές μετρήσεις/αναλύσεις PM₁₀

2.2.1. PM₁₀

Οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀, τα οποία συλλέχθηκαν σε φίλτρο για χημική ανάλυση και προσδιορίστηκαν σταθμικά σύμφωνα με το EN 12341:2014, κυμάνθηκαν μεταξύ 7,9 και 67,5 μg/m³ (μ.ο. 33,4 μg/m³). Καταγράφηκαν δύο υπερβάσεις του ημερήσιου ορίου της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ (50 μg/m³), με τιμές 60,5 και 67,5 μg/m³, και οι δύο τον μήνα Μάρτιο (Σχήμα 2.2.1).



Σχήμα 2.2.1. Ημερήσιες σταθμικές συγκεντρώσεις PM₁₀ κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25 – 30.06.25

2.2.2. PAHs

Οι συγκεντρώσεις των PAHs που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα PM₁₀ δίνονται στον Πίνακα 2.2.1. Οι συγκεντρώσεις του B[α]Py κυμάνθηκαν από 0,007 μέχρι 1,47 ng/m³ με μέση τιμή 0,38 ng/m³. Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη της τιμής-στόχου της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (1 ng/m³ ως μέση ετήσια τιμή). Στο σχήμα 2.2.2 δίνεται το διάγραμμα box-and-whisker των συγκεντρώσεων των PAHs (ng/m³). Κάθε κουτί απεικονίζει τη διάμεσο (γραμμή εντός του κουτιού), το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (25^ο–75^ο εκατοστημόριο), ενώ τα whiskers εκτείνονται έως τις ακραίες τιμές που δεν θεωρούνται outliers. Οι κόκκινες κουκκίδες αντιστοιχούν σε ακραίες τιμές (outliers). Ο άξονας Y παρουσιάζεται σε λογαριθμική κλίμακα ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των PAHs με διαφορετικές τάξεις μεγέθους συγκεντρώσεων.

2.2.3. Μέταλλα/ μεταλλοειδή

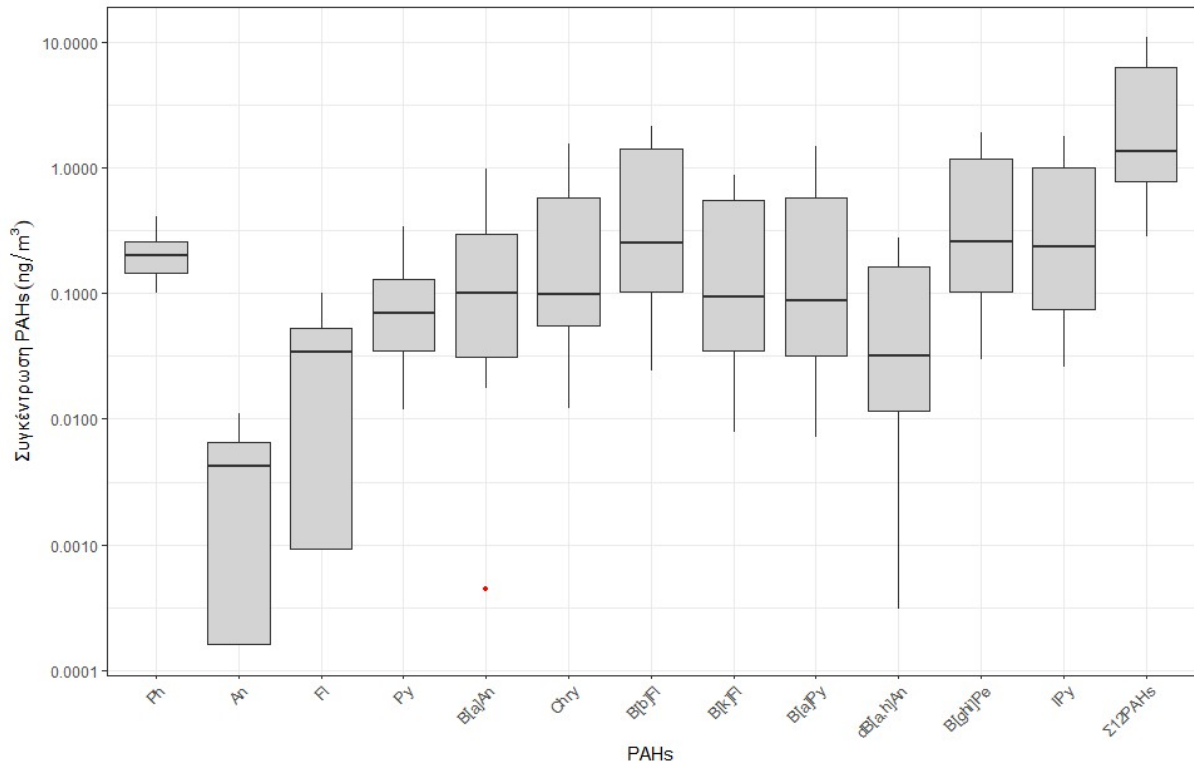
Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων/ μεταλλοειδών που προσδιορίστηκαν στα δείγματα PM₁₀ όπου ολοκληρώθηκαν οι αναλύσεις, δίνονται στον Πίνακα 2.2.2. Οι μέσες συγκεντρώσεις των νομοθετημένων στοιχείων είναι κάτω από τις τιμές-στόχους της Οδηγίας 2004/107/ΕΚ (6, 5, 20 και 500 ng/m³ για As, Cd, Ni, Pb, ως μέση ετήσια τιμή). Στο σχήμα 2.2.3 φαίνεται το διάγραμμα box-and-whisker των συγκεντρώσεων μετάλλων (ng/m³).

Πίνακας 2.2.1 Συγκεντρώσεις πολυαρωματικών υδρογονανθράκων στα PM₁₀ (ng/m³) κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25-30.06.25.

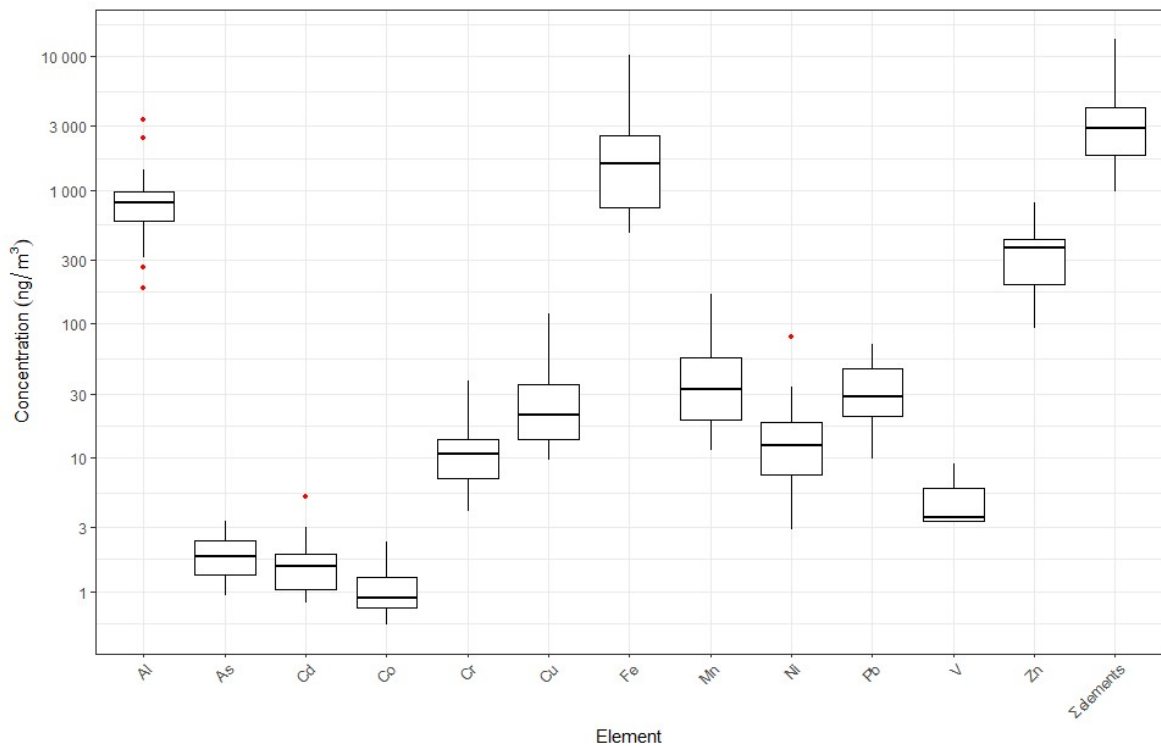
Ημερομηνία	Ph	An	Fl	Py	B[a]An	Chry	B[b]Fl	B[k]Fl	B[a]Py	dB[a,h]An	B[ghi]Pe	IPy	Σ12PAHs
10/01/2025	0.4095	0.00016	0.00092	0.15355	0.77899	1.12274	2.10747	0.8629	1.46935	0.27518	1.89368	1.75706	10.8315
16/01/2025	0.30412	0.00016	0.00092	0.10632	0.3045	0.59987	1.46784	0.58674	0.60173	0.16342	1.20378	1.24898	6.58838
23/01/2025	0.24789	0.00016	0.00092	0.13362	0.30597	0.72664	2.06414	0.80817	0.98508	0.23667	1.76644	1.38304	8.65874
30/01/2025	0.30271	0.00017	0.00093	0.11675	0.64128	1.06165	1.65407	0.67779	1.33897	0.22709	1.39526	1.33837	8.75504
08/02/2025	0.2412	0.00016	0.00092	0.16265	0.62356	1.09216	1.42123	0.57326	0.83325	0.15688	1.12139	0.95689	7.18355
13/02/2025	0.19781	0.00016	0.0839	0.18283	0.26343	0.49705	0.9159	0.37415	0.45435	0.08937	0.80509	0.31513	4.17917
20/02/2025	0.32981	0.00016	0.00092	0.33463	0.97825	1.54179	1.7859	0.73259	1.25689	0.24156	1.39531	1.12632	9.72413
27/02/2025	0.1894	0.00016	0.00092	0.15655	0.16629	0.39241	1.29801	0.49801	0.50651	0.16313	1.17557	1.0228	5.56976
12/03/2025	0.11434	0.00016	0.0383	0.02939	0.02906	0.06775	0.10389	0.03509	0.02957	0.01639	0.10247	0.04499	0.6114
17/03/2025	0.15196	0.00542	0.03824	0.02063	0.00044	0.07626	0.09613	0.03222	0.0183	0.0059	0.09077	0.08698	0.62325
22/03/2025	0.16123	0.00016	0.03797	0.11948	0.13059	0.26795	0.78244	0.30206	0.31756	0.09721	0.73651	0.68893	3.64209
01/04/2025	0.10418	0.0037	0.03258	0.03482	0.03703	0.06832	0.2142	0.07912	0.05805	0.02967	0.20988	0.1951	1.06665
11/04/2025	0.21586	0.00708	0.00092	0.07228	0.07083	0.18333	0.33632	0.13239	0.13179	0.0342	0.31552	0.31411	1.81463
16/04/2025	0.26333	0.00791	0.06703	0.09553	0.00044	0.12607	0.28763	0.10925	0.14032	0.03554	0.30879	0.28453	1.72637
24/04/2025	0.20543	0.00674	0.05962	0.0322	0.22548	0.04096	0.10478	0.03501	0.03999	0.01497	0.11159	0.0532	0.92997
02/05/2025	0.19707	0.00606	0.0531	0.05569	0.00044	0.05828	0.10214	0.0373	0.05188	0.01133	0.11041	0.09578	0.77948
08/05/2025	0.21924	0.0075	0.03586	0.0353	0.07738	0.06692	0.11699	0.03905	0.04958	0.01415	0.1017	0.09672	0.86039
22/05/2025	0.13322	0.00692	0.05071	0.04015	0.20798	0.05367	0.08371	0.02355	0.02391	0.00031	0.07181	0.07109	0.76703
04/06/2025	0.10028	0.00593	0.03201	0.01359	0.02106	0.01212	0.02438	0.0079	0.00712	0.00273	0.02949	0.02568	0.28229
12/06/2025	0.14098	0.0047	0.0302	0.01189	0.0398	0.01431	0.04203	0.01329	0.01181	0.00745	0.03807	0.04656	0.40109
19/06/2025	0.33473	0.01098	0.10124	0.06669	0.04494	0.04748	0.10933	0.03675	0.04542	0.01293	0.10452	0.08473	0.99974
25/06/2025	0.13053	0.00495	0.05831	0.03799	0.01749	0.02537	0.04538	0.014	0.01491	0.00483	0.04201	0.02921	0.42498
Μέσος όρος	0.21340	0.00361	0.03302	0.09148	0.22569	0.37014	0.68927	0.27321	0.38120	0.08368	0.59682	0.51210	3.4736
Τυπική απόκλ.	0.08399	0.00350	0.02992	0.07652	0.28076	0.45693	0.7498	0.30459	0.48682	0.09447	0.63079	0.56276	3.5671
Ελάχιστο	0.10028	0.00016	0.00092	0.01189	0.00044	0.01212	0.02438	0.0079	0.00712	0.00031	0.02949	0.02568	0.2823
Μέγιστο	0.4095	0.01098	0.10124	0.33463	0.97825	1.54179	2.10747	0.8629	1.46935	0.27518	1.89368	1.75706	10.832

Πίνακας 2.2.2. Συγκεντρώσεις μετάλλων/μεταλλοειδών στα PM₁₀ (ng/m³) κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25-30.06.25

Ημερομηνία	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
10/01/25	682	4.27	27.6	60.6	2580	1.12	21.1	43.9	801	2.41	1.95	50.7
16/01/25	697	4.22	27.3	75.9	2470	1.30	16.3	37.7	669	2.40	1.66	49.8
23/01/25	851	3.56	18.0	165	3020	1.06	9.36	44.9	435	3.38	1.45	56.1
30/01/25	857	3.34	10.7	32.4	1600	0.893	7.00	18.1	147	2.23	1.02	28.5
08/02/25	313	3.33	5.90	15.5	493	0.734	3.40	12.1	380	1.33	1.06	25.7
13/02/25	450	6.86	6.99	28.3	1040	0.699	6.67	13.5	144	1.46	1.09	24.2
20/02/25	185	3.33	4.13	11.3	522	0.566	14.9	10.7	209	1.36	0.98	13.9
27/02/25	594	3.33	9.77	28.1	1840	1.37	8.07	75.1	421	2.44	1.55	20.8
12/03/25	2460	7.70	23.8	88.3	10170	1.83	80.6	32.4	565	2.35	1.66	45.8
17/03/25	3350	8.64	13.5	58.6	2960	1.53	16.3	15.7	348	2.47	1.79	24.5
22/03/25	977	3.33	11.3	36.5	2780	0.853	21.7	75.2	385	1.92	1.82	30.3
01/04/25	262	3.33	5.56	17.2	510	0.656	20.6	13.8	368	1.01	2.17	30.9
11/04/25	716	3.33	3.97	20.6	581	0.822	9.97	21.5	527	1.42	0.84	11.5
16/04/25	649	3.33	10.6	28.9	1550	1.28	12.5	29.1	414	2.59	5.08	32.2
24/04/25	1000	6.44	11.6	44.6	1530	1.32	22.2	18.0	529	2.12	2.55	46.5
02/05/25	820	5.44	10.6	45.3	1580	0.884	12.4	20.8	326	1.83	3.05	70.1
08/05/25	803	3.33	5.82	24.1	1280	0.714	2.91	12.9	124	1.00	0.83	12.0
22/05/25	378	3.33	6.92	12.3	689	0.603	3.84	11.1	93.5	0.94	0.82	9.80
30/05/25	575	3.33	13.7	11.5	473	0.833	10.9	9.67	209	0.94	0.87	11.9
04/06/25	805	6.46	11.2	17.8	811	1.152	9.89	27.7	189	1.83	1.43	24.1
12/06/25	1410	5.45	13.6	53.2	2740	1.25	33.9	119	332	1.74	1.65	47.1
19/06/25	1270	9.00	37.2	77.6	2160	2.33	12.3	27.5	413	2.92	2.38	35.7
25/06/25	976	4.65	7.72	49.0	2520	0.787	4.62	16.1	126	1.26	1.05	19.7
Μέσος όρος	917	4.75	12.9	43.6	2000	1.07	15.7	30.7	355	1.88	1.68	31.4
Τυπική απόκλ.	707	1.87	8.53	34.7	1990	0.43	16.0	26.6	185	0.68	0.95	16.4
Ελάχιστο	185	3.33	3.97	11.3	473.0	0.57	2.91	9.67	94.0	0.94	0.82	9.80
Μέγιστο	3350	9.00	37.2	165	10170	2.33	80.6	119	801	3.38	5.08	70.1



Σχήμα 2.2.2. Διάγραμμα *box-and-whisker* των συγκεντρώσεων PAHs (ng/m^3) κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25-30.06.25



Σχήμα 2.2.3. Διάγραμμα *box-and-whisker* των συγκεντρώσεων μετάλλων / μεταλλοειδών (ng/m^3) κατά το χρονικό διάστημα 01.01.25-30.06.25

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+ACEPT-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., Voutsas, D., Samara, C., 2002. Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Environment*, 36(6), 949–961. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00486-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00486-1)
- Manoli E., Kouras A., Samara C., 2004. Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece. *Chemosphere* 56, 867–878.
- 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., 2015. Concentrations of gaseous and particulate pollutants in the port of Volos, Greece. CEMEPE & SECOTOX 2015, Mykonos Island, June 14-18.
- 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 PM_{2.5} in the greater area of Volos during the LIFE+ACEPT-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 PM_{2.5} 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. 2015. Συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM10 και γονοτοξικών συστατικών στο λιμάνι του Βόλου. 12ο Συνέδριο Χημείας Ελλάδας-Κύπρου, 8-10 Μαΐου 2015 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.
- Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αυγενικού Α., Παρασχάκη Α., Βουτσά Δ., Σαμαρά Κ., Φόσκα Ε. 2023, ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ PM10 ΚΑΙ ΤΩΝ ΝΟΜΟΘΕΤΗΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ, 8ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, 6-8 Οκτωβρίου 2023, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Οριακές τιμές της Οδηγίας 2008/50/EC

NO₂

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
1 ώρα	200	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο
Ημερολογιακό έτος	40	-
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ωριαίας οριακής τιμής (140 μg/m ³)	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο
	80% της ετήσιας οριακής τιμής (32 μg/m ³)	-
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ωριαίας οριακής τιμής (100 μg/m ³)	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές το χρόνο
	65% της ετήσιας οριακής τιμής (26 μg/m ³)	-
Όριο συναγερμού Ωραία τιμή για 3 συνεχόμενες ώρες	400 μg/m ³	

O₃

	Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
Τιμή-στόχος	Μέγιστη ημερήσια 8ωρη τιμή	120	Δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 25 φορές το χρόνο για διάστημα 3 ετών
Όριο ενημέρωσης	Ωραία τιμή	180	
Όριο συναγερμού	Ωραία τιμή	240	

Βενζόλιο

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)
Ημερολογιακό έτος	5
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (3.5 μg/m ³)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40% της οριακής τιμής (2 μg/m ³)

PM₁₀

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
1 ημέρα	50	Να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές το χρόνο
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (35 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (25 μg/m ³)	
Ημερολογιακό έτος	40	
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (28 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (20 μg/m ³)	

PM_{2,5}

Περίοδος μέσου όρου	Τιμή ορίου (μg/m ³)	Περιορισμοί
Ημερολογιακό έτος	25	-
	20	Ενδεικτική οριακή τιμή προς επίτευξη την 1.1.2020
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της ημερήσιας οριακής τιμής (17 μg/m ³)	
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της ημερήσιας οριακής τιμής (12 μg/m ³)	