



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**  
**Σχολή Μηχανικών**  
**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**

**Διπλωματική Εργασία**  
**Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας**

**Φοιτητής: Καβάκος Μιχαήλ**  
**ΑΜ:272017156**

**Επιβλέπων Καθηγητής:**  
**Δρ. Σπυρόπουλος Γεώργιος**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023**



**University of West Attica**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT MECHANICAL ENGINEERING**

**Diploma Thesis**  
**Air pollution measurements in the center of Athens**

**Student: Kavakos Michail**  
**Registration Number: 272017156**

**Supervisor**  
**Dr. Spyropoulos Georgios**

**ATHENS-AIGALEO OCTOBER 2023**

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Καβάκου Μιχαήλ Α.Μ. 272017156),  
Σεπτέμβριος 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καβάκος Μιχαήλ του Σωτηρίου, με αριθμό μητρώου 272017156 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

<b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>Δρ. Σπυρόπουλος Γεώργιος ΕΔΙΠ</b>	
<b>Δρ. Μουστρής Κωνσταντίνος Καθηγητής</b>	
<b>Δρ. Ζαφειράκης Δημήτριος Επίκουρος καθηγητής</b>	

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας το κύκλο σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές που κατά την διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας κατάφεραν να μου προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις που θα με βοηθήσουν στην επαγγελματική μου πορεία στο μέλλον. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή Δρ Σπυρόπουλο Γεώργιο αρχικά, που με εμπιστεύτηκε να μου δώσει το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση που έλαβα από αυτόν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλου τους συμφοιτητές και φίλους που συνέβαλαν σε αυτό το ταξίδι όλα αυτά τα χρόνια και χωρίς την στήριξη τους δεν θα τα είχα καταφέρει. Συγκεκριμένα τους συμφοιτητές μου Γιάννη, Άλεξ, Γρηγόρη, Αντρέα καθώς και την φίλη μου Ευρυδίκη όπου χωρίς την υποστήριξη τους δεν θα τα είχα καταφέρει.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της χρήσης συσκευών που φέρουν ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν έξι διαφορετικά όργανα από τρεις διαφορετικές εταιρίες κατασκευής σε δυο περιοχές μελέτης. Οι περιοχές μελέτης ήταν το ιστορικό κέντρο της Αθήνας και το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Αρχαίος Ελαιώνας). Οι μετρούμενοι ρύποι που μελετήθηκαν είναι οι CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub>. Οι πρώτες μετρήσεις ξεκίνησαν από τον Σεπτέμβριο του 2019 και κατέληξαν μέχρι και τον Ιούνιο του 2023. Αφού έγινε η συλλογή των δεδομένων από το κάθε όργανο ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία όπου έγινε ένα κατάλληλο φιλτράρισμα των δεδομένων και έπειτα η επεξεργασία αυτών. Ακολούθως, μέσω κατάλληλων διαγραμμάτων απεικονίζονται η συνολική διακύμανση, η μέση μηνιαία διακύμανση, η μέση ημερήσια διακύμανση, η μέση ωριαία διακύμανση και το πλήθος των οριακών υπερβάσεων των οριακών τιμών των ρύπων, ώστε να υπάρξει αναλυτική ποσοτική αποτύπωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις περιοχές μελέτης. Σκοπός ήταν να εξεταστεί αν είναι εφικτό να εμπιστευτούμε συσκευές που φέρουν ηλεκτροχημικούς αισθητήρες “χαμηλού κόστους” για ένα τόσο σοβαρό ζήτημα όπως είναι η υγεία του ανθρώπου, καθώς και να προσδιορισθεί ποιο από τις τρεις συσκευές δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

**Λέξεις κλειδιά: Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους, Αιωρούμενα Σωματίδια, PurpleAir**

## Abstract

In this thesis, the study of air pollution is carried out through the use of devices carrying low-cost electrochemical sensors. Specifically six different instruments from three different manufacturers have been installed in two study areas. The study areas were the historical center of Athens and the university of west Attica in Athens (Ancient Eleonas). The measured pollutants studied were CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>. The first measurements started in September of 2019 and ended up to June 2023. After the data collection from each instrument, a methodology was followed whereby an appropriate filtering of the data and then the processing of this data. Subsequently through appropriate charts the total variance, the average monthly variance, the average daily variance, the mean hourly variance and the number of exceedances of the thresholds values of the pollutants, in order to provide detailed quantitative assessment of air pollution in the study areas. The aim was to examine whether it is feasible to trust devices carrying "low-cost" electrochemical sensors for such a serious issue as human health, and to determine which of the three devices gives the best results.

**Keywords: Air pollution, Low cost sensors, Particulate Matter, Purple Air**

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	6
Abstract.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	10
1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση και ρύποι.....	10
1.2 Ποιότητα Ατμόσφαιρας .....	13
1.4 Επίδραση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ανθρώπινη υγεία.....	20
1.5 Μεταφορές επίδραση στο αστικό περιβάλλον .....	22
1.6 Καταπολέμηση κλιματικής αλλαγής .....	25
1.7 Πράσινη Βιομηχανική Ανάπτυξη .....	29
1.7.1 Ιστορική Αναδρομή .....	29
1.7.2 Επίδραση Βιομηχανίας Στο Περιβάλλον.....	29
1.7.3 Δράσεις Της Ε.Ε .....	32
2.1 Σταθεροί Σταθμοί Μέτρησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	34
2.1.2 Σημεία Εφαρμογής Στην Αττική .....	36
2.2 Ηλεκτροχημικοί Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους .....	38
2.2.2 Αρχές λειτουργίας και Εξαρτήματα.....	40
2.2.3 Η Απόδοση Των Αισθητήρων .....	41
2.2.3.1 Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους Για Αέριους Ατμοσφαιρικούς Ρύπους.....	42
2.2.3.2 Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους Για Αέρια Σωματίδια ΡΜ .....	45
2.2.4 Εφαρμογές Μετρήσεων Με Συσκευές Χαμηλού Κόστους.....	45
2.3 Χρήση Χαρτών Για Την Καταγραφή Της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	47
2.4 Βάσεις Δεδομένων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης .....	52
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> .....	58
3.1 Περιγραφή Εξοπλισμού .....	58
3.1.2 Περιγραφή των αισθητήρων.....	60
3.1.3 Αισθητήρες μέτρησης σωματιδίων .....	63
3.1.4 Μπαταρία.....	64
3.2 Purple Air .....	65
3.3 AQ Mesh .....	67
3.4 Εγκατάσταση εξοπλισμού.....	71
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....	75
4.1 Μεθοδολογία.....	75

4.2 Επεξεργασία Μετρήσεων .....	86
Κεφάλαιο 5° Αποτελέσματα – Σχολιασμοί .....	95
5.1 Έλεγχος Οργάνου E46.....	95
5.1.1 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο E46.....	95
5.1.2 Διακύμανση ρύπου PM <sub>2.5</sub> από το όργανο E46.....	97
5.1.3 Διακύμανση ρύπου PM <sub>10</sub> από το όργανο E46.....	100
5.1.4 Διακύμανση ρύπου CO NO <sub>2</sub> και SO <sub>2</sub> από το όργανο E46.....	103
5.2 Έλεγχος Οργάνου EBB.....	105
5.2.1 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο EBB.....	105
5.2.2 Διακύμανση ρύπου PM <sub>2.5</sub> από το όργανο EBB.....	107
5.2.3 Διακύμανση ρύπου PM <sub>10</sub> από το όργανο EBB.....	110
5.2.4 Διακύμανση ρύπων CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> από το Όργανο EBB.....	112
5.3 Αξιολόγηση Οργάνων Purple Air .....	112
5.3.1 Έλεγχος Οργάνου Envicare 0.....	112
5.3.2 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο Envicare 0 .....	113
5.3.3 Διακύμανση ρύπου PM <sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 0.....	115
5.3.4 Διακύμανση Ρύπου PM <sub>10</sub> από το όργανο Envicare 0.....	119
5.4 Αξιολόγηση Οργάνου Envicare 1.....	122
Πίνακας 5.2: Έλεγχος αισθητήρων οργάνου ENVICARE 1 .....	122
5.4.1 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο Envicare 1 .....	123
5.4.2 Διακύμανση ρύπου PM <sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 1.....	126
5.4.3 Διακύμανση ρύπου PM <sub>10</sub> από το όργανο Envicare 1 .....	129
5.5 Αξιολόγηση οργάνου Purple Air Envicare 18.....	132
5.5.1 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο Envicare 18 .....	132
5.5.2 Διακύμανση ρύπου PM <sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 18 .....	134
5.5.3 Διακύμανση ρύπου PM <sub>10</sub> από το όργανο Envicare 18.....	137
5.6 Αξιολόγηση οργάνου AQ Mesh.....	139
5.6.1 Διακύμανση ρύπου CO από το όργανο AQ Mesh.....	139
5.6.2 Διακύμανση ρύπου NO από το όργανο AQ Mesh.....	141
5.6.3 Διακύμανση ρύπου NO <sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh .....	143
5.6.4 Διακύμανση ρύπου O <sub>3</sub> από το όργανο AQ Mesh .....	145
5.6.5 Διακύμανση ρύπου SO <sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh.....	147
5.6.6 Διακύμανση ρύπου PM <sub>1</sub> από το όργανο AQ Mesh.....	149



5.6.7 Διακύμανση ρύπου $PM_{2.5}$ από το όργανο AQ Mesh .....	152
5.6.8 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο AQ Mesh .....	154
5.7 Σύγκριση των οργάνων μεταξύ τους .....	157
5.7.1 E46 Libelium vs Envicare 1 PurpleAir $PM_1$ .....	157
5.7.2 Σύγκριση οργάνου EBB Libelium με όργανο Enviare 0 PurpleAir .....	163
5.7.3 Σύγκριση οργάνων PurpleAir Envicare-18 με Όργανο AQMesh .....	170
Κεφάλαιο 6° :Συμπεράσματα .....	176
Βιβλιογραφία .....	179

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

### 1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση και ρύποι

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η μόλυνση του εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος από οποιονδήποτε χημικό, φυσικό ή βιολογικό παράγοντα που τροποποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (World Health Organization, 2023). Ως ατμοσφαιρικούς ρυπαντές θα ορίσουμε όλους τους παράγοντες που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με ρύπους (Environmental Pollution Centers, 2019). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι χωρίζονται σε δυο κατηγορίες στους πρωτογενείς ρύπους και στους δευτερογενείς. Πρωτογενής ρύπος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός ρύπος ο οποίος παράγεται απευθείας από την πηγή, ενώ δευτερογενής ρύπος δεν παράγεται άμεσα όπως ο πρωτογενής αλλά σχηματίζεται ως παράγωγο του πρώτου (European Space Agency, 2013). Παραδείγματα πρωτογενών ρύπων αποτελούν το μονοξείδιο του άνθρακα, με κύρια πηγή προέλευσης του να είναι η εξατμίσεις των αυτοκινήτων, ενώ το όζον θεωρείται ένας δευτερογενής ρύπος, καθώς αποτελείται από μετατροπές μέσω χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων (Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη, 2010).

#### Πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων

Πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρούμε τις δραστηριότητες, τοποθεσίες ή παράγοντες που συμβάλουν στην ρύπανση της ατμόσφαιρας. Οι πηγές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τις ανθρώπινες και φυσικές πηγές.

#### Ανθρώπινες πηγές

Δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, τα μέσα μεταφοράς, η βιομηχανία, η γεωργία, τα χυτήρια, η καύση απορριμμάτων, η οικιακή ενέργεια για μαγείρεμα και θέρμανση, αποτελούν ανθρώπινες πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων (Environmental Pollution Centers, 2019).

- Πιο συγκεκριμένα κατά την καύση ορυκτών καυσίμων εκπέμπονται αέρια καθώς και σωματίδια με μέταλλα (π.χ. ο μόλυβδος και υδράργυρος) καθώς και οργανικές ενώσεις (όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες.).
- Τα μέσα μαζικής μεταφοράς είναι υπεύθυνα για την εκπομπή αέριων ρύπων (όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου αλλά και αιωρούμενα σωματίδια) μέσω της εξάτμισης λόγω της εσωτερικής καύσης διαφόρων καυσίμων.
- Η βιομηχανία εκπέμπει οργανικούς καθώς και ανόργανους ρύπους λόγω τυχαίων διαρροών καθώς και από διαρροές αποθηκευμένων χημικών ουσιών.
- Η γεωργία μολύνει συνήθως την ατμόσφαιρα με αέρια όπως είναι η αμμωνία καθώς και με τη χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων τα οποία περιλαμβάνουν τοξικά πτητικές οργανικές χημικές ουσίες.
- Τα χυτήρια μέσω της επεξεργασίας μεταλλικών πρώτων υλών εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μια ποικιλία μετάλλων που απορροφώνται σε αιωρούμενα σωματίδια.
- Μέσω της καύσης των απορριμμάτων εκπέμπονται διάφορα τοξικά αέρια καθώς και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Από την άλλη μεριά οι κυριότερες φυσικές πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι εξής.

### **Φυσικές πηγές**

**Εκπομπές σκόνης από αιολική διάβρωση των εδαφών.** Μια τέτοια πηγή μπορεί να θεωρηθεί σημαντική μόνο για μεγάλες εκτάσεις, με φτωχή ως μηδενική βλάστηση. Η χώρα μας αντιμετωπίζει τέτοια προβλήματα καθώς μεταφέρεται σκόνη από περιοχές της Αφρικής και της Σαχάρας.

**Ηφαιστειακές εκρήξεις.** Ηφαιστειακά αέρια όπως είναι το διοξείδιο του θείου εκπέμπονται μέσω των εκρήξεων και είναι ικανά να προκαλέσουν παγκόσμια ψύξη. Ενώ το ηφαιστειακό διοξείδιο του άνθρακα, είναι σε θέση να προάγει την υπερθέρμανση του πλανήτη.(WWF, 2023b)

**Δασικές πυρκαγιές** είναι σε θέση να εκπέμπουν μονοξείδιο του άνθρακα καθώς και αιρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, τα οποία περιορίζονται γύρω από την περιοχή της πυρκαγιάς.(Environmental Pollution Centers, 2019)

### **Ατμοσφαιρικού ρύποι**

#### **Αιωρούμενα σωματίδια PM**

Τα σωματίδια PM είναι εισπνεόμενα σωματίδια τα οποία αποτελούνται από θειικά και νιτρικά άλατα, αμμωνία και γλωριούχο νάτριο. Τα σωματίδια διαχωρίζονται μεταξύ τους από το μέγεθος τους και συγκεκριμένα την αεροδυναμική τους διατομή, με τα πιο γνωστά τα οποία σχετίζονται με την υγεία να είναι τα PM<sub>2,5</sub> και τα PM<sub>10</sub>. Τα μεγάλα σωματίδια (διάμετρο μεταξύ 2.5 με 10 μm) εκπέμπονται κυρίως από την γύρη, τη σκόνη που μεταφέρεται μέσω του αέρα, αγροτικές και εξορυκτικές εργασίες. Τα λεπτότερα σωματίδια διαμέτρου 2.5 μm και κάτω, μπορούν να προέλθουν και από πρωτογενής πηγές (π.χ. καύση καυσίμων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, βιομηχανίες, οχήματα) αλλά και από δευτερογενής πηγές (π.χ. χημικές αντιδράσεις μεταξύ των αερίων (WWF, 2023a)

#### **Μονοξείδιο του άνθρακα CO**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο είναι επιβλαβής στην υγεία όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες. Ο ρύπος αυτός απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω της ατελής καύσης καυσίμων που περιέχουν υδρογονάνθρακες αλλά και της καύσης του ξύλου. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής του ρύπου είναι τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.

#### **Μόλυβδος Pb**

Ο μόλυβδος είναι ένα μέταλλο χρώματος μπλέ-γκρί το οποίο βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στον φλοιό της γης. Ένα μεγάλο ποσοστό αυτού προέρχεται από ανθρωπογενής δραστηριότητες όπως είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, η εξόρυξη και η μεταποίηση τους, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στον αέρα θα εντοπιστούν συνήθως κοντά σε μεταλλουργεία μόλυβδου(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2021a).

#### **Οξείδια του αζώτου No**

Τα οξείδια του αζώτου είναι μια μίξη αερίων που αποτελούνται από άζωτο και οξυγόνο. Δυο από τα πιο τοξικά οξείδια του αζώτου είναι το μονοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιου του αζώτου, και τα δυο είναι άχρωμα και άφλεκτα σε θερμοκρασία δωματίου. Κύρια εκπομπή του ρύπου είναι τα καυσαέρια των οχημάτων, η καύση του άνθρακα, πετρελαίου ή φυσικού αερίου.(Agency for

Toxic Substances and Disease Registry, 2021b). Πάνω από το 40% των εκπομπών του ρύπου στην Ευρώπη προέρχεται κυρίως από την κίνηση στους δρόμους και σε αστικές περιοχές, όπως επίσης το 30% του ρύπου προέρχεται από την βιομηχανία.(European Commission, 2023b)

### **Όζον O<sub>3</sub>**

Το όζον σχηματίζεται από φωτοχημικές αντιδράσεις με ρύπους όπως πτητικές οργανικές ενώσεις, το μονοξείδιο του άνθρακα, και οξείδια του αζώτου, τα οποία προέρχονται από τα οχήματα και τη βιομηχανία. Λόγω της φωτοχημικής φύσης, τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης του όζοντος εντοπίζονται σε περιόδους ηλιόλουστης ημέρας.(WWF, 2023a). Ανάλογα με το που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα το όζον έχει διαφορετικές επιδράσεις. Πιο συγκεκριμένα όταν το όζον εντοπίζεται στην στρατόσφαιρα, προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς από της υπεριώδες ακτίνες του ήλιου, αντιθέτως το όζον της τροπόσφαιρας έχει την ακριβώς αντίθετη επίδραση, καθώς αποτελεί έναν επιβλαβή ρύπο, ο οποίος έχει αρνητικές επιδράσεις στον άνθρωπο και την ατμόσφαιρα.

### **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)**

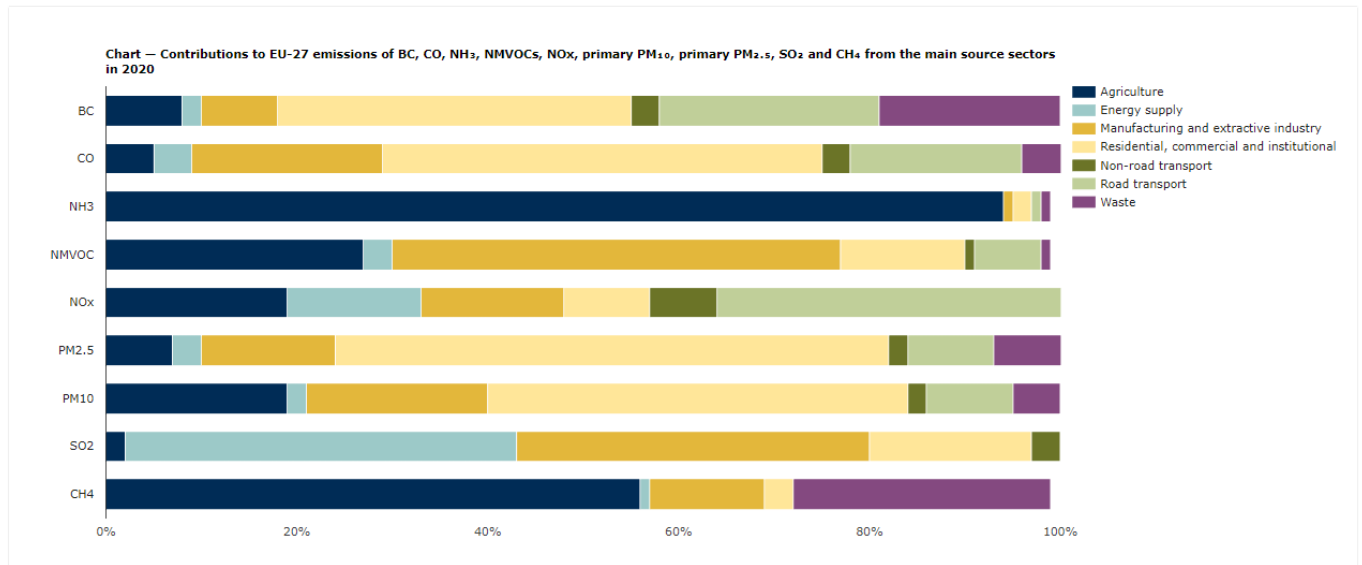
Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο με έντονη οσμή. Εντοπίζεται όμως και σε υγρή μορφή όταν βρίσκεται υπό πίεση. Κύριες πηγές προέλευσης εκπομπής του ρύπου στην ατμόσφαιρα είναι από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως, η καύση άνθρακα και πετρελαίου σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Παρόλα αυτά υπάρχουν και φυσικές πηγές όπως είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή επιτροπή περίπου το 60% των εκπομπών του διοξειδίου του θείου στην Ευρώπη προέρχεται από την παραγωγή ενέργειας και την θέρμανση.(European Commission, 2023b)

### **Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)**

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις περιλαμβάνουν άνθρακα και είναι εύκολο να μετασχηματιστούν σε μορφή ατμού ή αεριού. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις μπορούν κυρίως να εντοπιστούν από πηγές όπως, η καύση βενζίνης ή άνθρακα, μέχρι και διαλύτες, κόλλες, προϊόντα στεγνού καθαρισμού κλπ.(Environmental Pollution Centers, 2023)

Μέσω του **σχήματος 1.1** παρατηρούμε ότι για τα αιωρούμενα σωματίδια η κυριότερη πηγή ρύπανση του περιβάλλοντος είναι ο οικιακός τομέας, για το μεθάνιο κυριότερη πηγή παρατηρούμε πως είναι ο τομέας της γεωργίας, για το διοξείδιο του θείου παρατηρούμε ότι είναι ο τομέας της ενέργειας, για τα οξείδια του αζώτου ο τομέας των οδικών μεταφορών

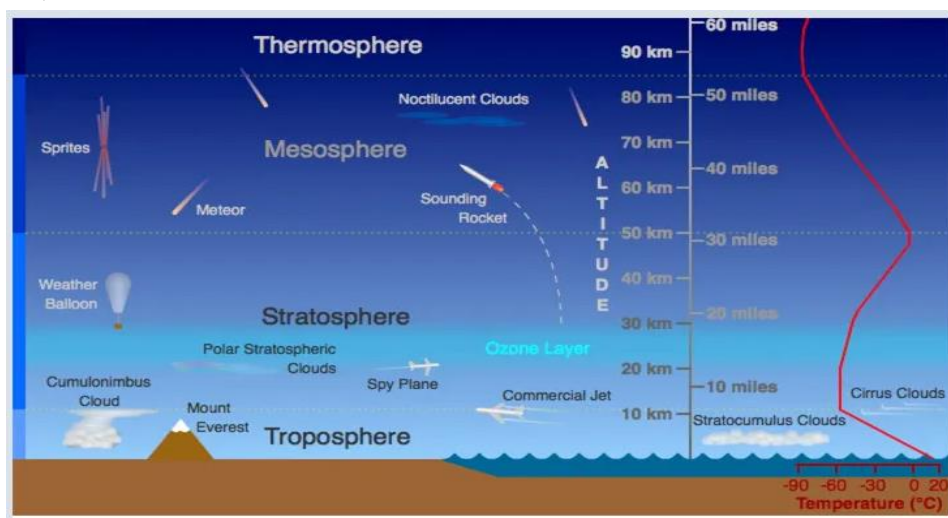
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 1.1:Κύριες πηγές των κύριων ρύπων για τα κράτη μέλη της Ε.Ε το 2020 (πηγή: ΕΕΑ)

## 1.2 Ποιότητα Ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα μείγμα αερίων που περιβάλλει την γη. Βοηθά στο να κάνει τη ζωή δυνατή, προσφέροντας μας καθαρό αέρα για να αναπνέουμε, προστατεύοντας μας από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία (UV) που προέρχεται από τον ήλιο, παγιδεύοντας θερμότητα για να θερμαίνει τον πλανήτη και να αποτρέπει τις ακραίες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας (University Corporation for Atmospheric Research, 2021). Η ατμόσφαιρα της γης έχει μια σειρά από στρώματα, όπου το καθένα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά. Παρατηρώντας την **εικόνα 1.1** από κάτω προς τα πάνω, παρατηρούμε τα στρώματα με την εξής σειρά, τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα, θερμόσφαιρα, και εξώσφαιρα. (University Corporation for Atmospheric Research, 2015)



Εικόνα 1.1: Στρώματα της Ατμόσφαιρας (πηγή: University Corporation for Atmospheric research)

### **Μορφές εμφάνισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ατμόσφαιρα**

Η αιθαλομίχλη είναι το είδος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπου εντοπίζεται όταν έχουμε σε υψηλή συγκέντρωση ρύπους όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και το μονοξείδιο του άνθρακα σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής σχετικής υγρασίας. Οι δυο κύριες κατηγορίες που είναι επικρατέστερες στα αστικά κέντρα είναι οι εξής(Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας, 2023a):

- Η φωτοχημική αιθαλομίχλη, είναι νέφος που έχει συνήθως πορτοκαλί ή γκριζο χρώμα και δημιουργείται κυρίως από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, σε συνδυασμό με το ατμοσφαιρικό όζον αλλά και την επίδραση των ηλιακών ακτινοβολιών(Sher, 1998).
- Η χειμερινή αιθαλομίχλη, όπως μπορεί να αντιληφθεί κάποιος και από την ονομασία της εμφανίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν ο κόσμος για να ζεσταθεί από το κρύο που επικρατεί ανάβει τα τζάκια, με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται τοξικά σωματίδια στην ατμόσφαιρα τα οποία μολύνουν την ατμόσφαιρα και δημιουργούν το νέφος που κατά το οποίο μειώνεται η ορατότητα.

Άλλες μορφές ρύπανσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι οι εξής:

- Η όξινη βροχή, η οποία δημιουργείται από το διοξείδιο του θείου και τα σωματίδια οξειδίου του αζώτου στον αέρα, όταν αναμιγνύονται με νερό και οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Μπορεί να προκληθεί κυρίως από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα και μηχανοκίνητα οχήματα. Η όξινη βροχή είναι ικανή να βλάψει τα φυτά, αλλάζοντας την σύνθεση του εδάφους, να υποβαθμίσει την ποιότητα του νερού σε ποτάμια λίμνες και ρεύματα σε σημείο να μην είναι πλέον πόσιμο, καθώς και μπορεί να προκαλέσει φθορά σε κτήρια και μνημεία.(Hilary CostaHilary Costa, 2022).
- Η τρύπα του όζοντος, είναι ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα που μας απασχόλησε στην αρχή του αιώνα. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο κυρίως στο νότιο ημισφαίριο (Ανταρκτική), και αυτό συμβαίνει γιατί ο σχηματισμός της τρύπα του όζοντος σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία της στρατόσφαιρας. Συγκεκριμένα όταν οι θερμοκρασίες πέσουν κάτω από  $-78^{\circ}\text{C}$ , πολικά στρατοσφαιρικά σύννεφα σχηματίζονται τα οποία επιδεινώνουν την καταστροφή του όζοντος. Το στρώμα του όζοντος βρίσκεται στην στρατόσφαιρα μεταξύ 15-30 km πάνω από την γη, και μας προστατεύει από άλλα ζωντανά όντα και από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου.(EEA, 2023e).

### **Δείκτες Ποιότητας Αέρα**

Οι δείκτες ποιότητας του αέρα, είναι κλίμακες υπολογισμού για κάθε ρύπο ξεχωριστά, όπου μέσω ενός αλγόριθμου μπορούμε να διαπιστώσουμε πόσο τοξικός ή επιβλαβής θεωρείται ο συγκεκριμένος ρύπος, και η συγκέντρωσή του σε μια ορισμένη μάζα αέρα. Με αυτόν τον τρόπο ενημερώνεται το κοινό εάν η ατμόσφαιρα είναι μολυσμένη τη δεδομένη στιγμή ή για το πόσο μολυσμένη πρόκειται να γίνει. Κάθε χώρα στον κόσμο έχει δικά της κριτήρια για τον υπολογισμό της τοξικότητας και το πόσο επιβλαβής είναι ο κάθε ρύπος, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει μια ποικιλία διαφορετικών δεικτών, όπου έχουν δημιουργηθεί βάση τις ανάγκες της κάθε χώρας. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς δείκτες ποιότητας του αέρα είναι οι εξής:

AQI:

Ένας από τους παλαιότερους δείκτες που αναθεωρήθηκε και μετασχηματίστηκε από την U.S.E.P.A ( Υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών) το 1999 για την αναφορά της ποιότητας του αέρα από τους πέντε κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους (O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του AQI, τόσο πιο έντονα μολυσμένη θεωρείται η ατμόσφαιρα. Ο δείκτης χωρίζεται σε έξι κατηγορίες, όπου η κάθε κατηγορία αντιστοιχεί σε διαφορετικό επίπεδο ανησυχίας για την υγεία. Κάθε κατηγορία έχει συγκεκριμένο χρώμα, για να μπορεί εύκολα να προσδιορίσει ο άνθρωπος εάν η ποιότητα του αέρα ανθυγιεινή ή όχι.

Μέσω του **πίνακα 1.1** παρατηρούμε τις κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζεται η ποιότητα της ατμόσφαιρας ανάλογα με τιμή του δείκτη AQI.

Τιμή Δείκτη AQI	Επίπεδο Ανησυχίας	Περιγραφή Ποιότητας Αέρα
0-50	Καλή	Η ποιότητα του αέρα είναι ικανοποιητική και η ατμοσφαιρική ρύπανση ενέχει ελάχιστο ή καθόλου κίνδυνο.
51-100	Μέτρια	Η ποιότητα του αέρα είναι αποδεκτή. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχει κίνδυνος για ορισμένους ανθρώπους, ιδιαίτερα εκείνους που είναι ασυνήθιστα ευαίσθητοι στην ατμοσφαιρική ρύπανση.
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες	Μέλη ευαίσθητων ομάδων μπορεί να παρουσιάσουν επιπτώσεις στην υγεία. Το ευρύ κοινό είναι λιγότερο πιθανό να επηρεαστεί.
151-200	ανθυγιεινή	Ορισμένα μέλη του ευρύτερου κοινού μπορεί να εμφανίσουν επιπτώσεις στην υγεία. μέλη ευαίσθητων ομάδων μπορεί να παρουσιάσουν πιο σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία.
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Προειδοποίηση για την υγεία: Ο κίνδυνος επιπτώσεων στην υγεία είναι αυξημένος για όλους.
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Προειδοποίηση υγείας για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης: όλοι είναι πιο πιθανό να επηρεαστούν.

**Πίνακας 1.1: Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI (πηγή: Airnow)**

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Pollution Standards Index :Ο δείκτης PSI (pollution standards index) έχει προταθεί από την αμερικανική υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος και χρησιμοποιεί συγκεντρώσεις : O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> και CO

Daily Air Quality Index : Ο δείκτης DAQx, χρησιμοποιείται σε ημερήσια βάση προκειμένου να αξιολογηθεί το επίπεδο ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Χρησιμοποιεί τις τιμές συγκεντρώσεων O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>

Air Pollution Index: Ο δείκτης API αποτελεί μια γενικευμένη μορφή παροχής πληροφοριών όσον αφορά τη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων αλλά και τις επιπτώσεις τους στον καθορισμό των επιπέδων ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα . Χρησιμοποιεί τις τιμές συγκεντρώσεων O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.

### 1.3 Νομοθεσία για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Η πολιτική της ΕΕ για καθαρό αέρα, έχει σκοπό στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, και την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το νούμερο ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα υγείας στην Ευρώπη αυτή την στιγμή, αφού είναι υπεύθυνη για σοβαρές ασθένειες όπως είναι το άσθμα, καρδιοαγγειακά προβλήματα, και καρκίνος των πνευμόνων, καθώς επίσης ευάλωτες ηλικιακές ομάδες όπως είναι τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο. Κίνδυνο διατρέχει το περιβάλλον και το οικοσύστημα μέσω της ρύπανσης από άζωτο, και της όξινης βροχής. Σύμφωνα με έρευνα της ευρωπαϊκής επιτροπής 300.000 πρόωροι θάνατοι προκαλούνται από λεπτά αιωρούμενα σωματίδια κάθε χρόνο. Η χώρα μας θεσπίζει όρια και στόχους για τους εξής ρύπους, το διοξείδιο του θείου, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>), διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(a)πυρένιο σύμφωνα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ε.Ε.(European Commission, 2023a)

Οι νομοθεσίες που αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι οι εξής (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023):

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11).
- Οδηγία 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).
- Οδηγία 2015/1480/ΕΚ για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/ΕΚ και 2008/50/ΕΚ, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ΚΥΑ 174505/607, ΦΕΚ 1311Β/13.4.17).



## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

- ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272B/23.12.13), Βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια.
- Κ.Υ.Α 11824 (ΦΕΚ 369B/24.5.93), Έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της πρωτεύουσας, όπως ισχύει κατόπιν τροποποίησής της με την ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488B/30.3.11.

Σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/ΕΚ δόθηκαν οι παρακάτω ορισμοί που αφορούν την ποιότητα του αέρα('FEK488B\_KYA14122.pdf', no date):

- Επίπεδο: Η συγκέντρωση ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεση του σε μια επιφάνεια σε δεδομένη χρονική στιγμή
- Εκτίμηση: Οποιαδήποτε μέθοδος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση, τον υπολογισμό, την πρόβλεψη, ή την κατά προσέγγιση εκτίμηση επιπέδων.
- Οριακή τιμή: επίπεδο καθοριζόμενο βάσει επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας χωρίς εν συνεχεία υπερβάσεις
- Κρίσιμο επίπεδο: επίπεδο καθοριζόμενο βάσει επιστημονικών γνώσεων, η υπέρβαση του οποίου ενδέχεται να συνεπάγεται άμεσες αρνητικές επιπτώσεις για ορισμένους υποδοχείς όπως τα δένδρα, άλλα φυτά ή τα φυσικά οικοσυστήματα, όχι όμως και για τον άνθρωπο.
- Περιθώριο ανοχής : το ποσοστό της οριακής τιμής κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβασή της σύμφωνα με τους όρους της παρούσας οδηγίας.
- Τιμή στόχος : επίπεδο καθοριζόμενο με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και/ή στο σύνολο του περιβάλλοντος, που επιτυγχάνεται κατά το δυνατόν εντός δεδομένης χρονικής περιόδου.
- Όριο συναγερμού: το επίπεδο πέραν του οποίου υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία του πληθυσμού εν γένει ύστερα από σύντομη έκθεση και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν άμεσα μέτρα.
- Όριο ενημέρωσης: το επίπεδο πέραν του οποίου η βραχύχρονη έκθεση εγκυμονεί, για ιδιαίτερα ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η άμεση και κατάλληλη πληροφόρηση.

Στην **εικόνα 1.2** απεικονίζονται οι κατευθυντήριες οδηγίες που έχουν θεσμοθετηθεί από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας

Ρύπος	Περίοδος	Κατευθυντήριες γραμμές ΠΟΥ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Οριακές τιμές οδηγίας ΠΑΑ της ΕΕ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Αριθ. φορών ετησίως επιτρεπόμενης υπέρβασης των προτύπων της ΕΕ
NO <sub>2</sub>	1 έτος	40	40	-
	1 ώρα	200	200	18
O <sub>3</sub>	8 ώρες	100	120	25
ΑΣ <sub>10</sub>	1 έτος	20	40	-
	24 ώρες	50 <sup>(α)</sup>	50	35
ΑΣ <sub>2,5</sub>	1 έτος	10	25	-
	24 ώρες	25	-	-
SO <sub>2</sub>	24 ώρες	20	125	3
	1 ώρα	-	350	24
	10 λεπτά	500	-	-

**Εικόνα 1.2: Κατευθυντήριες οδηγίες ΠΟΥ για κάθε ρύπο (πηγή: Ευρωπαϊκό ελεγκτικό συνέδριο 2020)**

### ΣΕΔΕ (Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών)

Το 2005 η Ε.Ε ενθάρρυνε τα κράτη μέλη της να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, μέσω ενός οικονομικά αποδοτικού τρόπου. Θέτοντας περιορισμούς στις ποσότητες CO<sub>2</sub> τις οποίες μπορούν να παράγουν οι βιομηχανίες, και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Έδωσε την επιλογή στις εταιρίες να μπορούν να διαπραγματεύονται μεταξύ τους τις επιτρεπόμενες ποσότητες εκπομπής του ρύπου με τη μορφή δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub>. Το ΣΕΔΕ είναι σήμερα υπεύθυνο για τον περιορισμό εκπομπών για πάνω από 11.000 εγκαταστάσεις που καταναλώνουν ενέργεια, καθώς και αεροπορικές εταιρίες που έχουν πτήσεις μεταξύ των χωρών αυτών. Συγκεκριμένα το ΣΕΔΕ συμβάλει περίπου 45% στον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην Ε.Ε. (Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας, 2023b)

### Παρακολούθηση των ρύπων, υποβολή των αναφορών και επαλήθευση από τη ΣΕΔΕ

Κάθε χρόνο, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να ακολουθούν τον κύκλο συμμόρφωσης του ΣΕΔΕ, δηλαδή να υποβάλουν την σωστή διαδικασία παρακολούθησης, αναφοράς, αλλά και επαλήθευσης των αναφορών των οποίων υποβάλει. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι αερομεταφορείς ο οποίοι καλύπτονται από την Ε.Ε και το ΣΕΔΕ είναι υποχρεωμένοι να διαθέτουν ένα πλάνο παρακολούθησης και αναφοράς των ετήσιων ρύπων. Κάθε χρόνο αυτοί οι φορείς θα πρέπει να υποβάλουν την αναφορά εκπομπής των ρύπων, και τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να επαληθεύονται από διαπιστευμένο ελεγκτή για την περίοδο αναφοράς έως και τις 31 Μαρτίου του επόμενου έτους. Αφού επαληθευτούν, οι φορείς αυτοί θα πρέπει να παραδώσουν τον αντίστοιχο αριθμό δικαιωμάτων έως και τις 30 Απριλίου εκείνου του έτους.

Οι κανόνες που ακολουθούνται για τον κύκλο συμμόρφωσης είναι οι εξής:

- Κανονισμός για την παρακολούθηση και την υποβολή εκθέσεων (MRR)

- Κανονισμός για την διαπίστευση και την επαλήθευση (AVR)

### Κυρώσεις για υπερβολικές εκπομπές

Οι φορείς που χρησιμοποιούν το σύστημα εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε (ΣΕΔΕ), είναι υποχρεωμένοι να καταθέτουν κάθε χρόνο τον αριθμό δικαιωμάτων όπου τους έχει επιτραπεί να παράγουν σε εκπομπές κατά το προηγούμενο έτος. Για κάθε τόνο εκπομπών που ξεπερνάνε το επιτρεπτό, τους επιβάλλεται πρόστιμο της τάξης των 100 ευρώ, το οποίο προστίθεται στο κόστος παράδοσης των οφειλόμενων επιδομάτων, καθώς και γίνονται γνωστές στο κοινό οι επιχειρήσεις αυτές που έχουν υποστεί αυτές τις κυρώσεις. Από το 2012 το πρόστιμο αυτό αυξάνεται κάθε χρόνο σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό δείκτη τιμών του καταναλωτή σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 4 της οδηγίας του ΣΕΔΕ. (European Commission, 2023). Παρακάτω επεξηγείται ο ρόλος και οι δράσεις του ΣΕΔΕ (εικόνα 1.3)

## Η μεταρρύθμιση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ με απλά λόγια

Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ (ΣΕΔΕ της ΕΕ) αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες αγορές ανθρακούχων εκπομπών παγκοσμίως και το βασικό εργαλείο της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Το σύστημα τιμολογεί τις ανθρακούχες εκπομπές. Κάθε χρόνο οι οντότητες που καλύπτονται από το ΣΕΔΕ υποχρεούνται να αγοράζουν «δικαιώματα» ανάλογα με την ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπουν.

Κάθε χρόνο, καθορίζεται ανώτατο όριο στον τρόπο με τον οποίο πολλά δικαιώματα διατίθενται στην αγορά για τον συγκεκριμένο χρόνο και για κάθε χρόνο· κάθε χρόνο το εν λόγω ανώτατο όριο μειώνεται σταδιακά. Το σύστημα αυτό δημιουργεί οικονομικά κίνητρα για τις επιχειρήσεις ώστε να μειώνουν τις εκπομπές.

Ωστόσο, σε ορισμένους τομείς που είναι εκτεθειμένοι σε «διαρροή ανθρακούχων εκπομπών» διατίθενται δωρεάν δικαιώματα με σκοπό τη στήριξη της ανταγωνιστικότητάς τους.

**Εικόνα 1.3: Επεξήγηση μεταρρύθμισης του συστήματος εμπορίας εκπομπών της Ε.Ε (πηγή: Ευρωπαϊκό συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2022)**

## **Fit For 55**

Τον Δεκέμβριο του 2022, το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κατέληξαν σε προσωρινή πολιτική συμφωνία σχετικά με τη μεταρρύθμιση του ΣΕΔΕ. Το Συμβούλιο ενέκρινε επίσημα τη νέα νομοθεσία τον Απρίλιο του 2023. Σύμφωνα με τη νέα μεταρρύθμιση αποφασίστηκαν νέοι πιο φιλόδοξοι στόχοι για το ΣΕΔΕ. Πιο συγκεκριμένα έχει τεθεί ως στόχος η μείωση των εκπομπών των ρύπων στο 62% έως το 2030, γρηγορότερη μείωση των ανώτατων ορίων, λιγότερα δικαιώματα στην αγορά (μείωση 117 εκατομμυρίων δικαιωμάτων σε διάστημα διαιτίας), επέκταση σε νέους τομείς (Θαλάσσιες μεταφορές, εφαρμογή μεταξύ 2024-2026), καθώς και ξεχωριστό νέο ΣΕΔΕ για τα κτήρια, τις οδικές μεταφορές, και τα καύσιμα για πρόσθετους τομείς. (European Council of the European Union, 2023b)

### **1.4 Επίδραση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ανθρώπινη υγεία**

Καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά ρίσκα για την υγεία, η μείωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι αυτή που θα οδηγήσει σε μια "ανακούφιση" του βάρους των ασθενειών όπως εγκεφαλικά επεισόδια, καρδιακές παθήσεις, καρκίνος του πνεύμονα, και χρόνιες και οξείες αναπνευστικές ασθένειες, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας το 2019, το 99% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε μέρη όπου δεν πληρούσαν τα επίπεδα των οδηγιών για την ποιότητα του αέρα που είχε θέσει ο ΠΟΥ, το οποίο έχει συμβάλει στο γεγονός ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση σε εξωτερικό χώρο είναι υπεύθυνη για τον θάνατο περίπου 4.2 εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως το 2019, καθώς σε συνδυασμό με την οικιακή ατμοσφαιρική ρύπανση, ο αριθμός των θυμάτων φτάνει τα 6.7 εκατομμύρια (WWF, 2022).

Στην συνέχεια της ενότητας αυτής ακολουθεί μια ανάλυση του πως επηρεάζει ο κάθε ρύπος συγκεκριμένα την υγεία του ανθρώπινου οργανισμού.

#### **Αιρούμενα σωματίδια PM**

Τα σωματίδια αυτά είναι επικίνδυνα για την υγεία καθώς είναι ικανά να διεισδύσουν στα πνευμόνια και να προκαλέσουν καρδιαγγειακές, εγκεφαλο-αγγειακές, αναπνευστικές επιπτώσεις μέσω της εισαγωγής τους στην κυκλοφορία του αίματος. Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτά είναι συνδεδεμένη με τον καρκίνο του πνεύμονα (WWF, 2023a).

#### **Μονοξείδιο του άνθρακα CO**

Η εισπνοή μεγάλης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα μειώνει το οξυγόνο το οποίο μεταφέρεται στην κυκλοφορία του αίματος, και σε κρίσιμα όργανα όπως η καρδιά και ο εγκέφαλος, όπου μπορούν να αποβούν θανατηφόρα. Η έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα χαμηλότερης συγκέντρωσης μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στην αναπνοή, εξάντληση, ζάλη και άλλα συμπτώματα που μοιάζουν με γρίπη (WWF, 2023a).

#### **Μόλυβδος Pb**

Με την εισροή του μόλυβδου στο σώμα, αυτό μετέπειτα διανέμεται στο αίμα και συσσωρεύεται στα οστά. Ανάλογα το επίπεδο προσβολής σε αυτόν, είναι ικανός να επηρεάσει την λειτουργία του νεφρού, το ανοσοποιητικό, αναπαραγωγικό, αναπτυξιακό, και καρδιαγγειακό σύστημα. Ο

πληθυσμός που θέλει ιδιαίτερη προσοχή καθώς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην έκθεση σε αυτόν, είναι τα βρέφη και τα μικρά παιδιά, καθώς μπορεί να προκαλέσει προβλήματα συμπεριφορά και μαθησιακές δυσκολίες.(US EPA, 2016a)

### **Οξείδια του αζώτου NO**

Η εισπνοή αέρα σε μεγάλη συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου ερεθίζει την αναπνευστική οδό στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Η έκθεση σε αυτόν για μικρή χρονική περίοδο επιδεινώνει αναπνευστικές ασθένειες όπως το άσθμα, όπου μπορεί να καταλήξει σε συμπτώματα όπως (βήχα, συριγμός, ή δυσκολία στην αναπνοή). Η μακροχρόνια έκθεση στον ρύπο είναι ικανή για την ανάπτυξη άσθματος και την αύξηση της ευαισθησίας σε λοιμώξεις του αναπνευστικού. Όπως καταλαβαίνουμε λοιπόν μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν άτομα με άσθμα καθώς και ηλικιωμένοι και μικρά παιδιά.(US EPA, 2016b)

### **Όζον O<sub>3</sub>**

Οι άνθρωποι όπου χρειάζονται περισσότερη προσοχή όταν εκτίθενται σε αυτό τον ρύπο, είναι όσοι έχουν άσθμα, τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Τα παιδιά είναι αυτά που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο καθώς τα πνευμόνια τους δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως. Το όζον είναι γνωστό ότι είναι ικανό να προκαλέσει βήχα, να κάνει τα πνευμόνια πιο ευαίσθητα στις μολύνσεις, να αυξήσει την συχνότητα σε κρίσεις άσθματος.(US EPA, 2015a)

### **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)**

Η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυτό μπορεί να βλάψει το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και να δυσκολέψει την αναπνοή. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στα άτομα με άσθμα και τα παιδιά. Η αντίδραση αυτού με άλλες ενώσεις στην ατμόσφαιρα μπορεί να δημιουργήσει μικρά σωματίδια τα οποία συμμετέχουν στην μόλυνση από τα γνωστά μας αιωρούμενα σωματίδια που αναφέραμε ήδη (PM).

### **Πτητικές οργανικές ενώσεις VOC**

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι πιο πιθανό να εντοπιστούν στον αέρα, σε περίοδο που ο καιρός είναι ζεστός. Παρόλα αυτά δεν είναι όλες οι ενώσεις τοξικές, ωστόσο ανάλογα την διάρκεια, την ένταση στην έκθεση αλλά και τις ενώσεις στις οποίες θα εκτεθεί κάποιος μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως αναπνευστικά προβλήματα, πονοκέφαλους, κούραση, ζάλη, ναυτία, προβλήματα του κεντρικού νευρικού συστήματος.(Environmental Pollution Centers, 2023)

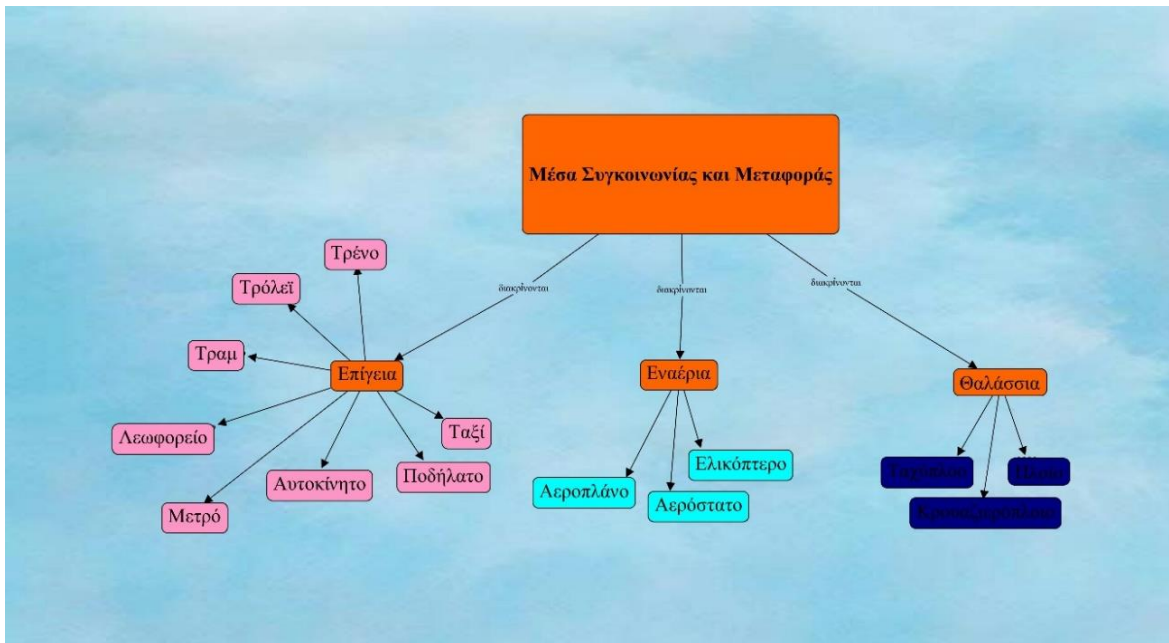
Μέσω της **εικόνας 1.4** παρατηρούμε τις επιπτώσεις που έχει στην ανθρώπινη υγεία, ο κάθε ρύπος ξεχωριστά..



Εικόνα 1.4: Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (ΕΕΑ, 2022)

### 1.5 Μεταφορές επίδραση στο αστικό περιβάλλον

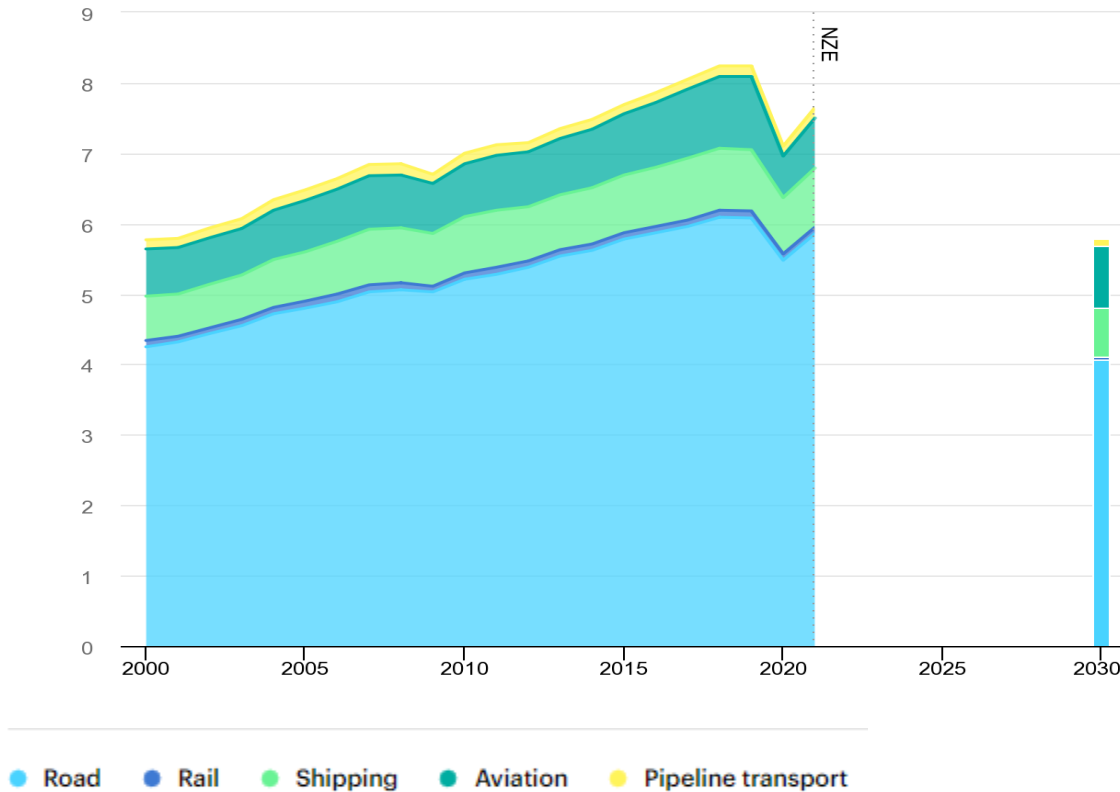
Μεταφορές είτε μιλώντας για τον οικονομικό τομέα είτε για τον τομέα του εμπορίου ονομάζουμε την μετακίνηση επιβατών, είτε φορτίων από ένα τόπο σε έναν άλλο. Οι μεταφορές τη σήμερον ημέρα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Οι χερσαίες, οι θαλάσσιες και οι εναέριες μεταφορές. (Wikipedia, 2023) Ο τομέας των μεταφορών είναι ζωτικής σημασίας καθώς συνδέει ανθρώπους, πολιτισμούς πόλεις, χώρες και ηπείρους. Έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών και οικονομιών, καθώς έχει συνεισφέρει της οικονομίας σε ανεπτυγμένες περιοχές, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και πλούτο. Παρόλα αυτά υπάρχει ένα μειονέκτημα στο τωρινό μοντέλο μεταφορών και αυτό είναι οι σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος περίπου για το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση, ηχορύπανση και κατά κερματισμό των οικοτόπων. (ΕΕΑ, 2023d). Εν συνεχεία παρουσιάζονται στοιχεία τα οποία αναδεικνύουν την πρόοδο που έχει γίνει ανά τα χρόνια στη μείωση των ρύπων από τις μεταφορές, αλλά και τι χρειάζεται βελτίωση. Αρχικά οι εκπομπές από αέρια του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2013-2019 στις εγχώριες μεταφορές αυξήθηκαν σταθερά, λόγω της αύξησης των επιβατικών μεταφορών και το όγκου των εμπορευματικών μεταφορών εσωτερικών χερσαίων μεταφορών. Ωστόσο την περίοδο του κορονοϊού μεταξύ το 2019-2020, οι ρύποι μειώθηκαν λόγω της μείωσης της δραστηριότητας των μεταφορών λόγω της πανδημίας. Παρακάτω φαίνεται ο τρόπος που χωρίζονται τα μέσα συγκοινωνιών και μεταφορών (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Εννοιολογικός χάρτης μέσων μεταφορικών μέσων (πηγή: Wikipedia,2023)

Μετά την άρση των μέτρων για τον Covid-19 παγκοσμίως, η ανακάμπουσα δραστηριότητα των μεταφορών οδήγησε σε άνοδο 8% των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τις μεταφορές σε σχέση με το 2020. Οι εκπομπές αυξήθηκαν με έναν ετήσιο μέσο ρυθμό της τάξης του 1.7% από το 1990 έως το 2021, πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο τομέα.(S. Y. IEA, 2022) Το 2020 στην Ευρώπη, οι οδικές μεταφορές αποτέλεσαν την κύρια πηγή οξειδίου του αζώτου καθώς αποτέλεσαν το 37% των συνολικών ρύπων. Παρόλα αυτά οι ρύποι του οξειδίου του αζώτου μειώθηκαν δραστικά κατά 48% από το 2005 μέχρι και το 2020.(EEA, 2022) Παράλληλα το 2022 οι εκπομπές πετρελαίου αυξήθηκαν κατά 2.5%, όπου περίπου το μισό από αυτό το ποσοστό προήλθε από αερομεταφορές καθώς η άρση των μέτρων για τον κορονοϊό βοήθησαν στην ανάκαμψη των αεροπορικών ταξιδιών. Οι συνολικές εκπομπές από τις μεταφορές επίσης αυξήθηκαν κατά 2.1% λόγω της αυξημένης ανάπτυξης στις προηγμένες οικονομίες. Παρόλα αυτά οι εκπομπές θα ήταν πιο αυξημένες εάν δεν υπήρχε η ταχεία ανάπτυξη οχημάτων χαμηλών εκπομπών άνθρακα, καθώς επίσης βοήθησαν και οι αυξημένες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων (10 εκατομμύρια πωλήσεις το 2022) (IEA, 2023). Στη συνέχεια απεικονίζεται μέσω του **σχήματος 1.4**, οι παγκόσμιες εκπομπές του CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τον στόχο που έχει τεθεί για το 2030.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

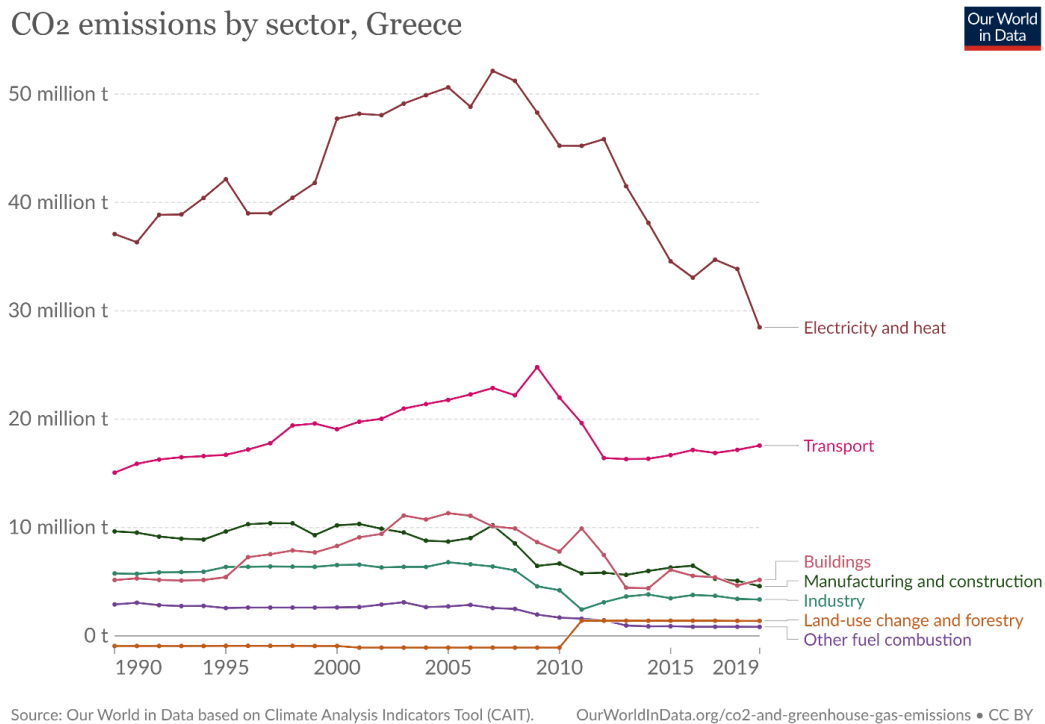


**Σχήμα 1.4: Παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> από τις μεταφορές σε σύγκριση με τον στόχο επίτευξης εκπομπής μηδενικών ρύπων έως το 2030 (πηγή: International Energy agency, 2022)**

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κάποιος κύρια εκπομπή ρύπων διοξειδίου του άνθρακα είναι από τα οχήματα στον δρόμο. Επίσης βάση τους στόχους που έχουν που έχουν διευθετηθεί ότι πρέπει να εκπληρωθούν έως το 2030, παρατηρούμε ότι θα πρέπει στον τομέα των μεταφορών να έχουμε μια μείωση τα τάξης του 20% για να φτάσουμε στον στόχο των 4.07 Gt CO<sub>2</sub>. Για να επιτευχθεί αυτό, εξαρτάται από το πόσο γρήγορα θα γίνει η μετάβαση στα ηλεκτρικά οχήματα, τα τεχνικά και επιχειρησιακά μέτρα ενεργειακής απόδοσης, στην εμπορευματοποίηση και αύξηση των χαμηλών εκπομπών άνθρακα καύσιμα ιδιαίτερα στους τομείς της ναυτιλίας και της αεροπορίας, καθώς και πολιτικές που ενθαρρύνουν την μετάβαση των μεταφορών σε ταξίδια χαμηλότερης έντασης άνθρακα. (IEA, 2022) Οδηγίες όπως η 98/70/EK και η 2015/652/EE έχουν ως κύριο στόχο τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου που προέρχονται από καύσιμα για την κίνηση οδικών οχημάτων και μη οδικών κινητών οχημάτων σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Συγκεκριμένα στόχος των οδηγιών αυτών ήταν η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από καύσιμα και άλλες πηγές ενέργειας κατά 6% έως το 2020 σε σύγκριση με την τιμή που είχε τεθεί το 2010 (94.1 g CO<sub>2</sub>eq/MJ). Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος προτάθηκε, η προώθηση καυσίμων με μειωμένες εκπομπές ρύπων όπως το υγραέριο κίνησης και το φυσικό αέριο κίνησης για τους τομείς των μεταφορών, καθώς και η μείωση εκπομπών από την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων. (Υπουργείο



περιβάλλοντος και ενέργειας, 2021). Στη συνέχεια απεικονίζονται οι κυριότερες πηγές CO<sub>2</sub> ανά τομέα στην Ελλάδα (Σχήμα 1.5).



**Σχήμα 1.5 : Πηγές εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά τομέα στην Ελλάδα από το 1990-2019 (πηγή:Our World in Data,2020)**

## 1.6 Καταπολέμηση κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με την σύμβαση πλαισίου ηνωμένων εθνών για την κλιματική αλλαγή, ορίστηκε ως κλιματική αλλαγή, η αλλαγή στο κλίμα η οποία αποδίδεται έμμεσα ή άμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες αλλάζουν την σύσταση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας, η οποία παρατηρείται από κοινού με τη μεταβλητότητα του φυσικού κλίματος σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους.(United Nations, 1992). Τα τελευταία χρόνια η ανθρωπότητα έχει γίνει μάρτυρας ακραίων καιρικών φαινομένων και καταστροφών που πέντε χρόνια πριν θα μας φαίνονταν αδιανόητα. Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη είναι μόλις 1,1°C πιο υψηλή σε σχέση με τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης και κάθε νέα δεκαετία αυξάνεται. Βασικό αίτιο αυτών των γεγονότων είναι τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία προκαλούνται από τις πηγές που έχουμε ήδη αναφέρει(WWF, 2023c). Φαινόμενα όπως η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, και η υποχώρηση των παγετώνων εκδηλώνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής.

### **Αίτια της κλιματικής αλλαγής**

Η κλιματική αλλαγή οφείλεται τόσο από φυσικά φαινόμενα, όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα φυσικά αίτια είναι ένα αποτέλεσμα των διακυμάνσεων στην τροχιά της γης, των ωκεανών, και της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ανθρώπινα αίτια από την άλλη προέρχονται από δραστηριότητες όπως, η αποψίλωση των δέντρων, η ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς και κακές γεωργικές πρακτικές όπως η καύση θάμνων, η υπερβολική και λάθος εφαρμογή ανόργανων λιπασμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων, η αστικοποίηση, η εκβιομηχάνιση, και το σύστημα μεταφορών (Ajibola, 2018).

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής(European Parliament, 2022)

#### **Περιβαλλοντικές συνέπειες:**

- **Υψηλές Θερμοκρασίες**
- **Ξηρασίες και πυρκαγιές**
- **Διαθεσιμότητα γλυκού νερού**
- **Πλημμύρες**
- **Άνοδος της στάθμης της θάλασσας**
- **Βιοποικιλότητα**

#### **Κοινωνικές απειλές:**

- **Υγεία**
- **Ευάλωτος πληθυσμός**
- **Εργασία**

#### **Επιπτώσεις στις επιχειρήσεις:**

- **Υποδομές και κτήρια**
- **Ενέργεια**
- **Γεωργία και δασοκομία**

### **Επιτεύγματα και στόχοι**

#### **A. Διεθνές επίπεδο**

##### **Το πρωτόκολλο του Κιότο**

Αναγνωρίζοντας γρήγορα την ανάγκη για ένα αποτελεσματικό μέσο για την αντιμετώπιση της πρόκλησης της κλιματικής αλλαγής, πραγματοποιήθηκε στο Κιότο το Δεκέμβριο του 1997 μια συνέλευση με σκοπό την θέσπιση ενός νομικού μέσου για την κλιματική αλλαγή. Μέσω του πρωτοκόλλου θεσπίστηκαν για πρώτη φορά, νομικά δεσμευτικοί στόχοι για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου. Το πρωτόκολλο ζήτησε νομικά δεσμευτικές δεσμεύσεις από τις ανεπτυγμένες χώρες για μείωση μεμονωμένα ή από κοινού τις εκπομπές έξι αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, διοξείδιο του αζώτου, υδροφθοράνθρακες, πλήρως φθοριομένοι υδρογονάνθρακες και εξαφθοριούχο θείο) για περισσότερο από 5% σε σχέση με το επίπεδο του 1990, μέχρι και την περίοδο 2008-2012, όπου και τα κράτη μέλη και η Ε.Ε συμφώνησαν σε μείωση -8%.('2022\_NIR\_Greece.pdf', no date)

## Η συμφωνία του Παρισιού

Τον Δεκέμβριο του 2015, μετά από δυο δεκαετίες διαπραγματεύσεων, οι κυβερνήσεις εφάρμοσαν την πρώτη καθολική συμφωνία για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, η οποία έλαβε μέρος στην 21<sup>η</sup> διάσκεψη των συμβαλλόμενων μερών (COP21) της σύμβασης- πλαισίου των ηνωμένων εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) στο Παρίσι. Η συμφωνία του Παρισιού προσπαθεί να διατηρήσει την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας αρκετά πιο χαμηλά από τους 2°C, ενώ προσπαθεί να την διατηρήσει σε 1.5°C πιο πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, τα συμβαλλόμενα μέλη έχουν ως σκοπό να φτάσουν το παγκόσμιο μέγιστο των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου όσο πιο σύντομα γίνεται και να επιτύχουν καθαρές μηδενικές εκπομπές στο δεύτερο μισό αυτού του αιώνα. Σύμφωνα με την οικονομική κατάσταση και τις δυνατότητες που παρέχεται σε κάθε μέλος, αποφασίστηκε ότι κάθε πέντε χρόνια όλες οι χώρες θα πρέπει να ανανεώνουν και να αναβαθμίζουν τα σχέδια δράσης που έχουν θέσει για το κλίμα (<<εθνικά καθορισμένες συνεισφορές>>) και να κοινοποιούν με διαφανή τρόπο, ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν (<<παγκόσμια απογραφή>>). Με τις λιγότερα ανεπτυγμένες χώρες και τα αναπτυσσόμενα μικρά νησιωτικά κράτη να λαμβάνουν οικονομική υποστήριξη, καθώς και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού της. Η συμφωνία αυτή τέθηκε σε ισχύ τον Νοέμβριο του 2016, αφού είχε επικυρωθεί από τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό των 55 κυβερνήσεων που ευθύνονται για τουλάχιστον το 55% των συνολικών εκπομπών του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο. Όλες οι χώρες της Ε.Ε έχουν επικυρώσει τη συμφωνία του Παρισιού.

## Β. Οι προσπάθειες της Ε.Ε για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής

Μέσω του πλαισίου για το κλίμα και την ενέργεια το 2030, το οποίο αντιπροσωπεύει τη δέσμευση στο πλαίσιο του Παρισιού, η Ε.Ε δεσμεύτηκε στην επίτευξη των εξής στόχων έως και το 2030.

- Την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 40% κάτω από τα επίπεδα του 1990.
- Την βελτίωση της αποδοτικότητας της ενέργειας κατά 32.5%
- Την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 32%

Ένα άλλο μέτρο της Ε.Ε ήταν η δημιουργία του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών η οποία αποτελεί την μεγαλύτερη διεθνής αγορά άνθρακα και το βασικότερο μέσο πολιτικής της Ε.Ε για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Βασίζεται στην αρχή ότι ο ΣΕΔΕ θέτει ένα ανώτατο όριο όπου μπορούν οι 11.000 εγκαταστάσεις (εργοστάσια, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ.) να εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου. Μέσω του συστήματος δίνεται η δυνατότητα στις εγκαταστάσεις να αγοράζουν ή να λαμβάνουν <<δικαιώματα εκπομπών>> που τίθενται σε πλειστηριασμό από τα κράτη μέλη. Οι πιστώσεις των εκπομπών αντιστοιχούν σε ένα τόνο εκπομπών CO<sub>2</sub> και αποτελούν αντικείμενο εμπορίας μεταξύ των εγκαταστάσεων, εάν παραμείνουν αχρησιμοποίητες.

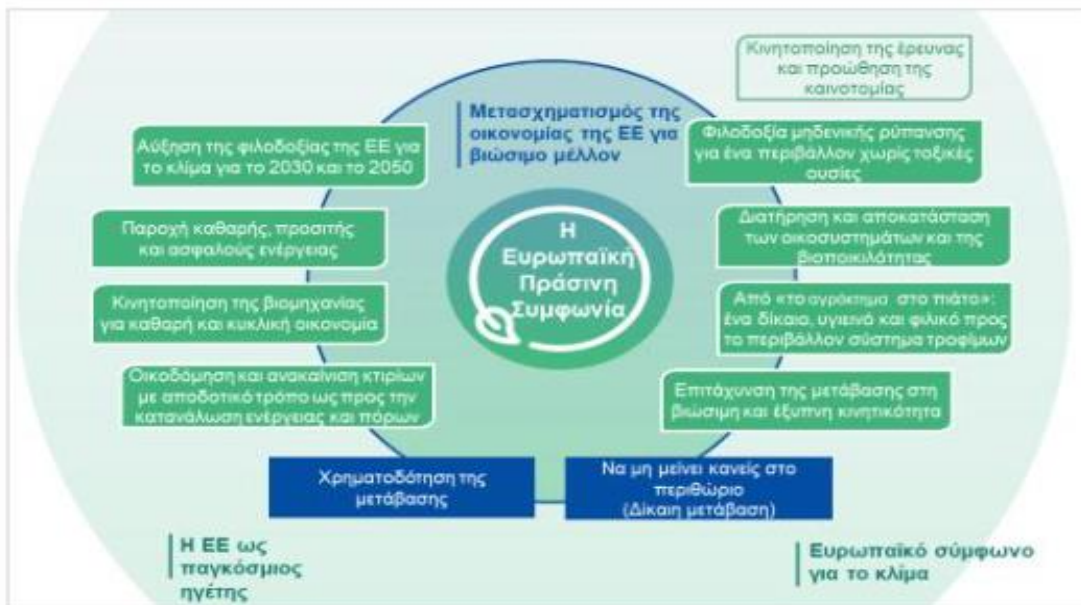
Όσον αφορά την οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει τεθεί ως στόχος έως το 2030 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύπτουν το 32% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ε.Ε, για την κάλυψη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τις μεταφορές, της θέρμανση και τη ψύξη. Για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, κάθε

κράτος μέλος έχει υποχρέωση στους προμηθευτές καυσίμων ότι το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας στην τελική κατανάλωση των μεταφορών να αποτελεί το 14% έως το 2030.

Η αναθεωρημένη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση θέτει ως στόχο ενεργειακής απόδοσης 32.5% για την Ε.Ε έως το 2030, ( βάση το σενάριο αναφοράς του 2007). Επίσης η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση στα κτήρια, περιλαμβάνει μέτρα όπως η επιτάχυνση του ρυθμού ανακαίνισης κτιρίων και τη μετάβαση σε πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα, μέσω της χρήσης έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.(European Parliament, 2022)

### Γ. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί το σχέδιο δράσης της Ε.Ε για την αντιμετώπιση των προκλήσεων του περιβάλλοντος. Αποσκοπεί στην διαμόρφωση μιας ευημερούσας και δίκαιης κοινωνίας που στηρίζεται σε μια σύγχρονη και ανεπτυγμένη οικονομία, με αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων διατηρώντας την ανταγωνιστικότητα στην αγορά, που όμως θα έχει εξασφαλίσει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και λοιπών περιβαλλοντικών ρύπων έως το 2050. Παράλληλα αποσκοπεί στην προστασία της δημόσιας υγείας, στην προστασία της βιοποικιλότητας και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της Ε.Ε από τους κινδύνους του περιβάλλοντος(European Commission, 2019). Μεταξύ των βασικών δράσεων που έχουν προταθεί είναι, ο Ευρωπαϊκός νόμος για το κλίμα όπου διασφαλίζει μια κλιματικά ουδέτερη Ε.Ε έως το 2050. Συγκεκριμένα στοχεύει στην αύξηση του στόχου του 2030 για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55%. Καθώς επιπροσθέτως η επιτροπή περιλαμβάνει ανακοινώσεις σχετικά με το επενδυτικό σχέδιο για μια βιώσιμη Ευρώπη και το Ευρωπαϊκό σύμφωνο για το κλίμα. Προτάσεις κανονισμών για τη δημιουργία ενός ταμείου δίκαιης μετάβασης και αναθεώρησης των κατευθυντήριων γραμμών για τις διευρωπαϊκές ενεργειακές υποδομές και στρατηγικές για την ολοκλήρωση των ενεργειακών συστημάτων για το υδρογόνο. Μέσω τις **Εικόνας 1.8** απεικονίζονται οι στόχοι που έχουν τεθεί από Ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία



Εικόνα 1.5 : Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία(πηγή: Ευρωπαϊκή επιτροπή, 2019)

## 1.7 Πράσινη Βιομηχανική Ανάπτυξη

### 1.7.1 Ιστορική Αναδρομή

Στην πορεία εξέλιξης της ανθρωπότητας από τη σκοπιά της σχέσης μεταξύ του ανθρώπου και της φύσης διακρίνονται συνήθως σε δυο μεγάλοι σταθμοί. Ο ένας από αυτούς θεωρείται η Νεολιθική επανάσταση η οποία τοποθετείται το δέκα χιλιάδες (10,000) π.Χ και σηματοδοτείται από την αντικατάσταση των πρωτόγονων παραγωγικών μεθόδων, που στηρίζονταν στην συλλογή καρπών, στο κυνήγι και στο ψάρεμα με πιο σύγχρονες γεωργικές και κτηνοτροφικές μεθόδους. Παρατηρείται συνεπώς για πρώτη φορά συγκέντρωση φυσικών πόρων και παραγωγή αποβλήτων σε συγκεκριμένες περιοχές.

Κατά τον δεύτερο μεγάλο σταθμό στην εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας, που αποτελεί ή βιομηχανική επανάσταση, η οποία χρονολογείται στα μέσα του 18<sup>ου</sup> αιώνα, παρατηρείται η σταδιακή επιβολή πιο εντατικών μεθόδων παραγωγής και η δημιουργία των σύγχρονων βιομηχανικών κοινωνιών. Σε αυτή τη δεύτερη φάση, η σχέση ανθρώπου με το περιβάλλον μεταβάλλεται σημαντικά. Η ανάγκη της ανθρωπότητας για χρήση πηγών ενέργειας με μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος οδήγησε στην αντικατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ανανεώσιμων πρώτων υλών από άλλες, μη ανανεώσιμες όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τα μέταλλα κλπ. Λίγο αργότερα αρχίζει να εμφανίζεται απειλητικό και το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Φυσικά η ρύπανση αυτή δεν οφείλεται μόνο στη βιομηχανία, αποτελεί όμως απόρροια των μεταβιομηχανικών κοινωνιών και οι παραγωγικές δραστηριότητες εξακολουθούν να κατέχουν ένα κυρίαρχο ρόλο στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επιπλέον οι εξορυκτικές, κατασκευαστικές και οι υπόλοιπες αστικές δραστηριότητες οδηγούν στην ολοένα αυξανόμενη δημιουργία αποβλήτων, καταλοίπων, λυμάτων καθώς και άλλων πηγών διαταραχής της ισορροπίας του περιβάλλοντος σε βαθμό επικίνδυνο, τουλάχιστον όπως αναγνωρίζεται σήμερα, για τη σταθερότητα των φυσικών πόρων (ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ Κ.ΙΩΑΝΝΗΣ, 2005)

### 1.7.2 Επίδραση Βιομηχανίας Στο Περιβάλλον

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι βιομηχανικές δραστηριότητες αποτελούν πηγή πίεσης στο περιβάλλον, κυρίως με τη μορφή εκπομπών στην ατμόσφαιρα και στα υδάτινα οικοσυστήματα, παραγωγής αποβλήτων και κατανάλωσης πόρων. Στην Ευρώπη, ένας μικρός αριθμός βιομηχανικών εγκαταστάσεων είναι υπεύθυνος για σημαντικό μερίδιο των ζημιών που προκαλούνται από την ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία προέρχεται κυρίως από τη Γερμανία, την Πολωνία, την Ισπανία και την Ιταλία.(EEA, 2023c)

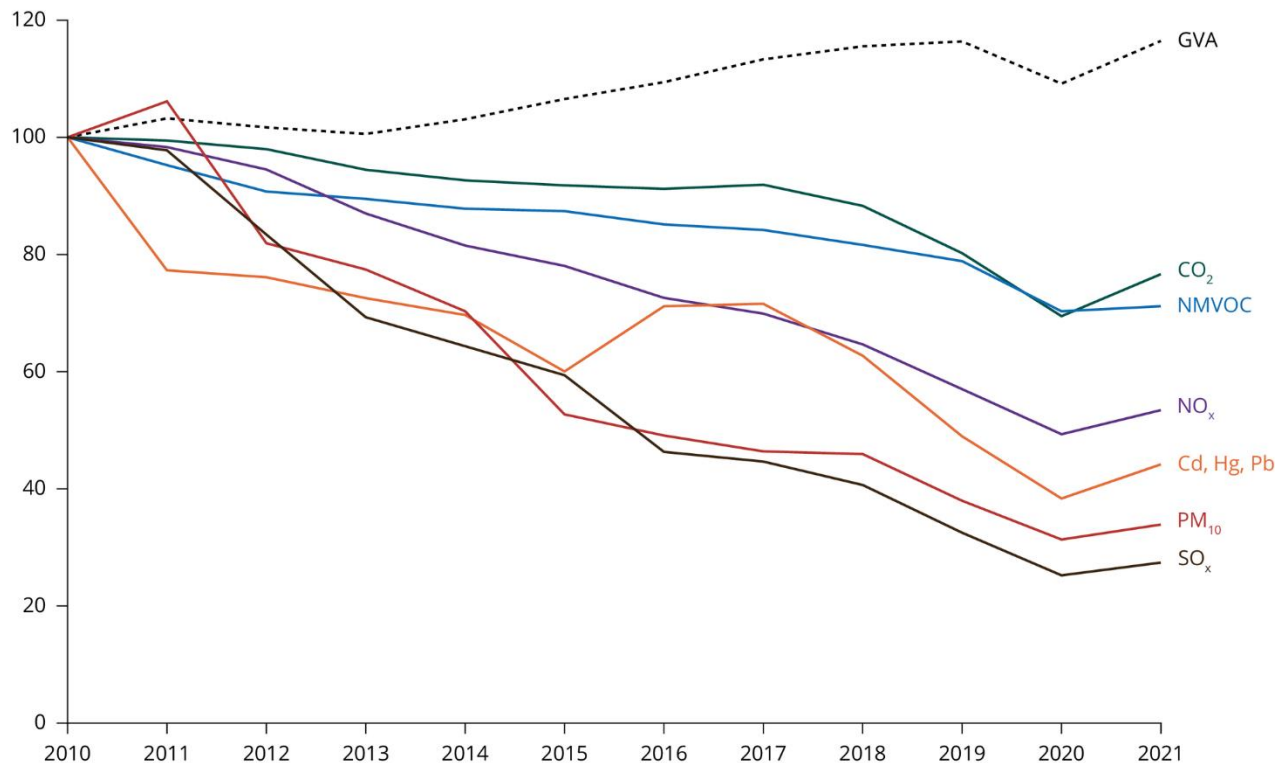
Μερικές σημαντικές πληροφορίες όσον αφορά τη ρύπανση στον τομέα της βιομηχανίας είναι τα εξής:

- Οι πιο ρυπογόνοι τομείς της βιομηχανίας είναι ο τομέας της ενέργειας, ακολουθούμενος από τη βαριά βιομηχανία, την παραγωγή και επεξεργασία καυσίμων, την ελαφρά βιομηχανία, τη διαχείριση αποβλήτων, την κτηνοτροφία και την επεξεργασία λυμάτων.
- Το 2017, η ατμοσφαιρική ρύπανση που εκπέμπεται από μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη εκτιμάται ότι κόστισε στην κοινωνία μεταξύ 277 και 433 δισεκατομμυρίων ευρώ. Αυτό ισοδυναμεί με περίπου 2-3% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της ΕΕ.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

- Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς προκαλεί τις μεγαλύτερες ζημιές στην υγεία και το περιβάλλον. Συνολικά, 24 από τις 30 εγκαταστάσεις με τους υψηλότερους ρύπους είναι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί (οι περισσότεροι χρησιμοποιούν άνθρακα, ορισμένοι συνδυάζουν φυσικό αέριο ή πετρέλαιο), με δεκαπέντε να βρίσκονται στη δυτική και βόρεια Ευρώπη (επτά στη Γερμανία) και άλλοι εννέα στην ανατολική και νοτιοανατολική Ευρώπη. Ενώ ο πιο ρυπογόνος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στην Πολωνία, τέσσερις από τους πέντε πρώτους βρίσκονται στη Γερμανία.
- Μεταξύ 2010 και 2021, οι βιομηχανικές εκπομπές ρύπων που βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον στα υδάτινα σώματα της Ευρώπης μειώθηκαν συνολικά. Οι εκπομπές βαρέων μετάλλων μειώθηκαν σημαντικά, ενώ οι εκπομπές αζώτου, που προκαλούν ευτροφισμό, μειώθηκαν σε μικρότερο βαθμό.
- Μεταξύ 2005 και 2020, οι εκπομπές καδμίου, υδραργύρου και μολύβδου μειώθηκαν στα κράτη μέλη της ΕΕ-27 κατά 39%, 51% και 49%, αντίστοιχα.

Παρακάτω παρατηρούμε την διακύμανση των βιομηχανικών ρύπων ανά τα χρόνια (Σχήμα 1.6)  
Index (2010=100)

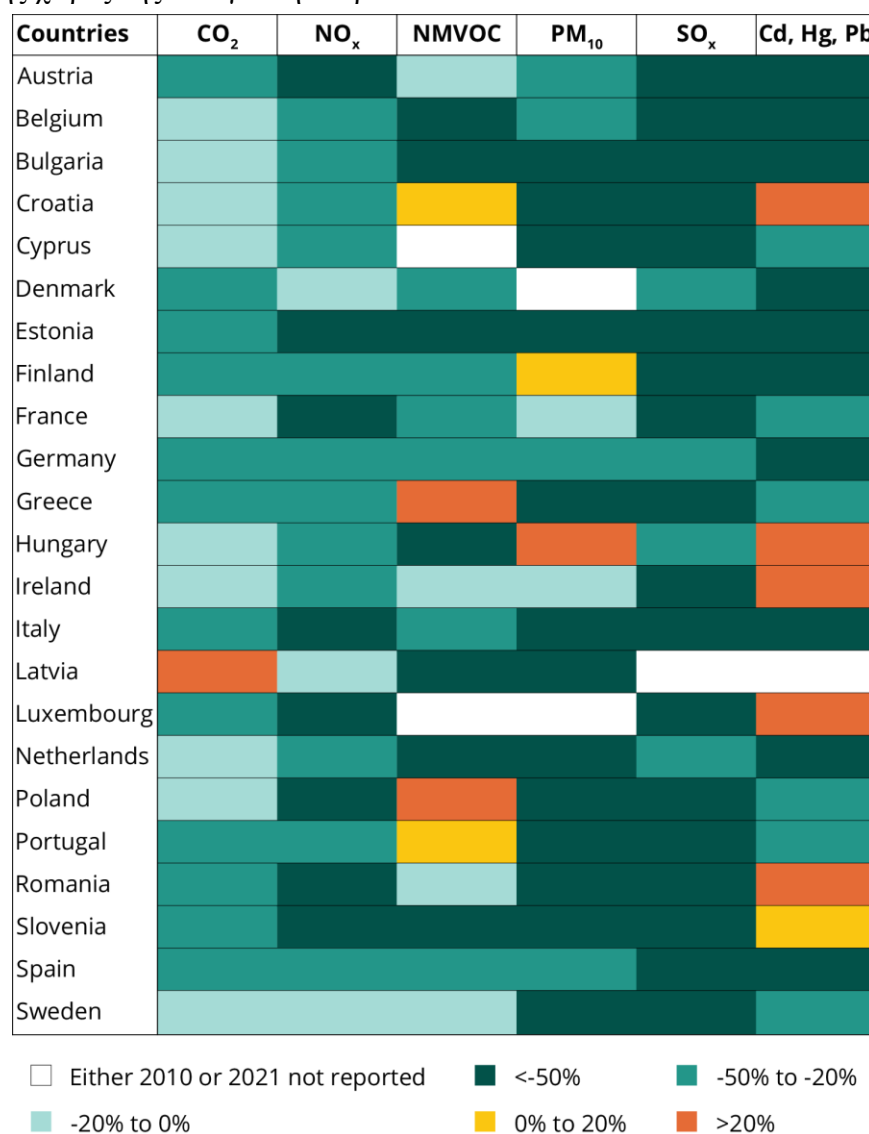


**Σχήμα 1.6: Βιομηχανικές εκπομπές ρύπων στον αέρα και οικονομική δραστηριότητα στην ΕΕ-27 (πηγή:ΕΕΑ,2023)**

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κάποιος μεταξύ 2010 και 2021, οι βιομηχανικές εκπομπές SO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub> μειώθηκαν κατά περίπου 70% στην ΕΕ. Άλλες εκπομπές μειώθηκαν σε μικρότερο βαθμό: βαρέα μέταλλα (Cd, Hg και Pb) κατά 56%, NO<sub>x</sub> κατά 47%, NMVOC κατά 29% και CO<sub>2</sub> κατά 23%. Κατά την ίδια περίοδο, η αξία που παρήγαγε η βιομηχανία για την οικονομία - μετρούμενη με βάση την ακαθάριστη προστιθέμενη αξία (ΑΠΑ) - αυξήθηκε, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ευρωπαϊκή βιομηχανία έχει γίνει λιγότερο εντατική σε εκπομπές, καθώς ο λόγος των εκπομπών

ατμοσφαιρικών ρύπων προς την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων μειώθηκε. Η ΑΠΑ το 2021 επέστρεψε στο προ της πανδημίας COVID-19 επίπεδο, γεγονός που οδήγησε σε ανάκαμψη των εκπομπών. Ωστόσο, η ανάκαμψη δεν αμφισβητεί ουσιαστικά τη συνολική μείωση της έντασης εκπομπών του τομέα.

Η μείωση των εκπομπών βιομηχανικών ρύπων στον αέρα μπορεί εν μέρει να αποδοθεί σε ευρωπαϊκές ρυθμίσεις, όπως το σύστημα εμπορίας εκπομπών της ΕΕ και η οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές, στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και των τεχνολογιών μείωσης των ρύπων, καθώς και στη μετεγκατάσταση διαφόρων βιομηχανιών που προκαλούν βαριές εκπομπές ρύπων και είναι ενεργοβόρες (όπως η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ή μετάλλων) εκτός Ευρώπης. Μέσω του **σχήματος 1.7** παρατηρούμε την μεταβολή των εκπομπών των ρύπων στις χώρες της Ε.Ε για την περίοδο 2010-2021



**Σχήμα 1.7: Μεταβολή των εκπομπών στις χώρες της ΕΕ-27, 2010-2021 (Πηγή:ΕΕΑ,2023)**

Από το 2010, ενώ ανακάμπτει από τον αντίκτυπο της οικονομικής ύφεσης του 2008-2009, τα επίπεδα εκπομπών από τον βιομηχανικό τομέα μειώθηκαν με σταθερό ρυθμό για τους

περισσότερους ρύπους. Οι βιομηχανικές εκπομπές είναι πολύ περίπλοκες όσον αφορά τις ουσίες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και την υγεία και τις πολύ διαφορετικές πραγματικότητες μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών.

Μπορούν να εντοπιστούν ορισμένα μοτίβα. Αφενός, οι εκπομπές ρύπων που συνδέονται κυρίως με δραστηριότητες που περιλαμβάνουν διεργασίες καύσης (π.χ. παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, εργοστάσια σιδήρου και χάλυβα, εργοστάσια τσιμέντου), μειώνονται γενικά σε όλους τους τομείς. Αυτό αφορά τις εκπομπές NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub>. Η τάση αυτή συνάδει με τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων αυτών των βιομηχανιών και τις αλλαγές στα καύσιμα (με τη σταδιακή εγκατάλειψη του άνθρακα). Τα στοιχεία δείχνουν ότι η πολιτική της ΕΕ αποτελεί έναν από τους βασικούς μοχλούς αυτών των θετικών εξελίξεων, καθώς σημαντικές μειώσεις των εκπομπών (πάνω από 50% από το 2010) σημειώθηκαν σχεδόν σε όλες τις χώρες που προσχώρησαν πρόσφατα στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ομοίως, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως CO<sub>2</sub>, μειώνονται συνολικά, ενώ οι εκπομπές NMVOC παρουσιάζουν ελαφρώς μικτή εικόνα.

Τα βαρέα μέταλλα (Cd, Hg, Pb) εκπέμπονται σε σχετικά μικρότερες ποσότητες και παρουσιάζουν μια φυσικά μεταβαλλόμενη τάση με την πάροδο του χρόνου. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι γι' αυτό, μερικοί που σχετίζονται με τον μηχανισμό υποβολής εκθέσεων (ο οποίος περιλαμβάνει εκτιμήσεις και λειτουργεί με ελάχιστα όρια) και άλλοι που σχετίζονται με τις πραγματικές εξελίξεις στον εν λόγω κλάδο. (EEA, 2023b)

### 1.7.3 Δράσεις Της Ε.Ε

Τον Μάρτιο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε μια βιομηχανική πολιτική που θα υποστηρίξει τη διπλή πράσινη και ψηφιακή μετάβαση, θα καταστήσει τη βιομηχανία της ΕΕ πιο ανταγωνιστική σε παγκόσμιο επίπεδο και θα ενισχύσει την ανοικτή στρατηγική αυτονομία της Ευρώπης. Η πολιτική επικαιροποιήθηκε τον Μάιο του 2021 για να διασφαλιστεί ότι η ευρωπαϊκή βιομηχανική φιλοδοξία λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες μετά την κρίση COVID-19.

Η βιομηχανική στρατηγική της ΕΕ, ως μέρος της ευρωπαϊκής πράσινης συμφωνίας, συνάδει τόσο με τον κύριο στόχο της δημιουργίας μιας κλιματικά ουδέτερης, κυκλικής και καθαρής οικονομίας, όσο και με την ευρύτερη φιλοδοξία της μηδενικής ρύπανσης και τους στόχους για περιβάλλον χωρίς τοξικά (EEA, 2023c)

Η οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές είναι το κύριο κομμάτι της νομοθεσίας της Ε.Ε για την πρόληψη και της μείωση της ρύπανσης από μεγάλες βιομηχανικές ομάδες, συμπεριλαμβανομένων των κτηνοτροφικών ομάδων στην Ε.Ε. Ο γενικός στόχος είναι να συμβάλει στην προστασία των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης υγείας.

Οι κανόνες της οδηγίας αποσκοπούν σε:

- πρόληψη και έλεγχο των εκπομπών στον αέρα, το νερό και το έδαφος από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές μονάδες της Ευρώπης
- ελαχιστοποίηση της χρήσης των πόρων
- να καταστήσει τις διαδικασίες πιο αποτελεσματικές
- να ενθαρρύνει πρακτικές κυκλικής οικονομίας
- εξασφάλιση της πρόληψης και του ελέγχου των αποβλήτων



Η οδηγία που ισχύει σήμερα καλύπτει πάνω από 50.000 μονάδες που βρίσκονται σε χώρες της ΕΕ, οι οποίες είναι συλλογικά υπεύθυνες για την εκπομπή του 20% όλων των ρύπων στον αέρα και το νερό και του 40% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ.

### **Πως λειτουργεί όμως η οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές**

Οι κανόνες της ΕΕ απαιτούν από τις μεγάλες βιομηχανικές και κτηνοτροφικές μονάδες να υποβάλλουν εκθέσεις, να παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις και να καταβάλλουν προσπάθειες για τον έλεγχο των εκπομπών τους. Οι βιομηχανικοί φορείς που αναφέρονται στην οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές λαμβάνουν άδεια λειτουργίας από την αρχή της χώρας στην οποία βρίσκονται.

Οι άδειες αυτές καθορίζουν τις οριακές τιμές εκπομπών για τις ρυπογόνες ουσίες που εκπέμπει η μονάδα με βάση τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (ΒΔΤ). Οι ΒΔΤ καθορίζονται από την Επιτροπή σε συντονισμό με εμπειρογνώμονες από τα κράτη μέλη, τη βιομηχανία και τις περιβαλλοντικές οργανώσεις. Οι άδειες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις συνολικές περιβαλλοντικές επιδόσεις της μονάδας, οι οποίες καλύπτουν, μεταξύ άλλων, τις εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος, την παραγωγή αποβλήτων, τη χρήση πρώτων υλών και την ενεργειακή απόδοση (European Council of the European Union, 2023d).

### **FIT 55**

Η δέσμη μέτρων "Fit for 55" είναι ένα σύνολο προτάσεων για την αναθεώρηση και την επικαιροποίηση της νομοθεσίας της ΕΕ και τη θέσπιση νέων πρωτοβουλιών με στόχο να διασφαλιστεί ότι οι πολιτικές της ΕΕ είναι σύμφωνες με τους στόχους για το κλίμα που έχουν συμφωνηθεί από το Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Στόχος της είναι η μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030.

Μερικά από τα μέτρα που αναφέρονται στο "Fit for 55" για τομείς που σχετίζονται με την βιομηχανία είναι τα εξής:

- **Μηχανισμός συνοριακής προσαρμογής άνθρακα:** Στόχος του μηχανισμού συνοριακής προσαρμογής άνθρακα (ΜΣΠΑ) είναι να αποφευχθεί σε πλήρη συμμόρφωση με τους κανόνες του διεθνούς εμπορίου η ματαίωση των προσπαθειών της ΕΕ για μείωση των εκπομπών λόγω της αύξησης των εκπομπών εκτός των συνόρων της με τη μετεγκατάσταση της παραγωγής σε χώρες εκτός ΕΕ (όπου οι πολιτικές που εφαρμόζονται για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής είναι λιγότερο φιλόδοξες από εκείνες της ΕΕ) ή μέσω της αύξησης των εισαγωγών προϊόντων υψηλής έντασης άνθρακα. Ο ΜΣΠΑ στοχεύει στις εισαγωγές προϊόντων σε βιομηχανίες υψηλής έντασης άνθρακα. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί παράλληλα με το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ (ΣΕΔΕ της ΕΕ), καθώς και για να αντικατοπτρίζει και να συμπληρώνει τη λειτουργία του όσον αφορά τα εισαγόμενα εμπορεύματα. Θα αντικαταστήσει σταδιακά τους υφιστάμενους μηχανισμούς της ΕΕ για την αντιμετώπιση του κινδύνου διαρροής άνθρακα, ιδίως τη δωρεάν κατανομή δικαιωμάτων του ΣΕΔΕ της ΕΕ (European Council of the European Union, 2023c).
- **Μετάβαση από το ορυκτό αέριο σε ανανεώσιμα αέρια και αέρια χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών:** Η δέσμη μέτρων για την αγορά υδρογόνου και απανθρακοποιημένου αερίου προτείνει αναθεωρημένους και νέους κανόνες για τη μείωση

του αποτυπώματος άνθρακα της αγοράς αερίου. Στόχος είναι η μετάβαση από το ορυκτό φυσικό αέριο στα ανανεώσιμα αέρια και τα αέρια χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών και η ενίσχυση της υιοθέτησής τους στην ΕΕ έως το 2030 και πέραν αυτού. Η δέσμη έχει επίσης σκοπό να συμβάλλει στην ενίσχυση της ασφάλειας του εφοδιασμού με αέριο και στη μείωση της εξάρτησης από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα (European Council of the European Union, 2023a, p. 55).

- **Αναθεώρηση της οδηγίας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς εκπέμπει λιγότερο άνθρακα από τα ορυκτά καύσιμα. Η ενίσχυση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ είναι απαραίτητη για τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του ενεργειακού τομέα επί του παρόντος 75 % του συνόλου των εκπομπών της ΕΕ.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Τρόποι Καταγραφής Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η συστηματική, μακροπρόθεσμη αξιολόγηση των επιπέδων ρύπων με τη μέτρηση της ποσότητας αλλά και των τύπων ορισμένων ρύπων στον περιβάλλοντα εξωτερικό αέρα. Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος αέρα αποτελεί ένα αναπόσπαστο μέρος ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης της ποιότητας του αέρα, καθώς βοηθάει στην εκτίμηση της έκτασης της ρύπανσης, παρέχει έγκαιρα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση στο κοινό, υποστηρίζει την εφαρμογή στόχων ή προτύπων για την ποιότητα του αέρα, και αξιολογεί την αποτελεσματικότητα των στρατηγικών ελέγχου των εκπομπών των ρύπων(US EPA, 2015b).

### 2.1 Σταθεροί Σταθμοί Μέτρησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Παραδοσιακά, η καταγραφή των συγκεντρώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται συνήθως μέσω σταθερών σταθμών παρακολούθησης που κατασκευάζονται κυρίως από περιβαλλοντικές ή κυβερνητικές αρχές. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών των σταθμών έγκεινται στη διαθεσιμότητα των μετρήσεων για μια ποικιλία ρύπων και στην αξιοπιστία των μετρήσεων, η οποία ωφελεί τη μακροπρόθεσμη εκτίμηση της ρύπανσης. Ωστόσο η παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω σταθερών σταθμών, πάσχει από τη χαμηλή χωρική ανάλυση των δεδομένων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή εκτίμηση σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης(Xie *et al.*, 2017).

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι μέτρησης των ρύπων, πριν αποφασιστεί ο τρόπος παρακολούθησης όμως θα πρέπει πρώτα να καθοριστούν ποιες μέθοδοι είναι οι καταλληλότερες λαμβάνοντας υπόψη τα εξής :

- Τις κύριες χρήσεις των δεδομένων
- Το αρχικό κόστος επένδυσης για τον εξοπλισμό
- Το λειτουργικό κόστος
- Την αξιοπιστία των συστημάτων
- Την ευκολία της λειτουργίας

Όσον αφορά την τοποθεσία εγκατάστασης των σταθμών που εξαρτώνται από κυρίαρχες πηγές εκπομπών, οι σταθμοί ταξινομούνται ως εξής:

- Σταθμοί κυκλοφορίας: Βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από έναν μόνο μεγάλο δρόμο
- Βιομηχανικοί σταθμοί: Βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από βιομηχανική περιοχή ή βιομηχανική πηγή
- Σταθμοί φόντου: Όπου τα επίπεδα ρύπανσης είναι αντιπροσωπευτικά της μέσης έκθεσης γενικού πληθυσμού ή βλάστησης

Ανάλογα την κατανομή/πυκνότητα του κτηρίου, η περιοχή που περιβάλλει, οι σταθμοί ταξινομούνται ως εξής:

- Αστικοί σταθμοί: Συνεχώς δομημένη αστική περιοχή
- Προαστικοί σταθμοί : Αποτελούν σε μεγάλο βαθμό δομημένη αστική περιοχή
- Αγροτικοί σταθμοί : αποτελούν οι σταθμοί σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές

Όλοι οι σταθμοί που δίνουν αναφορά στο Ευρωπαϊκό πρακτορείο περιβάλλοντος, περιλαμβάνονται στην ενημέρωση για την κατάσταση της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη, ανεξάρτητα από τον καθορισμό τους για έλεγχο συμμόρφωσης, εφόσον όμως πληρούν τα κριτήρια κάλυψης δεδομένων. Για τους περισσότερους ρύπους, οι σταθμοί παρακολούθησης θα πρέπει να πληρούν το κριτήριο αναφοράς άνω του 75% έγκυρων δεδομένων από όλα τα πιθανά δεδομένα που έχουμε διαθέσιμα σε ένα έτος. Οι οδηγίες για την ποιότητα του περιβάλλοντος αέρα θέτουν, για λόγους συμμόρφωσης, τον στόχο της ελάχιστης σύλληψης δεδομένων 90% για τους σταθμούς παρακολούθησης, αλλά για λόγους αξιοπιστίας, η κάλυψη 75% επιτρέπει να ληφθούν υπόψη περισσότεροι σταθμοί χωρίς σημαντική αύξηση της αβεβαιότητας(ΕΕΑ, 2023a). Κατά την μέτρηση, το περιβάλλον είναι όλος ο αέρας κάτω από τα 10 μέτρα περίπου. Βάση του πρωτοκόλλου παρακολούθησης περιβάλλοντος που προτείνεται από το κεντρικό συμβούλιο ελέγχου ρύπανσης στο Δελχί, ένας σταθμός πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση από 3-10 μέτρα από το έδαφος και όχι στο σημείο μηδέν. Με αυτό τον τρόπο αντιπροσωπεύει όλες τις συνεισφορές των πηγών σε εκείνο το σημείο και δεν ωθείται από καμία πηγή που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της παρακολούθησης, στην προκειμένη περίπτωση να γίνει μια υπερεκτίμηση των επιπέδων ρύπανσης λόγω της άμεσης εκπομπής καυσαερίων του οχήματος.

Ένας παραδοσιακός σταθμός παρακολούθησης συνήθως αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα από αισθητήρες οι οποίοι παρέχουν δεδομένα, για όλα όσα χρειάζεται ο σταθμός για να είναι σε θέση της καταγραφής του ρύπου. Επίσης συνήθως περιλαμβάνει έναν διακομιστή αρχειοθέτησης δεδομένων όπου αποθηκεύει τα πρωτογενή δεδομένα από τους αισθητήρες και αξιολογείται από τον δείκτη ποιότητας αέρα της επιλογής μας. Στη συνέχεια τα δεδομένα του διακομιστή αρχειοθέτησης επεξεργάζονται και γίνονται διορθώσεις αυτών σε κάποιο σταθμό. Στο τέλος η μονάδα επεξεργασίας υπολογιστή (CPU) που περιλαμβάνει ο σταθμός, αντλεί τα διορθωμένα δεδομένα για τον διακομιστή, ο οποίος θα κάνει την τελική επεξεργασία και διεξαγωγή των δεδομένων και θα αναρτήσει ή εκτυπώσει τη τελική έκθεση του σταθμού

παρακολούθησης. Η Ευρωπαϊκή επιτροπή απαιτεί επίσης από τον σταθμό να γίνει μια αναφορά σχετικά με τα κλιματολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία θα παρέχονται από έναν εξίσου αξιόπιστο εξοπλισμό, το οποίο σημαίνει στους σταθμούς θα πρέπει να περιλαμβάνονται αισθητήρες ανέμου, ηλιακόμετρα καθώς και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας(Ροδόνας, Δημήτριος-Μιχαήλ, 2022). Στην **Εικόνα 2.1** παρατηρούμε έναν σταθμό παρακολούθησης ο οποίος βρίσκεται στο εθνικό αστεροσκοπείο Αθηνών



**Εικόνα 2.1: Σταθμός παρακολούθησης ρύπων στο εθνικό αστεροσκοπείο Αθηνών**

### **2.1.2 Σημεία Εφαρμογής Στην Αττική**

Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών εγκατέστησε το 1967 το πρώτο δίκτυο σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, με σκοπό την παρακολούθησή της. Αρχικά, το δίκτυο αποτελούνταν από δύο σταθμούς εξοπλισμένους με ημιαυτόματα όργανα που μετρούσαν τις εκπομπές SO<sub>2</sub> και καπνού. Κατά τη διάρκεια των ετών, το δίκτυο επεκτάθηκε και αναβαθμίστηκε, εγκαθιστώντας έναν πλήρως αυτοματοποιημένο σταθμό στην περιοχή του Θησείου. Αυτός ο σταθμός μπορούσε να μετρήσει τις εκπομπές SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> και HC. Το 1983, το δίκτυο μεταφέρθηκε στην ευθύνη του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ), το οποίο συνέχισε να το εκσυγχρονίζει. Από το 1986 και έπειτα, το δίκτυο επεκτάθηκε σε άλλες πόλεις της Ελλάδας, όπως η Θεσσαλονίκη και επαρχιακές πόλεις, εγκαθιστώντας επιπλέον σταθμούς μέτρησης(Καμπεζίδης, X, 2004).

Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού, δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπου βρίσκονται υπό ευθύνη του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας.

Όνομα	Σταθμός					Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
	Θέση						SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	ΑΣ <sub>10</sub>	ΑΣ <sub>2,5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
	WGS84		ΕΓΣΑ87		Υψόμετρο (m -asl)								
	Γεωγρ. Μήκος	Γεωγρ. Πλάτος	X (m)	Y(m)									
Αθηνάς (ATH)	23,726845	37,978204	475861	4203144	75	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			
Αριστοτέλους (ARI)	23,727617	37,988066	475932	4204238	75	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v			v	v	
Γεωπονική (GEO)	23,705153	37,984100	473958	4203804	40	Περιστικός-Βιομηχανικός		v	v	v			
Λιόσια (LIO)	23,697781	38,076741	473344	4214085	165	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Λυκόβρυση* (LYK)	23,788986	38,067793	481341	4213070	234	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Μαρούσι (MAR)	23,787372	38,030837	481190	4208970	170	Αστικός-Υποβάθρου		v	v	v	v		
Νέα Σμύρνη (SMY)	23,713020	37,931998	474631	4198021	50	Αστικός-Υποβάθρου		v	v	v	v		v
Πατησίων (PAT)	23,733053	37,999587	476413	4205515	105	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			v
Πειραιάς I** (PIR)	23,645230	37,944656	468679	4199446	4	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v	v	v
Περιστέρι (PER)	23,688361	38,020811	472497	4207882	80	Αστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Αγ. Παρασκευή (AGP)	23,819421	37,995110	483995	4205000	290	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Ελευσίνα (ELE)	23,538432	38,051322	459354	4211322	20	Περιστικός-Βιομηχανικός	v	v		v	v	v	v
Θρακομακεδόνες (THR)	23,758195	38,143521	478662	4221479	550	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Κορωπί (KOR)	23,879026	37,901308	489215	4194584	140	Περιστικός-Υποβάθρου	v	v		v	v		
Αλιάρτος (ALI)	23,110302	38,375295	422136	4247543	110	Υποβάθρου	v	v		v	v	v	
<i>Παλαιότεροι σταθμοί (εκτός λειτουργίας)</i>													
Ζωγράφου (PAN)	23,786763	37,969648	481121	4202181	245	Περιστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Γουδή (GOU)	23,767362	37,984239	479421	4203804	155	Αστικός-Κυκλοφορίας		v			v	v	
Γαλάτσι (GAL)	23,748659	38,022487	477790	4208052	154	Περιστικός-Υποβάθρου	v	v		v			
Πειραιάς II (BIO)	23,652742	37,941993	469338	4199148	25	Αστικός-Υποβάθρου	v	v		v			

**Πίνακας 2.1: Μεταδεδομένα σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που την ευθύνη λειτουργίας τους έχει το ΥΠΕΝ**

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO,NO <sub>2</sub> )	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O <sub>3</sub> )	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (AS <sub>10</sub> -AS <sub>2.5</sub> )	Απορρόφηση β ακτινοβολίας (εκτός από την Ελευσίνα όπου χρησιμοποιείται η σταθμική)
Βενζόλιο (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Αέρια χρωματογραφία (GC)
Βαρέα Μέταλλα	Ατομική Απορρόφηση

**Εικόνα 2.2: Μετρούμενοι Ρύποι και μέθοδοι μέτρησης**

### **Βαθμονόμηση Αυτόματων Οργάνων**

Η επιτόπια βαθμονόμηση των αυτόματων αναλυτών πραγματοποιείται με δυναμική αραίωση κάθε μήνα και μετά από κάθε επισκευή ενώ επίσης ενδιάμεσοι έλεγχοι πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα σχετικά τεχνικά πρότυπα EN. Τα ροόμετρα των βαθμονομητικών συστημάτων με τα οποία εφαρμόζεται η δυναμική αραίωση διακριβώνονται ετησίως στο Εθνικό Εργαστήριο Αναφοράς για την Ποιότητα της Ατμόσφαιρας. Μεταξύ άλλων, πραγματοποιείται έλεγχος γραμμικότητας, ολίσθησης μηδενός και επαναληψιμότητας στους αναλυτές σύμφωνα με τα τεχνικά πρότυπα EN. Για την επιτόπια βαθμονόμηση των αναλυτών χρησιμοποιούνται φιάλες γνωστής συγκέντρωσης αερίου σε άζωτο οι οποίες έχουν διακριβωθεί ως προς τη συγκέντρωση με τη μονάδα στατικής αραίωσης του Εργαστηρίου. Το Εργαστήριο είναι διαπιστευμένο κατά EN ISO 17025, μεταξύ άλλων, για τη διακρίβωση ροομέτρων ως προς τη ροή αέρα, τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης αερίων σε μείγματα με τη μέθοδο στατικής αραίωσης και τον έλεγχο αναλυτών όζοντος με χρήση προτύπου φωτόμετρου Α΄ βαθμίδας. Η επιτόπια βαθμονόμηση των αναλυτών όζοντος στους σταθμούς πραγματοποιείται με μεταφερόμενο πρότυπο Β΄ βαθμίδας το οποίο έχει βαθμονομηθεί από το πρότυπο φωτόμετρο στο Εργαστήριο. Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται σε πρότυπο δείγμα γνωστής συγκέντρωσης. (Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας, 2020)

### **2.2 Ηλεκτροχημικοί Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους**

Οι χαμηλού κόστους αισθητήρες/οθόνες ατμοσφαιρικών ρύπων είναι τεχνολογίες που υπόσχονται μια επαναστατική πρόοδο στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, μέσω της μαζικής αύξησης της χωρικής και χρονικής ανάλυσης των δεδομένων, παρέχοντας έτσι απαντήσεις σε επιστημονικά ερωτήματα και εφαρμογές για τους τελικούς χρήστες. Επομένως, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι περισσότερες ερευνητικές ομάδες που ενδιαφέρονται για την ποιότητα του αέρα, καθώς και οι κυβερνητικοί οργανισμοί που έχουν την ευθύνη γι' αυτήν, εστιάζουν στην ανάπτυξη των δικών τους προγραμμάτων για την αξιολόγηση και τη χρήση αισθητήρων/οθονών χαμηλού κόστους. Ορισμένοι αναφέρουν απογοητευτικά αποτελέσματα, άλλοι ποικίλους βαθμούς επιτυχίας (Morawska *et al.*, 2018). Ο όρος “χαμηλό κόστος” είναι σχετικός, ανάλογα τους χρήστες τους και τον σκοπό για τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα ένα όργανο αξίας (2000-5000\$) μπορεί να είναι χαμηλού κόστους για μια ρυθμιστική αρχή, αλλά απλησίαστο για

την παρακολούθηση μιας κοινότητας.(USEPA, 2013). Ο όρος “χαμηλού κόστους” έχει προσδιοριστεί από την EPA ως συσκευές όπου κοστίζουν λιγότερο από 2500\$, καθώς αυτό είναι το όριο που συχνά καθορίζει τις επενδύσεις κεφαλαίου από τους επιστήμονες-πολίτες. Επιπλέον ο όρος “αισθητήρας/οθόνη” χρησιμοποιήθηκε για να διαχωρίσει το στοιχείο μέτρησης από ολόκληρο το σύστημα παρακολούθησης το οποίο περιλαμβάνει από έναν έως περισσότερους αισθητήρες/οθόνες, περίβλημα οθόνη δεδομένων, (προαιρετικά), σύνδεση με μπαταρία ή άλλη πηγή ενέργειας και ποικίλα εξαρτήματα για αποθήκευση, μετάδοση και ανάκτηση δεδομένων (π.χ AQMesh και Air-Sensor Box). Ως εκ τούτου, εφόσον προσδιορίσαμε τη διαφορά μεταξύ αισθητήρα και οθόνης, ορίζουμε ότι για ατομικές/κοινοτικές εφαρμογές ή και για προσωπική παρακολούθηση, ότι ο αισθητήρας χαμηλού κόστους θα πρέπει να κοστίζει έως και 100\$, ενώ ένα μόνιτορ χαμηλού κόστους που αποτελείται από περισσότερους αισθητήρες και στοιχεία επικοινωνίας/δεδομένα έως και 1000\$. Κάτι άλλο επίσης σημαντικό που πρέπει να επισημανθεί σε σχέση με τους αισθητήρες αναφοράς, είναι ότι οι χαμηλοί κόστους αισθητήρες πολύ συχνά είναι μικρότεροι, με χαμηλότερο βάρος το οποίο επιτρέπει την πρόσβαση τους σε πιο ποικίλες εφαρμογές παρακολούθησης, επίσης έχουν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, καθώς και λιγότερα εξαρτήματα υψηλής ενέργειας(Lewis, 2018). Στην **εικόνα 2.3** απεικονίζεται μια συσκευή χαμηλού κόστους AQMesh



**Εικόνα 2.3:Συσκευή χαμηλού κόστους AQMesh**

Η αλλαγή του προτύπου της παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την βάση τυποποιημένων κυβερνητικών δικτύων, που αποτελούνται από όργανα αναφοράς, σε μικτά δίκτυα που περιλαμβάνουν τόσο όργανα αναφοράς όσο και αναδυόμενες τεχνολογίες αισθητήρων/ελεγκτών αναγνωρίστηκε πριν από αρκετά χρόνια από την EPA (Αμερικάνικο υπουργείο προστασίας περιβάλλοντος)(Snyder et al., 2013). Κάτι το οποίο συνέβη και στην Ευρώπη καθώς έγινε και πρόταση να συμπεριληφθεί στην επόμενη οδηγία για την ποιότητα του

αέρα(Borrego *et al.*, 2015). Εν συνεχεία αυτών των γεγονότων τόσο η Ε.Ε αλλά και τόσο η ΗΠΑ χρηματοδότησαν έργα για την αξιολόγηση αυτών των οργάνων αλλά και δημιούργησαν δίκτυα για δοκιμαστικούς σκοπούς. Έπειτα από πολλές έρευνες που γίνανε με τέτοια όργανα, υπήρξε ομοφωνία ότι ο εξοπλισμός παρακολούθησης της ατμόσφαιρας από αισθητήρες χαμηλού κόστους θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά ώστε να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες για τις συγκεκριμένες εφαρμογές του, είτε πρόκειται για την παρακολούθηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, είτε για την παρακολούθηση εσωτερικών χώρων(Castell *et al.*, 2013),(Lewis and Edwards, 2016).

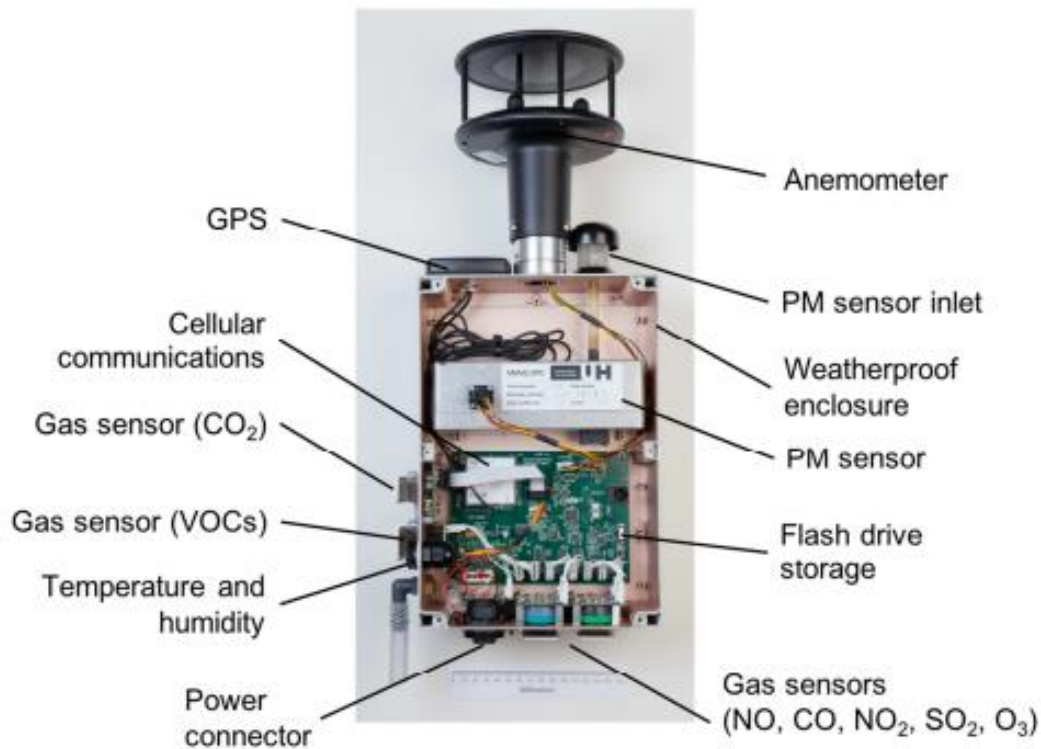
Απώτερος σκοπός αυτού του οράματος, είναι ότι όταν αυτή η τεχνολογία ωριμάσει, να υπάρχουν παντού δίκτυα αισθητήρων, όπου θα είναι υπό την κατοχή και θα τα χειρίζονται (κυβερνήσεις, δήμοι, ή ιδιώτες) και θα υπάρχουν πολλές εφαρμογές για τους τελικούς χρήστες. Επίσης οποιοσδήποτε, όχι απαραίτητα κάποιος ειδικός στην παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, θα είναι σε θέση να αγοράσει τον κατάλληλο αισθητήρα για την προβλεπόμενη εφαρμογή του, να τον εγκαταστήσει και να λάβει δεδομένα που θα απαντούν στα ερωτήματα του.

### **2.2.2 Αρχές λειτουργίας και Εξαρτήματα**

Οι αισθητήρες χαμηλού κόστους περιλαμβάνουν ένα κοινό αριθμό από εξαρτήματα, πέρα των βασικών αισθητήρων όπου χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση. Μερικά από τα πρόσθετα εξαρτήματα που μπορούν να εντοπιστούν σε έναν αισθητήρα, είναι από μηχανήματα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για να ενισχύουν το σήμα από αναλογικό σε ψηφιακό, την επεξεργασία του σήματος, για τη διαχείριση ισχύος, μπαταρίες, στοιχεία λογισμικού για την επεξεργασία δεδομένων-αποθήκευση δεδομένων, τηλεπικοινωνίες (π.χ π.χ. WiFi, GSM, GPSRC, 3/4G, LPWAN) και οπτικοποίηση. Αυτά είναι μερικά από τα πρόσθετα βοηθητικά τεχνικά εξαρτήματα, όπου βοηθούν στην επεξεργασία δεδομένων και στην ευκολία χρήσης αυτών. Επίσης πολλοί εμπορικοί αισθητήρες συνδυάζουν πολλαπλούς αισθητήρες ατμοσφαιρικών ρύπων, σε ένα σύστημα και συχνά περιλαμβάνουν αισθητήρες για μη ρυπογόνους παραμέτρους όπως η υγρασία ή η θερμοκρασία. Συνοψίζοντας λοιπόν τα κοινά βασικά στοιχεία και λειτουργίες που εντοπίζονται σε έναν αισθητήρα είναι τα εξής(Lewis, 2018):

- Το στοιχείο ανίχνευσης ή ο ανιχνευτής
- Η δυνατότητα δειγματοληψίας π.χ αντλία
- Συστήματα ισχύος, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών και της σταθεροποίησης τάσης/ισχύος
- Επεξεργασία σήματος αισθητήρα
- Τοπική αποθήκευση δεδομένων
- Δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων (WiFi, GPRS, 3/4G κ.λπ.)
- Λογισμικό διακομιστή για την επεξεργασία δεδομένων
- Στέγαση και προστασία από καιρικές συνθήκες





Εικόνα 2.4: Σύστημα αισθητήρων με περίβλημα με τον υποστηρικτικό του εξοπλισμό

### 2.2.3 Η Απόδοση Των Αισθητήρων

Για να είμαστε σε θέση να μπορούμε να αξιολογήσουμε την απόδοση των αισθητήρων, χρησιμοποιούμε μια σειρά από παραμέτρους. (SUGATO GHOSH, 2012)

- **Ευαισθησία:** Η ευαισθησία είναι η μεταβολή του μετρούμενου σήματος ανά μονάδα συγκέντρωσης αναλυτή, δηλαδή η κλίση ενός διαγράμματος βαθμονόμησης.
- **Επιλεκτικότητα:** Η επιλεκτικότητα αναφέρεται στα χαρακτηριστικά που καθορίζουν αν ένας αισθητήρας μπορεί να ανταποκριθεί στο να παρακολουθεί επιλεκτικά το αέριο το οποίο έχει προγραμματιστεί να παρακολουθεί, λόγω των πολλών κοινών χαρακτηριστικών που μπορεί να έχουν πολλοί ρύποι, π.χ το Διοξείδιο του νατρίου μπορεί να επηρεάσει ένα αισθητήρα διοξειδίου του θείου.
- **Σταθερότητα:** Σταθερότητα είναι η ικανότητα ενός αισθητήρα να παρέχει αναπαραγώγιμα αποτελέσματα για ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτό περιλαμβάνει τη διατήρηση της ευαισθησίας, της επιλεκτικότητας, της απόκρισης και του χρόνου αποκατάστασης.
- **Όριο Ανίχνευσης:** Το όριο ανίχνευσης αποτελεί την χαμηλότερη συγκέντρωση του αναλυτή που μπορεί να ανιχνευθεί από αισθητήρες, υπό δεδομένες συνθήκες, ιδίως σε δεδομένη θερμοκρασία.
- **Δυναμικό Εύρος:** Δυναμικό εύρος είναι το εύρος συγκέντρωσης του αναλυτή μεταξύ ορίου ανίχνευσης και της υψηλότερης οριακής συγκέντρωσης.

- **Γραμμικότητα:** Γραμμικότητα είναι η σχετική απόκλιση μιας πειραματικά προσδιοριζόμενης βαθμονόμησης από μια ιδανική ευθεία γραμμή.
- **Ανάλυση:** Ανάλυση είναι η χαμηλότερη διαφορά συγκέντρωσης που μπορεί να διακριθεί από έναν αισθητήρα.
- **Επαναληψιμότητα:** Επαναληψιμότητα είναι η ικανότητα ενός αισθητήρα να αναπαράγει τις ίδιες ενδείξεις εξόδου, όταν του εφαρμόζεται διαδοχικά η ίδια μετρούμενη ποσότητα, υπό τις ίδιες συνθήκες και ίδια κατεύθυνση.
- **Χρόνος Απόκρισης:** Ο χρόνος απόκρισης είναι ο χρόνος που απαιτείται από για να ανταποκριθεί ένας αισθητήρας σε ένα βήμα συγκέντρωσης, μεταβολής από το μηδέν σε μια ορισμένη τιμή συγκέντρωσης.
- **Χρόνος αποκατάστασης:** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα του αισθητήρα για να επανέλθει στην αρχική του τιμή, μετά από μια βηματική μεταβολή της συγκέντρωσης από μια ορισμένη τιμή στο μηδέν.
- **Ταχύτητα απόκρισης:** Είναι ο χρόνος στον οποίο η έξοδος φτάνει στο 63% της τελικής τιμής σε απόκριση σε βηματική αλλαγή της μετρούμενης τιμής.
- **Θερμοκρασία λειτουργίας:** Είναι η θερμοκρασία που συνήθως αντιστοιχεί στη μέγιστη ευαισθησία.
- **Υστέρηση:** Είναι η μέγιστη διαφορά στην έξοδο όταν προσεγγίζεται η τιμή με ένα αυξανόμενο και ένα μειούμενο εύρος συγκέντρωσης του αναλυτή.
- **Κύκλος ζωής:** Είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία ο αισθητήρας θα λειτουργεί συνεχόμενα.

### 2.2.3.1 Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους Για Αέριους Ατμοσφαιρικούς Ρύπους

Οι πιο κοινοί αέριοι ρύποι που μετριοούνται από τους αισθητήρες είναι το μονοξείδιο του νατρίου (NO), το διοξείδιο του νατρίου (NO<sub>2</sub>), το όζον (O<sub>3</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και σε πιο περιορισμένο βαθμό, το σύνολο των πτητικών οργανικών ουσιών (VOC). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι/αντιδραστικά αέρια ανιχνεύονται είτε μέσω ηλεκτροχημικών αισθητήρων(EC), είτε με αισθητήρες ημιαγωγών οξειδίου μετάλλου (MOS) ή μικροσκοπικούς ανιχνευτές φωτοϊονισμού (PID).

#### Ηλεκτροχημικοί Αισθητήρες

Στους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες, ο ρύπος υφίσταται ηλεκτροχημική αντίδραση, που ως αποτέλεσμα έχει ένα σήμα να εκδηλώνεται ως ρεύμα το οποίο σχετίζεται με τη συγκέντρωση του αέριου που μετράει. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των ηλεκτροχημικών αισθητήρων εξαρτάται από τον ρύπο τον οποίο μετράει, καθώς επιπλέον έχει αποδειχθεί ότι οι αισθητήρες παρουσιάζουν παρεμβολές λόγω της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας, όπου και για αυτό τον λόγο απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις προκειμένου να ληφθούν αξιόπιστα αποτελέσματα (Spinelle, Gerboles and Aleixandre, 2015; Castell *et al.*, 2017; Cross *et al.*, 2017)

#### Αισθητήρες Οξειδίου μετάλλου

Οι αισθητήρες οξειδίου του μετάλλου διαθέτουν ένα εκτεθειμένο επιφανειακό φιλμ πάνω στο οποίο προσροφάται το στοχευόμενο αέριο, η διαδικασία αυτή στη συνέχεια οδηγεί στην αλλαγή της αγωγιμότητας ή της αντίστασης του ίδιου του φιλμ. Η μικρή αυτή μεταβολή στην

αγωγιμότητα/αντίσταση μετριέται και αντιστοιχεί στην συγκέντρωση του αερίου στην επιφάνεια. Η σχέση αυτή είναι μη γραμμική στη φύση και οι αισθητήρες αυτοί έχουν κάποια ευαισθησία στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και στις παρεμβολές από άλλα αέρια που μπορεί να υπάρχουν.(Wetchakun *et al.*, 2011; Peterson *et al.*, 2017; Rai *et al.*, 2017)

### Αισθητήρες Φωτοϊονισμού

Οι αισθητήρες φωτοϊονισμού συνήθως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές χαμηλού κόστους αισθητήρων και χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία για να διασπάσει τα οργανικά μόρια καθώς ιονίζονται, προκαλείται ένα μικρό ρεύμα και μετριέται από τον αισθητήρα. Οι λαμπτήρες έχουν συγκεκριμένα ενεργειακά επίπεδα φωτονίων και οι ενώσεις που έχουν παρόμοιες ή χαμηλότερες ενέργειες ιονισμού μπορούν να ιονιστούν και να ανιχνευθούν

### NO

Η πιο κοινή μέθοδος αξιολόγησης για την απόδοση των αισθητήρων, είναι η παράλληλη τοποθέτηση αισθητήρων με υπάρχοντα όργανα αναφοράς. Οι συγκρίσεις γίνονται συχνά με τη χρήση στατιστικών στοιχείων παλινδρόμησης, που συνήθως αναφέρεται ως  $R^2$  (Συντελεστής προσδιορισμού), από μια τομή και την κλίση. Αυτή η σύγκριση χρησιμοποιείται συνήθως και για ακαδημαϊκή χρήση, όσο και για εμπορική βιβλιογραφία που περιγράφει εμπορικά συστήματα αισθητήρων. Σύμφωνα με (Jerrett *et al.*, 2017), ένας συγκεκριμένος αριθμός ηλεκτροχημικών αισθητήρων NO, είχε καλή απόδοση σε σχέση με ένα όργανο αναφοράς σε πειράματα θαλάμου(Mead *et al.*, 2013) αλλά και σε σχέση με όργανο αναφοράς σε εξωτερικό χώρο (Jerrett *et al.*, 2017). Άλλες μελέτες επίσης έδειξαν ότι οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες NO παρουσίασαν υψηλή συσχέτιση με τις μετρήσεις περιβάλλοντος που πραγματοποιήθηκαν από όργανα αναφοράς, με αποτελέσματα  $R^2 > 0.7$  (Jiao *et al.*, 2016; Castell *et al.*, 2017), παρόλα αυτά με κάποιες υποεκτιμήσεις για τις απόλυτες συγκεντρώσεις NO από τους αισθητήρες. Μετά την επεξεργασία, οι συγκεντρώσεις των αισθητήρων NO ήταν οι πιο ακριβείς από όλους τους τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις εν λόγω μελέτες (Jiao *et al.*, 2016; Castell *et al.*, 2017)

### NO<sub>2</sub>

Σύμφωνα με την τωρινή βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα για το NO<sub>2</sub> είναι λιγότερο θετικά σε σχέση με το NO καθώς από διάφορες μελέτες (Jiao *et al.*, 2016), ο αισθητήρας NO<sub>2</sub> έδειξε κακή συσχέτιση σε σχέση με το όργανο αναφοράς καθώς η τιμή του  $R^2$  ήταν μικρότερη από 0.25, από 0.25 έως 0.13 (Lewis *et al.*, 2016). Κάποιες άλλες μελέτες έδειξαν ότι οι αισθητήρες υπερεκτιμούν τις συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> (Lewis *et al.*, 2016; Jerrett *et al.*, 2017), ενώ κάποιες άλλες υποεκτιμούσαν τις συγκεντρώσεις του ρύπου(Mead *et al.*, 2013; Moltchanov *et al.*, 2015)

### O<sub>3</sub>

Συχνά αναφέρεται ότι η παρεμβολή του όζοντος αποτελεί πρόβλημα κατά τις μετρήσεις σε αισθητήρες NO<sub>2</sub> (Lin *et al.*, 2015; Lewis *et al.*, 2016; Jerrett *et al.*, 2017), όπως αναφέρθηκε όμως νωρίτερα λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως την θερμοκρασία και την υγρασία, παρατηρούμε καλύτερα αποτελέσματα στην σύγκριση μεταξύ τους(Mead *et al.*, 2013; Jiao *et al.*, 2016). Για μετρήσεις του όζοντος, οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι γρήγοροι (περίπου 60 δευτερόλεπτα), ευαίσθητοι και γραμμικοί (Spinelle, Gerboles and Aleixandre, 2015). Όσον αφορά τους αισθητήρες ημιαγωγού μετάλλου είναι αρκετά ευαίσθητοι (όριο ανίχνευσης < 2ppb) και πιθανότατα δεν επηρεάζονται από διασταυρωμένες ευαισθησίες, παρόλα αυτά είναι πιο αργοί από

τους ηλεκτροχημικού αισθητήρες (>5 λεπτά) (Laurent Spinelle *et al.*, 2016). Κατά την χρήση των ηλεκτροχημικών αισθητήρων O<sub>3</sub> σε αστικό υπόβαθρο και αγροτικές περιοχές, παρατηρήσαμε ότι η σύγκριση του αισθητήρα σε σχέση με το όργανο αναφοράς παρέχουν καλή συσχέτιση με τιμές αναφοράς ( $R^2 > 0.8$ ) σε δειγματολογικές τοποθεσίες όπου η συγκέντρωση του O<sub>3</sub> είναι υψηλότερη σε σχέση με το NO<sub>2</sub>, δεδομένου ότι τα όργανα είχαν ήδη βαθμονομηθεί (Williams *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2015). Ορισμένοι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες O<sub>3</sub> έχει παρατηρηθεί ότι υποεκτιμούν τις απόλυτες συγκεντρώσεις του O<sub>3</sub> σε πειράματα ελεγχόμενου θαλάμου, αλλά παρουσίασαν ισχυρή συσχέτιση με τα όργανα αναφοράς που σημαίνει ότι τα χρονικά πρότυπα εκτιμήθηκαν με ακρίβεια (Castell *et al.*, 2017). Η συνεγκατάσταση σε περιβάλλον με όργανο αναφοράς έδειξε χειρότερη συσχέτιση σε σχέση με του εργαστηρίου, αλλά οι αισθητήρες εξακολουθούσαν να ακολουθούν το χρονικό μοτίβο των οργάνων αναφοράς, με υψηλή γραμμικότητα σε ορισμένες περιπτώσεις (Jiao *et al.*, 2016; Lewis *et al.*, 2016). Σε άλλες υπαίθριες συνεγκαταστάσεις οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες O<sub>3</sub>, απέδειξαν ότι είχαν χειρότερη συσχέτιση σε σχέση με το όργανο αναφοράς (Jiao *et al.*, 2016), συμπεριφέροντας έτσι ότι η απόδοση διαφέρει σημαντικά από αισθητήρα σε αισθητήρα.

### CO

Η συσχέτιση μεταξύ των διάφορων τύπων αισθητήρων CO που είναι τοποθετημένοι σε κοινή θέση με ένα όργανο αναφοράς έχει αναφερθεί ότι μάλλον είναι μεταβλητή στον περιβάλλοντα αέρα, μερικές φορές με φτωχές γραμμικές αποκρίσεις, όταν αφορά εξωτερικούς χώρους (με αποτελέσματα του R<sup>2</sup> από 0.18-0.48) (Jerrett *et al.*, 2017), με τις απόλυτες τιμές συγκεντρώσεις του αισθητήρα CO να μην ταυτίζεται μερικές φορές με τις συγκεντρώσεις αναφοράς, όπου και σε άλλες μελέτες παρατηρήθηκε οι τιμές να είναι μετατοπισμένες σε σχέση με όργανο αναφοράς (Castell *et al.*, 2017; Jerrett *et al.*, 2017). Σύμφωνα με (Jerrett *et al.*, 2017) οι αισθητήρες παρουσίασαν χρονική παρέκκλιση και κάποια απόκλιση του σήματος, αλλά αυτό έχει αποδειχθεί ότι είναι αρκετά συνεπές για να διορθωθεί, επιτρέποντας την βελτίωση των αισθητήρων και τη σύγκριση των μετρήσεων με μετρήσεις αναφοράς

### SO<sub>2</sub>

Το SO<sub>2</sub> μετριέται σπάνια από όργανα χαμηλού κόστους λόγω προβλημάτων με το όριο ανίχνευσης σε πολλά περιβάλλοντα. Σε τοποθεσίες όπου έχουν εφαρμοστεί πολιτικές μεγάλης κλίμακας με γνώμονα προσπάθειες μετριασμού (Ηνωμένες Πολιτείες, μεγάλο μέρος της Ευρώπης), τα επίπεδα SO<sub>2</sub> έχουν μειωθεί κάτω από τα ρυθμιζόμενα όρια και έτσι οι μετρήσεις των χαμηλών κόστους αισθητήρες είναι συχνά αναποτελεσματικές. Μελέτες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε τέτοιες περιοχές παρουσίασαν μικρή συσχέτιση με το όργανο αναφοράς (συνήθως με SO<sub>2</sub> < 5ppb) (Borrego *et al.*, 2016). Ωστόσο πρόσφατη βιβλιογραφία (Hagan *et al.*, 2018) έχει δείξει ελπιδοφόρα αποτελέσματα για τους αισθητήρες, για περιβάλλοντα όπου τα επίπεδα συγκεντρώσεων του SO<sub>2</sub> είναι αρκετά υψηλά, το οποίο θα μπορούσε να είναι σχετικό για πολλές χώρες όπου η αναπτυσσόμενη οικονομία τους βασίζεται ακόμα σε υψηλής σε περιεκτικότητα καύσιμα SO<sub>2</sub>, περιοχές με μεγάλη παρουσία βιομηχανιών που εκπέμπουν SO<sub>2</sub> και περιοχές κοντά σε μεγάλες σημειακές πηγές SO<sub>2</sub>, όπως τα ηφαίστεια. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις οι αισθητήρες για το SO<sub>2</sub> έχουν αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικές όταν οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα 10 ppb.

### 2.2.3.2 Αισθητήρες Χαμηλού Κόστους Για Αέρια Σωματίδια PM

Οι μετρήσεις των σωματιδίων, όταν κατηγοριοποιούνται στα διάφορα μεγέθη τους, είναι πολύ πιο πολύπλοκες από ότι οι μετρήσεις των αερίων, και εξαρτώνται από μια σειρά παραγόντων που διαφέρουν για διαφορετικές μετρήσεις, μεθοδολογίες και διαφορετικούς τύπους σωματιδίων (χημική σύνθεση, πυκνότητα, σχετική υγρασία, δείκτης διάθλασης, σχήμα και κατανομή μεγέθους). Η πιο σύνηθες τεχνική μέτρησης των συγκεντρώσεων σωματιδίων βασίζεται στην οπτική (με βάση τη σκέδαση του φωτός), οι οποίες χρησιμοποιούν μια πηγή φωτός χαμηλής ισχύος- είτε ένα Led ή ένα λέιζερ όπου τα σωματίδια που συλλέγονται σκεδάζουν φως που μετρείται από μια συσκευή φωτοανίχνευσης. Η συγκέντρωση που μετρείται είναι ανάλογη της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός, της πυκνότητας και του μεγέθους των σωματιδίων. Το όριο ανίχνευσης των περισσότερων συσκευών σκέδασης φωτός χαμηλού κόστους για αριθμό σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 400-10000 nm και είναι γενικά μη ευαίσθητο σε σωματίδια εκτός αυτού του εύρους(Wang *et al.*, 2010). Η πιο σημαντική όμως μεταβλητή παρεμβολής για αυτού του είδους αισθητήρες, σχετίζεται με το νερό και φαίνονται επιρρεπείς σε μεταβλητές και απρόβλεπτες επιδόσεις σε συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας. Πρόσφατες μελέτες υποδηλώνουν υποβάθμιση της απόδοσης όταν η σχετική υγρασία υπερβαίνει το 80-85%(Crilly *et al.*, 2018), καθώς είναι επίσης πιθανό να υπάρχουν επιδράσεις της χημικής σύνθεσης που σχετίζονται με την υγροσκοπιμότητα των σωματιδίων και αλληλοεπιδρούν με την επίδραση της υγρασίας. Προς το παρόν αυτό είναι ένα αναδυόμενο πεδίο μελέτης, αλλά σαφώς είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να επιλυθεί για μελλοντικές πιθανές μελέτες αισθητήρων χαμηλού κόστους σωματιδίων PM, δεδομένου ότι καθιστά την βαθμονόμηση τέτοιων συσκευών να εξαρτώνται από την σύνθεση τους.

### 2.2.4 Εφαρμογές Μετρήσεων Με Συσκευές Χαμηλού Κόστους

- Σύμφωνα με τους (Castell *et al.*, 2017), στα πλαίσια της έρευνας αυτής αξιολογήθηκε ο εμπορικός αισθητήρας χαμηλού κόστους (AQMesh v3.5) για μετρήσεις αερίων ρύπων (NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO) και για αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>). Κατά τη διάρκεια της έρευνας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε εργαστήριο με ανιχνεύσιμα πρότυπα αέρια σε ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, καθώς και στο πεδίο όπου είχαν τοποθετηθεί 24 κόμβοι AQMesh μαζί με όργανα αναφοράς και δοκιμάστηκαν σε πραγματικές συνθήκες για 6 μήνες (Απρίλιος-Σεπτέμβριος 2015). Κατά τις μετρήσεις του εργαστηρίου εντοπίστηκαν υψηλές συσχετίσεις για όλους τους αέριους ρύπους ( $r > 0.9$ ), αφού βρισκόντουσαν υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ενώ οι μετρήσεις στο πεδίο έδειξαν σημαντικά χαμηλότερη συσχέτιση. Τα αποτελέσματα αυτά σαφώς δείχνουν ότι μια καλή απόδοση στο εργαστήριο δεν είναι ενδεικτική μιας καλής απόδοσης σε πραγματικές συνθήκες. Αναλυτικότερα, τα σωματίδια αξιολογήθηκαν μόνο στο πεδίο, όπου παρατηρήθηκε ότι υπάρχει καλύτερη συμφωνία σε τοποθεσίες με χαμηλή κυκλοφορία, από ότι σε τοποθεσίες με υψηλή κυκλοφορία, το οποίο μπορεί να σχετίζεται με τους συντελεστές μετατροπής που χρησιμοποιούνται από τον κατασκευαστή της πλατφόρμας AQMesh, στα δεδομένα OPC, κατά την μετατροπή των μετρούμενων συγκεντρώσεων των αριθμών των σωματιδίων σε συγκεντρώσεις μάζας.

Το κύριο πρόβλημα που εντοπίστηκε στους αισθητήρες αφορά την ανθεκτικότητα και την επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εργαστηριακή βαθμονόμηση δεν αρκεί για να διορθώσει τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στον περιβάλλοντα αέρα και ότι είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά.

- Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη σύμφωνα με (Spygopoulos, Nastos and Moustiris, 2021), οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ένα όργανο χαμηλού κόστους το οποίο κατασκευάστηκε από Ελληνική ιδιωτική εταιρία και το σύγκριναν με τις μετρήσεις ενός σταθερού σταθμού. Το όργανο υποστηρίζει την ανίχνευση μιας ποικιλίας συγκεντρώσεων αερίων με τη χρήση της Alphasense Ltd, ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και έναν οπτικό μετρητή σωματιδίων (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>). Ο σκοπός της εργασίας είχε δυο μέρη, το πρώτο μέρος αφορούσε την αξιολόγηση των μετρούμενων συγκεντρώσεων και το δεύτερο μέρος, η αξιολόγηση των πληροφοριών μέσω της εφαρμογής του γνωστού δείκτη της ποιότητας του αέρα AQI. Κατά την αξιολόγηση της απόδοσης της συσκευής, παρατηρήθηκε ότι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν εξαρτώνται από τον παράγοντα του σε τι βαθμό θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα, καθώς και οι πληροφορίες που θα προκύψουν.

Τα κύρια αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν, πως αν κάποιος επιλέξει να χρησιμοποιήσει μια τέτοια συσκευή για να τον προσδιορισμό της ποιότητας της ατμόσφαιρας μέσω διαφορετικών επιπτώσεων στην υγεία, τότε η συσκευή χαμηλού κόστους είναι σε θέση να ανταποκριθεί στο σκοπό αυτό. Θα πρέπει να σημειωθεί παρόλα αυτά, ότι όπως αναφέρουν και οι συγγραφείς, ότι σε κάποια μελλοντική έρευνα η διάρκεια της περιόδου των μετρήσεων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη για να αξιολογηθούν τα όργανα σε ακραίες καιρικές συνθήκες, διαφορετικές εποχές και να μελετηθεί σε βάθος η συμπεριφορά του οργάνου σε διάφορα ατμοσφαιρικά φαινόμενα.

- Σε μια διαφορετική είδους μελέτη η οποία έγινε στην Νορβηγία από τους (Hassani *et al.*, 2023), χρησιμοποιήθηκαν 10 όργανα χαμηλού κόστους για αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>2.5</sub>) τα οποία ήταν τοποθετημένα σε ποδήλατα, τα οποία χρησιμοποίησαν πολίτες με σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης των οργάνων υπό διάφορες συνθήκες καθώς και για να γίνουν προτάσεις για το πως μπορούν να συνεισφέρουν οι πολίτες στην επιστήμη με την χρήση αυτών των οργάνων. Στα συμπεράσματα της μελέτης οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το δίκτυο ποδηλάτων που χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής της ρύπανσης από σωματίδια PM<sub>2.5</sub> ήταν επιτυχημένο, καθώς επίσης πρότειναν μια μέθοδο για να προσδιορίσουν τον ελάχιστο αριθμό μετρήσεων που απαιτούνται ανά οδικό τμήμα για τη διασφάλιση της αντιπροσωπευτικότητας των δεδομένων, η οποία μπορεί να φανεί χρήσιμη για το σχεδιασμό δικτύων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα.
- Αρκετές είναι οι έρευνες όπου έχουν χρησιμοποιήσει όργανα AQMesh (Borrego *et al.*, 2016; Castell *et al.*, 2017, 2018; De Vito *et al.*, 2020), όπου στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα όργανα τα οποία τοποθετήθηκαν σε δυο διαφορετικές περιοχές μελέτης και είχε προηγηθεί βαθμονόμηση με σταθμούς αναφοράς. Οι μετρήσεις που έλαβαν για τον ρύπο NO<sub>2</sub> αναφέραν τιμές για τον συντελεστή ( $R^2$ ) πριν την προκλιμάκωση όπου ήταν της τάξης  $0.76 \pm 0.13$  (μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση) οι οποίες είναι ελαφρώς υψηλότερες από τις τιμές  $R^2$  οι οποίες αναφέρθηκαν από (Wahlborg, Björning and Mattsson, 2021). Σύμφωνα

με την έρευνα από τους (Castell *et al.*, 2018), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τα όργανα AQMesh για την μέτρηση της συγκέντρωσης NO<sub>2</sub> έξω από παιδικούς σταθμούς στη Νορβηγία, κατέληξαν σε τιμές R<sup>2</sup> της τάξης του 0.89, υποδεικνύοντας υψηλή συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων δεδομένων και των δεδομένων που λαμβάνονται από σταθμούς αναφοράς. Σύμφωνα με τον (Castell *et al.*, 2017) η ακρίβεια του AQMesh εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μετρούμενη συγκέντρωση και θα πρέπει να επιδεικνύεται προσοχή κατά τη σύγκριση των συσχετίσεων μεταξύ διαφόρων μελετών που έχουν διεξαχθεί υπό διαφορετικές συνθήκες και συγκεντρώσεις.

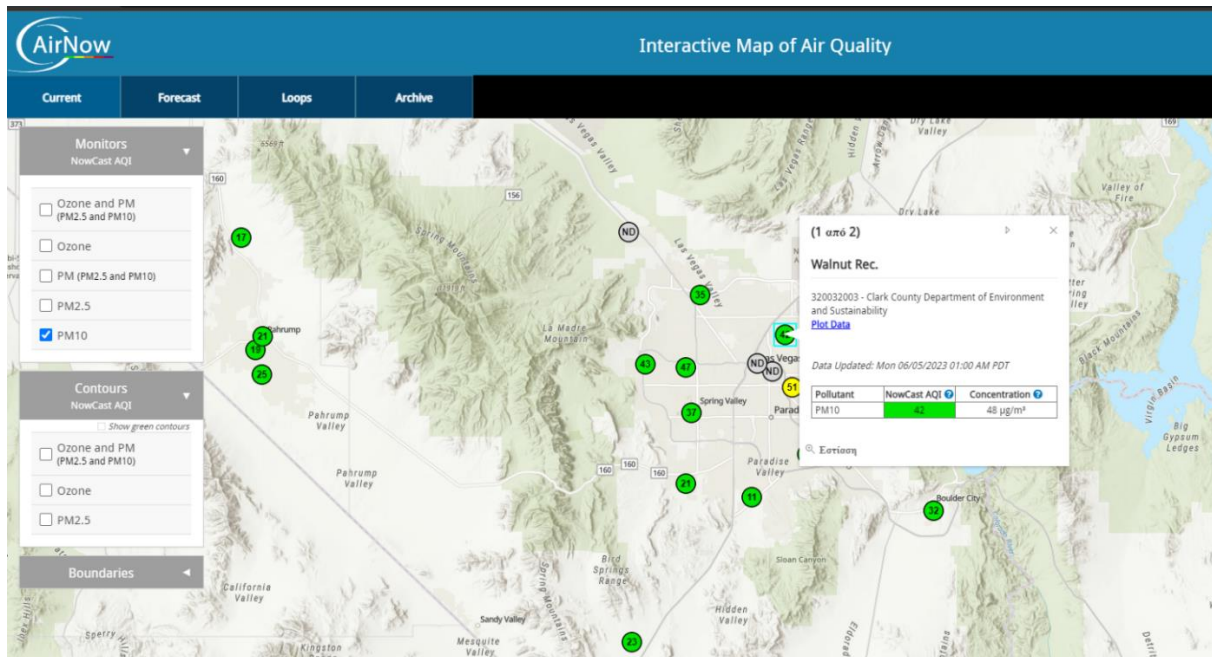
## 2.3 Χρήση Χαρτών Για Την Καταγραφή Της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

### Διαδραστικός χάρτης AirNow

Η AirNow είναι μια πηγή δεδομένων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, για την αναφορά της ποιότητας του αέρα χρησιμοποιεί τον επίσημο δείκτη ποιότητας του αέρα των ΗΠΑ (AQI), ένας δείκτης ο οποίος με χρωματική κωδικοποίηση ενημερώνει με έναν πιο εύκολο τρόπο το κοινό εάν η ποιότητα του αέρα είναι υγιής ή ανθυγιεινή για αυτόν. Η AirNow είναι μια σύμπραξη της υπηρεσίας προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ, της εθνικής υπηρεσίας ωκεανών και ατμόσφαιρας (NOAA), της υπηρεσίας εθνικού πάρκου, της NASA, των κέντρων ελέγχου ασθενειών, καθώς και πολιτειακές και τοπικές υπηρεσίες ποιότητας του αέρα. Φορείς σε όλη τη χώρα στέλνουν τα δεδομένα παρακολούθησης στην AirNow για προβολή. Καθώς το υπουργείο εξωτερικών παρέχει δεδομένα από τις πρεσβείες και τα προξενεία των ΗΠΑ για την ενημέρωση του προσωπικού και των πολιτών στο εξωτερικό, ενώ η δασική υπηρεσία των ΗΠΑ και η NOAA παρέχουν δεδομένα για τις πυρκαγιές και τον καπνό. (About AirNow | AirNow.gov, 2023)

Στον ιστότοπο της AirNow αυτή τη στιγμή μπορείς να βρεις:

- Διαδραστικούς χάρτες ποιότητας του αέρα για την τωρινή κατάσταση καθώς και προβλέψεις, και δεδομένα για πάνω από 500 πόσεις στις ΗΠΑ. Μέσω φίλτρα όπου περιλαμβάνουν οι χάρτες μπορείς να επιλέξεις τον ρύπο που θέλεις εσύ να παρακολουθήσεις μεταξύ (σωματιδίων PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, και του όζοντος.)
- Τρέχουσες συνθήκες πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένων των θέσεων πυρκαγιάς, των πλουμίων καπνού.
- Δεδομένα ποιότητας αέρα για τον Καναδά και το Μεξικό.



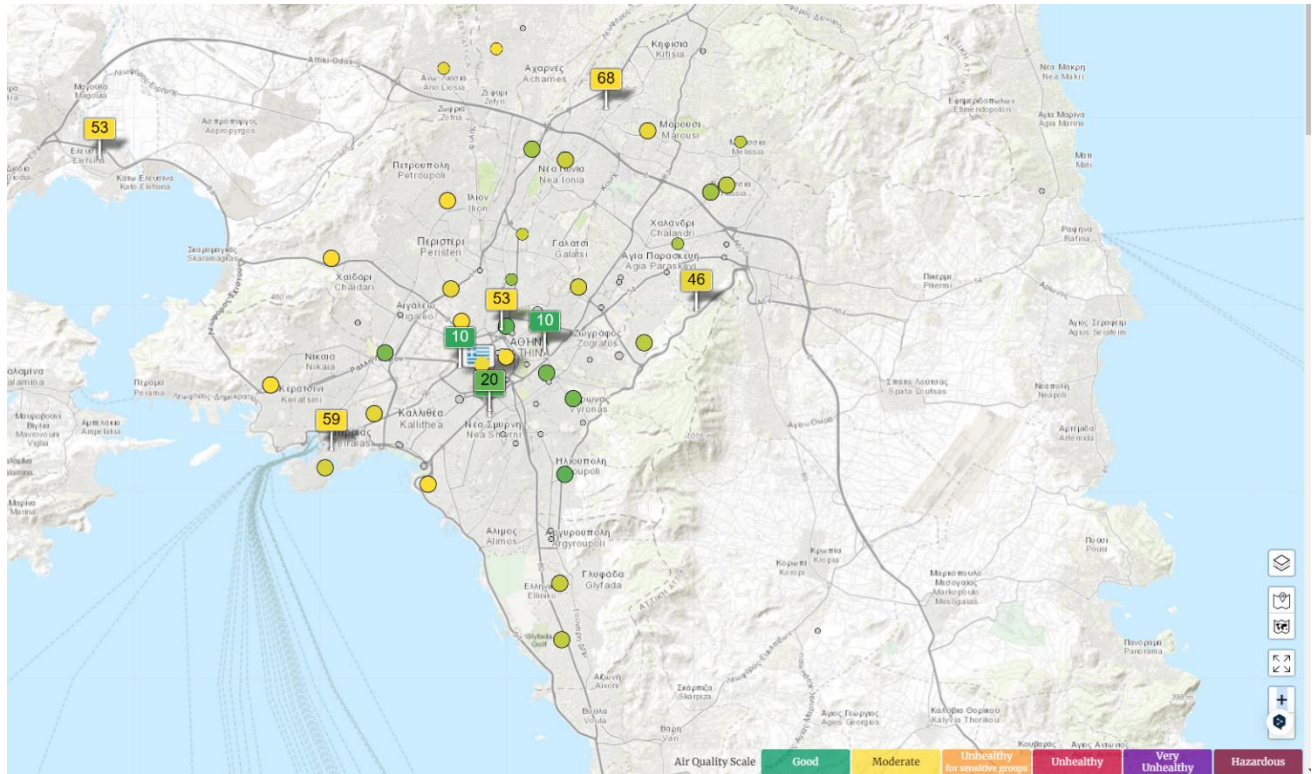
Εικόνα 2.5: Απεικόνιση του Ιστότοπου AirNow (Πηγή: AirNOW,2023)

### World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index

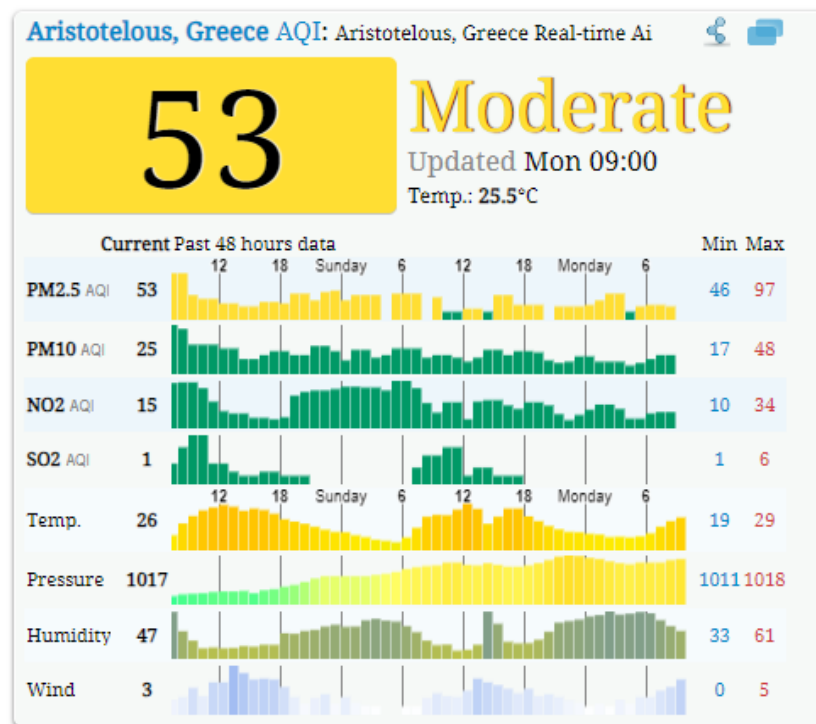
Το World Air Quality Index είναι ένα μη κερδοσκοπικό έργο που ξεκίνησε το 2007. Αποστολή του είναι να προάγει την ευαισθητοποίηση των πολιτών για την ατμοσφαιρική ρύπανση και να παρέχει μια ενοποιημένη και παγκόσμια πληροφόρηση για την ποιότητα του αέρα. Το έργο παρέχει διαφανείς πληροφορίες για την ποιότητα του αέρα για περισσότερες από 130 χώρες, καλύπτοντας περισσότερους από 30.000 σταθμούς σε 2000 μεγάλες πόλεις, μέσω αυτών των δύο ιστότοπων: [aqicn.org](http://aqicn.org) και [waqi.info](http://waqi.info). Όπως θα δούμε και από τις φωτογραφίες, ο ιστότοπος παρέχει πληροφορίες για όλους τους αέριους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα αέρια σωματίδια, καθώς και για μεταβλητές οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν τις μετρήσεις όπως είναι, η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, και την ταχύτητα του ανέμου. Η αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα γίνεται πάλι μέσω του δείκτη AQI.



## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



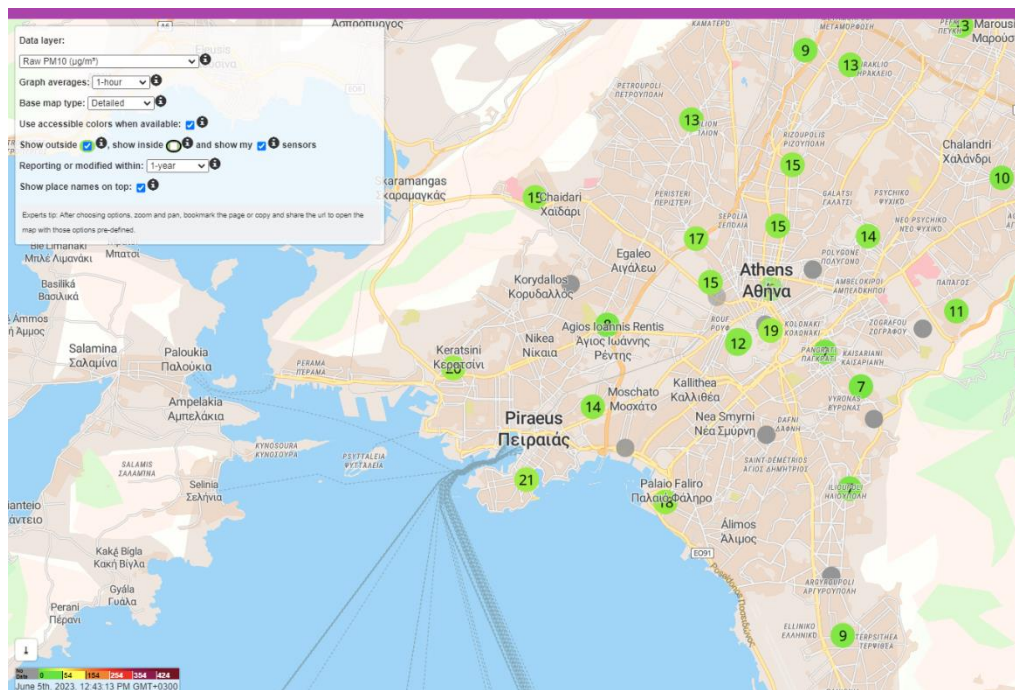
Εικόνα 2.6: Απεικόνιση διαδραστικού χάρτη της waqi (πηγή: Waqi,2023)



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση δεδομένων Χάρτη waqi (πηγή: Waqi,2023)

## PurpleAir

Η PurpleAir είναι μια εταιρία που κατασκευάζει αισθητήρες χαμηλού κόστους, και η διαφορά σε σχέση με τους 2 προηγούμενους διαδραστικούς χάρτες είναι ότι χρησιμοποιεί δεδομένα από όργανα της PurpleAir τα οποία έχουν τοποθετηθεί από οργανισμούς είτε από πολίτες που έχουν στην κατοχή τους ένα τέτοιο όργανο και το έχουν εγκαταστήσει βάσει τις οδηγίες που δίνονται από τον ιστότοπο. Οι αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν την συγκέντρωση των αιρούμενων σωματιδίων (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) και η αξιολόγηση των δεδομένων γίνεται μέσω του δείκτη AQI.



Εικόνα2.8: Απεικόνιση διαδραστικού χάρτη PurpleAir (πηγή: Purple Air, 2023)

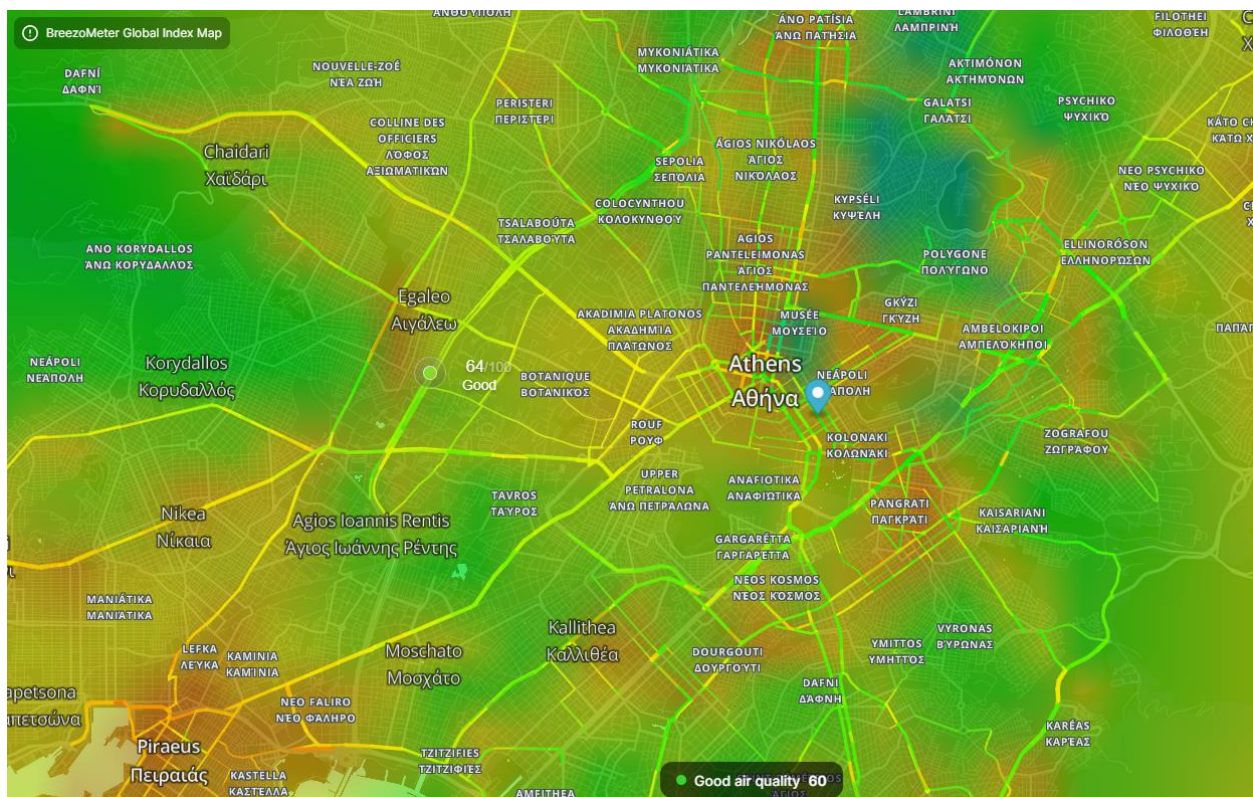


Εικόνα 2.9: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη PurpleAir (Purple Air, 2023)

## **Breezometer**

Η Breezometer είναι μια πλατφόρμα η οποία παρέχει ποιοτικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, και διαδραστικούς χάρτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης παγκοσμίως. Οι χάρτες αυτού παρέχουν αναλυτικές πληροφορίες για την ποιότητα της ατμόσφαιρας, και παρέχει πληροφορίες για τους εξής ρύπους, αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> και NO.

Μέσω της πλατφόρμας μπορείς να έχεις δεδομένα για μέχρι πριν 1 μήνα καθώς επίσης αναφέρει ποιος είναι ο επικρατέστερος ρύπος που μολύνει αυτή τη στιγμή την περιοχή που έχεις επιλέξεις, καθώς και παρέχει αναλυτικά διαγράμματα στα οποία αναφέρονται πληροφορίες όπως πόσες φορές οι συγκεντρώσεις ενός ρύπου ξεπέρασαν τα προτεινόμενα όρια τα οποία έχουν τεθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας (WHO).



**Εικόνα 2.10: Απεικόνιση διαδραστικού χάρτη Breezometer (πηγή: Breezometer, 2023)**

Πολυρύπανση	Μέτρηση
PM <sub>10</sub> DOMINANT POLLUTANT	45 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	33 ppb
O <sub>3</sub>	30 ppb
CO	201 ppb
SO <sub>2</sub>	1 ppb
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0 µg/m <sup>3</sup>
NO	11 ppb

**Εικόνα 2.11: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη Breezometer (Πηγή: Breezometer, 2023)**

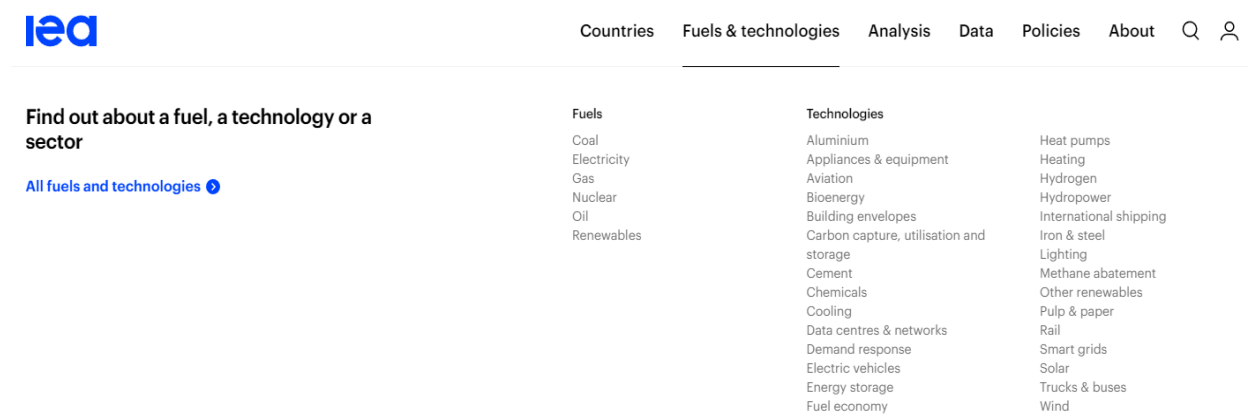
## 2.4 Βάσεις Δεδομένων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων για την ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση αυτού του παγκόσμιου προβλήματος. Οργανισμοί και πρωτοβουλίες όπως η Διεθνής Ενέργειας Υπηρεσία (International Energy Agency - IEA), η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency - EEA), ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Στατιστικής (Eurostat) και το πρόγραμμα Copernicus αποτελούν σημαντικές πηγές δεδομένων για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτοί οι φορείς συλλέγουν πληροφορίες από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες, περιβαλλοντικά δίκτυα παρακολούθησης, και δορυφορικές παρατηρήσεις, προσφέροντας σημαντική γνώση για την ποιότητα του αέρα, τις εκπομπές, τις πηγές ρύπανσης και τις επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Η προσβασιμότητα σε αυτές τις βάσεις δεδομένων παρέχει στις κυβερνήσεις, τους επιστήμονες και το κοινό τη δυνατότητα να αναλύουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, να προωθήσουν την περιβαλλοντική προστασία και να αναπτύξουν αποτελεσματικές πολιτικές για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

### IEA

Η διεθνής υπηρεσία ενέργειας εστιάζει στις εκπομπές αερίων του ενεργειακού τομέα, παρέχοντας αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή ενέργειας, την κατανάλωση, τις τάσεις και τις εκπομπές των αερίων. Αυτό την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στην ενέργεια και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Κατά την πλοήγηση στον ιστότοπο, μπορεί κάποιος να βρει δεδομένα για όλες τις ηπείρους του κόσμου και πιο συγκεκριμένα μπορεί

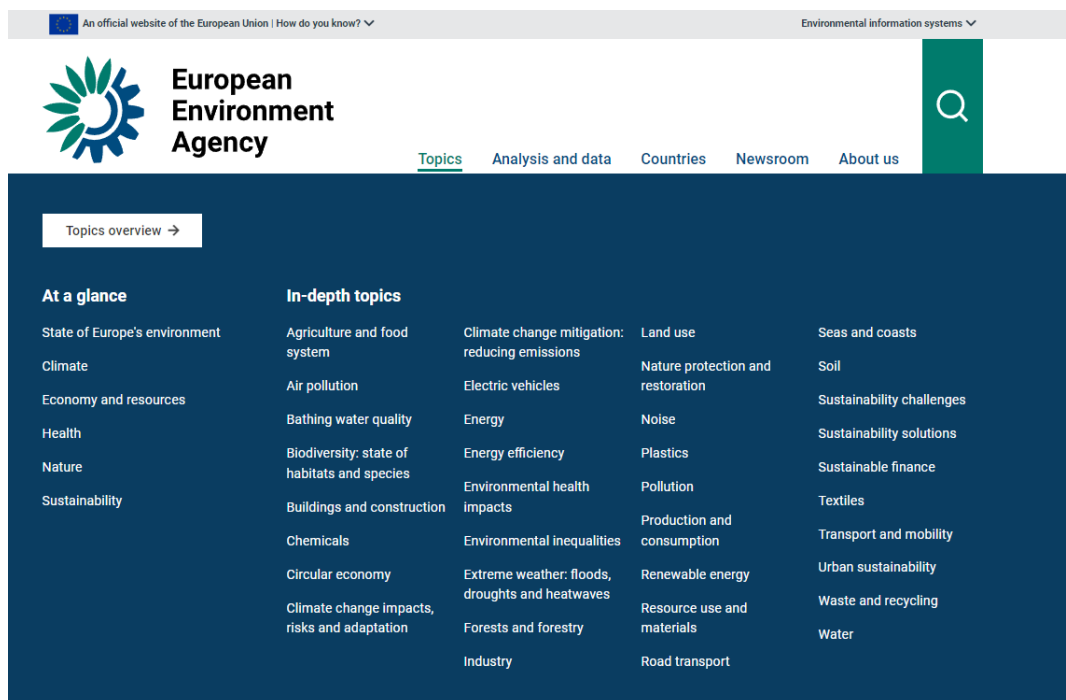
κάποιος να βρει δεδομένα όπως τις τάσεις για την παραγωγή ενέργειας που χρησιμοποιεί κάθε χώρα, τις πολιτικές που έχει θεσπίσει κάθε χώρα όσον αφορά τα περιβαλλοντικά θέματα, καθώς και για θέματα ενέργειας



**Εικόνα 2.12: Απεικόνιση περιβάλλοντος ιστότοπου ΙΕΑ (Πηγή:ΙΕΑ,2023)**

### **ΕΕΑ (Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος)**

Ο ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environment Agency - EEA) παρέχει μια ευρεία γκάμα πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Μέσω αυτού, μπορεί κανείς να βρει αναλυτικά δεδομένα για την ποιότητα του αέρα σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, καθώς και πληροφορίες για τις εκπομπές αερίων και τις πηγές ρύπανσης. Επίσης περιλαμβάνει εκτενείς αναλύσεις και αναφορές για τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία και το περιβάλλον, παρέχοντας επιστημονική βάση για την κατανόηση των προβλημάτων που προκαλεί η ρύπανση του αέρα. Επιπλέον, μέσω του ιστοτόπου, μπορεί κανείς να παρακολουθεί τις εξελίξεις και τις τάσεις στον τομέα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και να ενημερώνεται για τις πολιτικές πρωτοβουλίες που λαμβάνονται σε ευρωπαϊκό επίπεδο για την προστασία του αέρα και τη βελτίωση της ποιότητάς του. Συνολικά, η ΕΕΑ παρέχει ένα πλούσιο και αξιόπιστο σύνολο πληροφοριών για την ατμοσφαιρική ρύπανση, επιτρέποντας στους χρήστες να ενημερώνονται, να αναλύουν και να δρουν για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη.



Εικόνα 2.13: Απεικόνιση περιβάλλοντος ιστότοπου ΕΕΑ(πηγή:ΕΕΑ,2023)

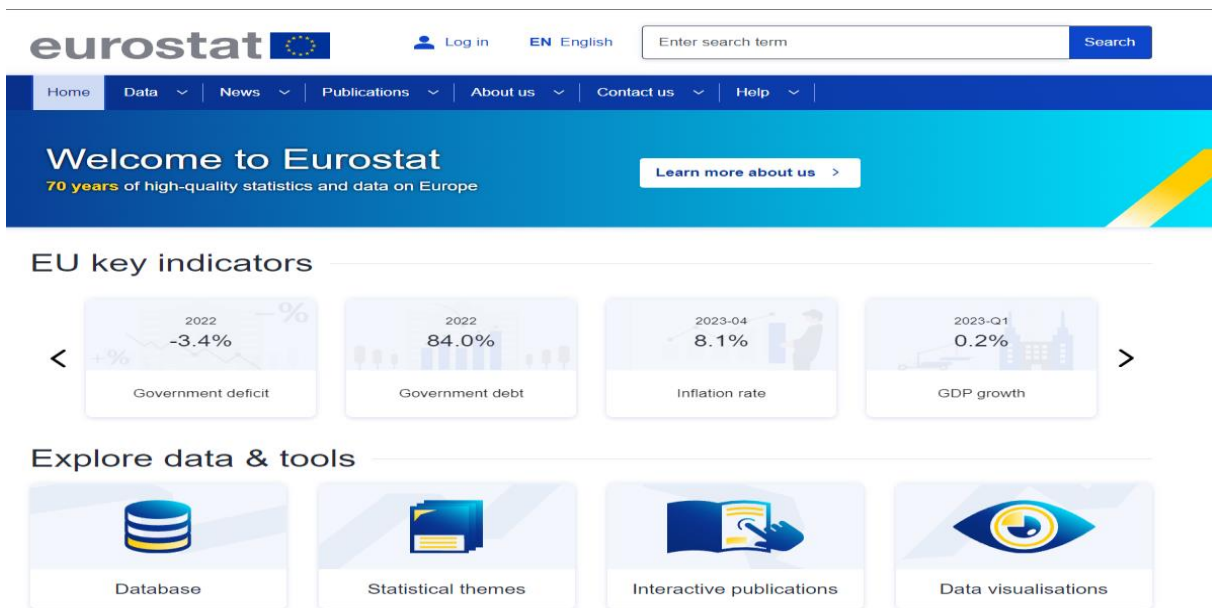
## Eurostat

Η Eurostat είναι η στατιστική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), η οποία παρέχει υψηλής ποιότητας στατιστικές πληροφορίες και δεδομένα για διάφορα θέματα που αφορούν την ΕΕ και τα κράτη μέλη της. Επισκεπτόμενος τον ιστότοπο της Eurostat, κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών, όπως:

- **Περιβαλλοντικοί δείκτες:** Η Eurostat προσφέρει δείκτες που μετρούν διάφορες πτυχές του περιβάλλοντος, όπως η ποιότητα του αέρα και του νερού, η παραγωγή και η διαχείριση αποβλήτων, η βιοποικιλότητα, η χρήση γης και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- **Παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας:** Η Eurostat παρέχει στοιχεία για την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ και τα κράτη μέλη της. Αυτό περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η βιοενέργεια), τις εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας, την ενεργειακή ένταση και την κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα (π.χ. βιομηχανία, νοικοκυριά, μεταφορές).
- **Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου:** Η Eurostat συλλέγει και δημοσιεύει στοιχεία σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Αυτό περιλαμβάνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μεθανίου (CH<sub>4</sub>), οξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και φθοριούχων αερίων. Τα δεδομένα καλύπτουν διάφορους τομείς, όπως η ενέργεια, η βιομηχανία, οι μεταφορές, η γεωργία και τα απόβλητα.
- **Ενεργειακή απόδοση:** Η Eurostat παρέχει στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στην ΕΕ. Αυτό περιλαμβάνει δείκτες όπως

η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας, η ενεργειακή ένταση της οικονομίας και το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας.

- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η Eurostat προσφέρει στοιχεία για την παραγωγή, την κατανάλωση και το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ. Αυτό περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ικανότητα και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, τον αριθμό των εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ενέργειας και τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας σε διάφορους τομείς.
- **Δαπάνες για την προστασία του περιβάλλοντος:** Η Eurostat συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τις δαπάνες προστασίας του περιβάλλοντος από τις κυβερνήσεις και τις βιομηχανίες. Αυτό περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με τις επενδύσεις για τη μείωση της ρύπανσης, τη διαχείριση των αποβλήτων και την περιβαλλοντική έρευνα και ανάπτυξη.
- **Διαχείριση αποβλήτων:** Η Eurostat παρέχει στατιστικά στοιχεία για την παραγωγή, την ανακύκλωση και τη διάθεση αποβλήτων στην ΕΕ. Αυτό περιλαμβάνει στοιχεία για τα αστικά απόβλητα, τα απόβλητα συσκευασίας, τα επικίνδυνα απόβλητα και τις μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων (π.χ. υγειονομική ταφή, αποτέφρωση, ανακύκλωση).
- **Υδατικοί πόροι:** Η Eurostat προσφέρει στοιχεία σχετικά με τους υδάτινους πόρους και τη χρήση νερού στην ΕΕ. Αυτό περιλαμβάνει στατιστικά στοιχεία για την απόληψη νερού, την παροχή και την κατανάλωση νερού, την επεξεργασία λυμάτων και δείκτες υδατικής πίεσης.



Εικόνα 2.14: Απεικόνιση περιβάλλοντος ιστότοπου Eurostat (Πηγή: Eurostat, 2023)

## Copernicus

Το Copernicus είναι ένα πρόγραμμα παρατήρησης της γης, από την Ε.Ε το οποίο παρακολουθεί τον πλανήτη μας και το περιβάλλον του για το όφελος των πολιτών της Ευρώπης. Παρέχει δεδομένα, πληροφορίες, και υπηρεσίες με βάση δορυφορικά δεδομένα παρατήρησης της γης καθώς και (μη διαστημικά) δεδομένα. Το πρόγραμμα χρηματοδοτείται, συντονίζεται και διαχειρίζεται από την Ευρωπαϊκή επιτροπή σε συνεργασία με εταίρους όπως η Ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (ESA), Ευρωπαϊκή Οργάνωση για την Εκμετάλλευση των Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT). Οι υπηρεσίες του Copernicus μετασχηματίζουν τον πλούτο των δορυφορικών και των “επι τόπου” δεδομένων σε έγκαιρες και αξιοποιήσιμες πληροφορίες μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσής τους. Οι υπηρεσίες παρέχουν σύνολα δεδομένων και χρονοσειρές που είναι συγκρίσιμες και αναζητήσιμες, εξασφαλίζοντας ότι οι τάσεις και οι αλλαγές παρακολουθούνται. Τα μοτίβα εξετάζονται και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία καλύτερων προβλέψεων, για παράδειγμα, για τον ωκεανό και την ατμόσφαιρα. Χάρτες προκύπτουν από εικόνες, χαρακτηριστικά και ανωμαλίες, εντοπίζονται και εξάγονται στατιστικές πληροφορίες. Αυτές οι προστιθέμενες αξίες βελτιστοποιούνται μέσω έξι θεματικών ροών της υπηρεσίας του Copernicus, οι οποίες είναι:

- Η υπηρεσία παρακολούθησης της ατμόσφαιρας (CAMS),
- Η υπηρεσία παρακολούθησης του θαλάσσιου περιβάλλοντος (CMEMS),
- Η υπηρεσία παρακολούθησης της γης (CLMS),
- Η υπηρεσία για την κλιματική αλλαγή (C3S),
- Η υπηρεσία έκτακτης ανάγκης CEMS (CEMS)
- Η υπηρεσία ασφάλειας.

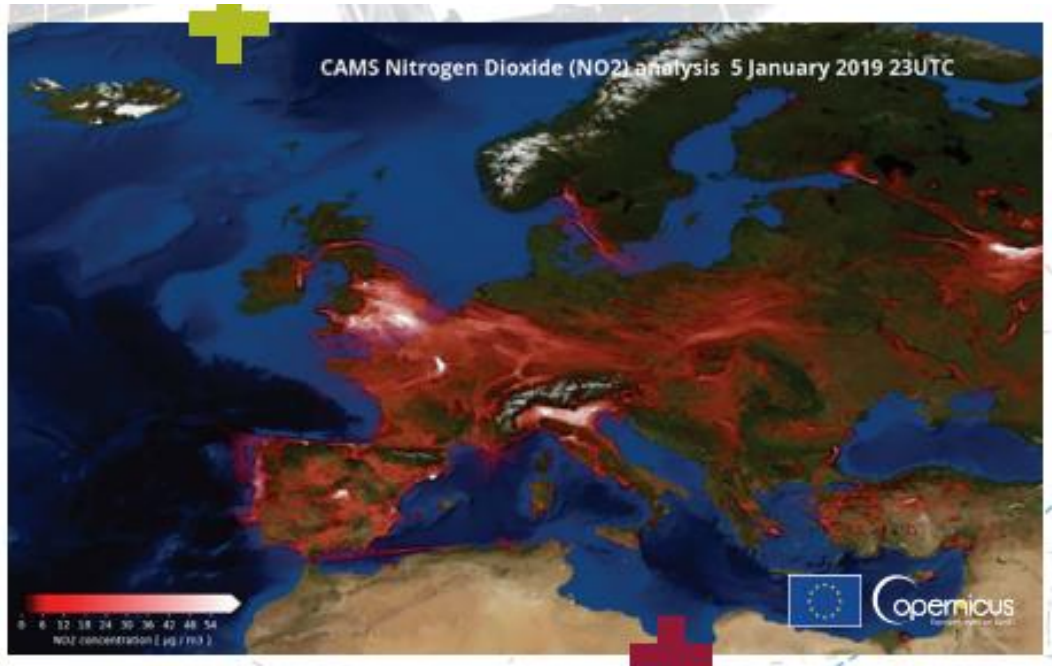
Οι υπηρεσίες πληροφοριών, καθώς και τα δεδομένα από τα οποία προέρχονται, είναι προσβάσιμες σε πλήρη, ελεύθερη και ανοικτή βάση από οποιονδήποτε. Αυτά τα δεδομένα και οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται από τους παρόχους υπηρεσιών, δημόσιες αρχές και διεθνείς οργανισμούς για τη βελτίωση της ποιότητας της ζωής των πολιτών της Ευρώπης και σε όλο τον κόσμο, για την παρακολούθηση και μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και να διατηρήσουμε το εύθραυστο περιβάλλον μας.

### **CAMS**

Η υπηρεσία παρακολούθησης της ατμόσφαιρας (CAMS) παρέχει συνεχή δεδομένα και πληροφορίες σχετικά με την ατμοσφαιρική σύνθεση της ατμόσφαιρας με την παρακολούθηση και πρόβλεψη συστατικών όπως αέρια του θερμοκηπίου, αντιδραστικά αέρια, όζον και αερολύματα. Το CAMS παρέχει συνεπή και ποιοτικά ελεγχόμενες πληροφορίες χρήσιμες για την ανάπτυξη εφαρμογών για την ατμοσφαιρική ρύπανση, την υγεία, την ηλιακή ενέργεια, τα αέρια του θερμοκηπίου και θέματα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή για να βοηθήσουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τις επιχειρήσεις και τους πολίτες να αντιμετωπίσουν περιβαλλοντικές ανησυχίες (European Union Earth Observation Programme, 2019)



Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 2.15: Απεικόνιση περιβάλλοντος υπηρεσίας CAMS από το Copernicus (Πηγή: Copernicus, 2023)**

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Περιγραφή Εξοπλισμού

Κατά την διενέργεια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

δύο (2) συσκευές “Libelium IoT Products - Plug & Sense”.

Ειδικότερα, οι δύο (2) συσκευές “Libelium - Smart Environment PRO” (Εικόνα 3.1.α) έχουν δυνατότητα σύνδεσης μέσω “WiFi” και αισθητήρες για τις μετρήσιμες παραμέτρους: θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>. Ταυτόχρονα, η κάθε συσκευή έχει δυνατότητα σύνδεσης με μικρού μεγέθους φωτοβολταϊκό πλαίσιο, για να λειτουργεί ανεξάρτητα από τη σύνδεση με πηγή τροφοδοσίας – ρεύμα, καθώς επίσης παρέχεται και ένας επιπλέον συσσωρευτής για την παροχή αδιάλειπτης ενέργειας (Εικόνα 3.2β), σε περίπτωση μικρής ή περιορισμένης ηλιοφάνειας. Για τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων, ο εκάστοτε χρήστης θα πρέπει να προγραμματίσει την κάθε συσκευή (σε γλώσσα Python), ορίζοντας το είδος/τύπο του κάθε αισθητήρα, την θύρα στην οποία ο κάθε αισθητήρας είναι τοποθετημένος και τα στοιχεία της ασύρματης διασύνδεσης, καθώς επίσης και να προγραμματίσει πώς θα λαμβάνει τα δεδομένα και πού αυτά θα αποθηκεύονται.



Εικόνα 3.1: (α) Συσκευή “Libelium” με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες και συσκευή μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων, (β). Συσκευή “Libelium” με επιπλέον μπαταρία και φωτοβολταϊκό.

Η συσκευή “Libelium” ζυγίζει μόνο 800g, είναι κατασκευασμένη να λειτουργεί αδιάλειπτα σε συνθήκες θερμοκρασίας από -20 έως και 60oC, τροφοδοτείται με ρεύμα 5V DC, διαθέτει πλήρη προστασία ενάντια σε σκόνες και προστασία για εξωτερικές συνθήκες τυποποίησης IP65, καθώς και πιστοποιημένη αντοχή σε κρούση IK08.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Στην αριστερά πλευρά του οργάνου υπάρχει υποδοχή για την κεραία η οποία είναι ευαίσθητη. Μέσω αυτής λαμβάνουμε το σήμα ίντερνετ ώστε το όργανο να στέλνει τις μετρήσεις στον κεντρικό υπολογιστή.



**Εικόνα 3.2:** Αριστερή πλευρά κεντρικού οργάνου Libelium

Στην δεξιά πλευρά του οργάνου παρατηρούμε ότι υπάρχουν υποδοχές για σύνδεση με usb και σύνδεση με φωτοβολταϊκό. Καθώς επιπλέον υπάρχει και το κουμπί ON/OFF του οργάνου



**Εικόνα 3.3:** Δεξιά πλευρά κεντρικού οργάνου Libelium

Οι προδιαγραφές του είναι οι παρακάτω:

- Υλικό: πολυανθρακικό
- Σφράγιση: πολυουρεθάνη
- Βίδες κάλυψης: ανοξείδωτο ατσάλι
- Προστασία εισόδου: IP65
- Αντοχή σε κρούσεις: IK08
- Ονομαστική τάση μόνωσης AC: 690 V
- Ονομαστική τάση μόνωσης DC: 1000 V
- Χωρίς βαρέα μέταλλα: Ναι
- Αδιάβροχο: true - nach UL 746 C
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (ελάχ.):  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  \*
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (μέγ.):  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  \*
- Κατά προσέγγιση βάρος: 800 g

### 3.1.2 Περιγραφή των αισθητήρων

Οι αισθητήρες παρέχονται με έναν πλαστικό κύλινδρο ως προστατευτικό κατά της βροχής από τον κατασκευαστή τους, αλλά έχοντας την δυνατότητα να αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον για τη μέτρηση των απαραίτητων παραμέτρων.

Παρακάτω απεικονίζονται ποιος ρύπος αντιστοιχεί σε κάθε θέση των υποδοχών των αισθητήρων.

**Θέση A:** Ηλεκτροχημικός αισθητήρας CO

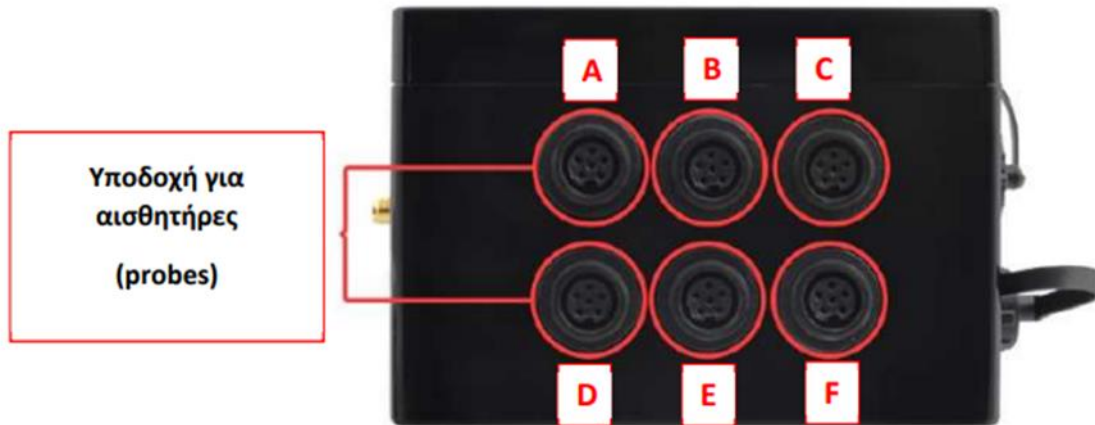
**Θέση B:** Ηλεκτροχημικός αισθητήρας O<sub>3</sub>

**Θέση C:** Ηλεκτροχημικός αισθητήρας NO<sub>2</sub>

**Θέση D:** Αισθητήρας αιρούμενων σωματιδίων PM

**Θέση E :** Αισθητήρας θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης

**Θέση F :** Ηλεκτροχημικός αισθητήρας SO<sub>2</sub>



Εικόνα 3.4: Υποδοχείς αισθητήρων συσκευής Libelium



Εικόνα 3.5 : Δομή αισθητήρα

Οι γενικές προδιαγραφές αισθητήρων παρουσιάζονται παρακάτω:

- Τάση τροφοδοσίας: 3,3 V
- Τυπικό ρεύμα ύπνου: 0,1  $\mu$ A
- Μέγιστο ρεύμα ύπνου: 0,3  $\mu$ A

Οι προδιαγραφές του αισθητήρα υγρασίας:

- Εύρος μέτρησης: 0 ~ 100% της σχετικής υγρασίας
- Ακρίβεια:  $\leq \pm 3\%$  RH (στους 25 °C, εύρος 20 ~ 80%)
- Υστέρηση:  $\pm 1\%$  RH
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ~ +85 °C
- Χρόνος απόκρισης (63% του βήματος 90% έως 0% ή 0% έως 90%): 1 δευτερόλεπτο
- Τυπική κατανάλωση: 1,8  $\mu$ A
- Μέγιστη κατανάλωση: 2,8  $\mu$ A

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

### Οι προδιαγραφές του αισθητήρα θερμοκρασίας

- Εύρος λειτουργίας:  $-40 \sim +85 \text{ }^\circ\text{C}$
- Πλήρες εύρος ακρίβειας:  $0 \sim +65 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ακρίβεια:  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  (εύρος  $0 \text{ }^\circ\text{C} \sim +65 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- Χρόνος απόκρισης: 1,65 δευτερόλεπτα (απόκριση 63% από  $+30$  έως  $+125 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Τυπική κατανάλωση: 1  $\mu\text{A}$

### Οι προδιαγραφές του αισθητήρα CO:

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 25 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 2000 ppm
- Μακροπρόθεσμη μετατόπιση ευαισθησίας:  $<10\%$  αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου
- Μακροπρόθεσμη μηδενική μετατόπιση:  $<\pm 100$  ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στο αέρα του εργαστηρίου
- Χρόνος απόκρισης:  $\leq 20$  δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία: 220 έως 375 nA / ppm
- Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm
- Εύρος θερμοκρασίας:  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  έως  $50 \text{ }^\circ\text{C}$
- Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση
- Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa
- Θερμοκρασία αποθήκευσης:  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  έως  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: 3 χρόνια στον αέρα

### Οι προδιαγραφές του αισθητήρα O<sub>3</sub>

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 18 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 50 ppm
- Μακροπρόθεσμη ευαισθησία Μετατόπιση:  $-20$  έως  $-40\%$  αλλαγή / έτος
- Χρόνος απόκρισης (T90):  $\leq 45$  δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία:  $-200$  έως  $-550$  nA / ppm
- Ακρίβεια: έως και  $\pm 0,2$  ppm
- Υψηλή διασταυρούμενη ευαισθησία με αέριο NO<sub>2</sub>. Διόρθωση μπορεί να είναι απαραίτητη σε περιβάλλοντα με NO<sub>2</sub>.
- Εύρος θερμοκρασίας:  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  έως  $40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση
- Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa
- Θερμοκρασία αποθήκευσης:  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  έως  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας:  $> 24$  μήνες στον αέρα

### Οι προδιαγραφές του αισθητήρα NO<sub>2</sub>:

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

- Μέγιστη υπερφόρτωση: 250 ppm
- Μακροχρόνια μετατόπιση εξόδου: <2% σήματος / μήνα
- Χρόνος απόκρισης :  $\leq 30$  δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία:  $600 \pm 150$  nA / ppm
- Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm
- Εύρος θερμοκρασίας: -20 °C έως 50 °C
- Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση
- Εύρος πίεσης: 90 έως 110 kPa
- Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C
- Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: 2 χρόνια στον αέρα

Οι προδιαγραφές του Αισθητήρα SO<sub>2</sub> :

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 100 ppm
- Μακροπρόθεσμη μετατόπιση ευαισθησίας:  $<\pm 15\%$  αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου
- Μακροχρόνια μηδενική μετατόπιση: <20 ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου.
- Χρόνος απόκρισης :  $\leq 20$  δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία:  $320 \pm 480$  nA / ppm
- Ακρίβεια: έως και 0,1 ppm
- Εύρος θερμοκρασίας: -30 °C έως 50 °C
- Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 90% RH χωρίς συμπύκνωση
- Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa
- Θερμοκρασία αποθήκευσης: 0 °C έως 20 °C
- Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: 2 χρόνια στον αέρα

### 3.1.3 Αισθητήρες μέτρησης σωματιδίων

Ο αισθητήρας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τοποθετημένος με τέτοιο τρόπο να είναι ομαλή η ροή του αέρα στην είσοδο και έξοδο του. Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα είναι η απορρόφηση του αέρα από το περιβάλλον με την αντλία που βρίσκεται στο εσωτερικό, να αναλύει το δείγμα που εισέρχεται και τέλος την αποβολή του αέρα προς το περιβάλλον.



**Εικόνα 3.6: Διάταξη αισθητήρα μέτρησης σωματιδίων**

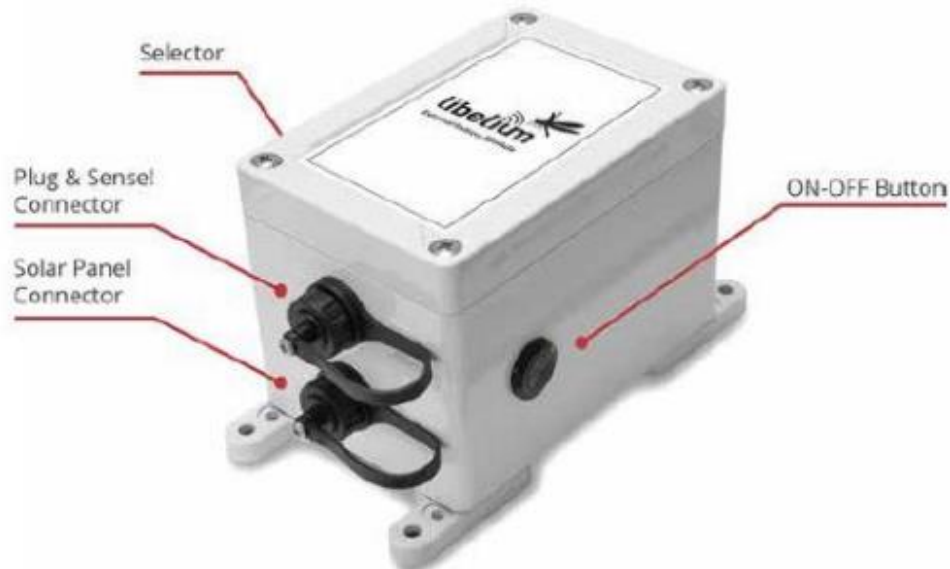
Οι προδιαγραφές αισθητήρα σωματιδίων:

- Εύρος σωματιδίων ( $\mu\text{m}$ ): 0,35 έως 40
- Διάστημα δειγματοληψίας (δευτερόλεπτα): 1 έως 30 ιστογράμματα
- Συνολικός ρυθμός ροής: 5,5 L / min
- Ρυθμός ροής δείγματος: 280 mL / min
- Μέγιστος ρυθμός μέτρησης σωματιδίων: 10000 σωματίδια / δευτερόλεπτο
- Λειτουργία μέτρησης (λείζερ και ανεμιστήρας ενεργοποιημένος): 270 mA @ 5 Volts (τυπικό)
- Εύρος τάσης: 4,8 έως 5,2 V DC
- Εύρος θερμοκρασίας:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Υγρασία λειτουργίας: 0 έως 99% RH χωρίς συμπύκνωση

### **3.1.4 Μπαταρία**

Η μπαταρία συνδέεται με το φωτοβολταϊκό και παρέχεται ρεύμα στη συσκευή μέσω ενός επιλογέα, με 3 διαφορετικούς τρόπους. Όταν ο επιλογεάς βρίσκεται στη θέση 1,2,3 ο χρόνος φόρτισης της συσκευής θα είναι αντίστοιχα 5,15,30 λεπτά ανά ημέρα. Η φόρτιση της συσκευής λαμβάνει χώρα 5 λεπτά από τη στιγμή που θα εκκινήσουμε την μπαταρία με το κουμπί ON/OFF. Εάν πρέπει να αλλάξουμε τη λειτουργία παροχής ρεύματος, πρέπει πρώτα να απενεργοποιήσουμε τη μπαταρία με το κουμπί OFF, διαφορετικά η μετακίνηση του επιλογέα δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα.





Εικόνα 3.7: Μπαταρία παροχής ρεύματος της συσκευής

### Προδιαγραφές μπαταρίας

- Απόδοση μπαταρίας: 26 Ah, μη επαναφορτιζόμενη μπαταρία
- Διαστάσεις: 122 mm x 82 mm x 84 mm
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -30 °C έως 70 °C
- Ποσοστό αυτοεκφόρτισης : Χαμηλό
- Περίβλημα: αδιάβροχο, πολυανθρακικό
- Τάση ηλιακού συλλέκτη: έως 18 V

### 3.2 Purple Air

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής είναι ο **PA-SD-II** ο οποίος συμπεριλαμβάνεται με μια αποθηκευτική κάρτα μνήμης SD για την καταγραφή και αποθήκευση δεδομένων χωρίς να υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιεί αυτή η συσκευή είναι οι PMS5003 και PMS1003 Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν αιωρούμενα σωματίδια σε μεγέθη 0,3, 0,5, 1,0, 2,5, 5,0 και 10μm. Οι μετρήσεις σωματιδίων επεξεργάζονται από τον αισθητήρα, με τη χρήση ενός σύνθετου αλγορίθμου υπολογίζεται η συγκέντρωση της μάζας PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>10</sub> σε μg/m<sup>3</sup>, μετέπειτα τα δεδομένα παρουσιάζονται σε δυο ξεχωριστά κανάλια το κανάλι A και κανάλι B όπου το καθένα αντιστοιχεί σε έναν από τους δυο αισθητήρες. Τέλος η συσκευή προσφέρει έναν πρόσθετο αισθητήρα BME280 που παρέχει δεδομένα για την πίεση, θερμοκρασία και επίπεδα υγρασίας (PurpleAir, 2023).

Οι 2 αισθητήρες της Purple Air παρέχουν 2 ξεχωριστές κλίμακες των δεδομένων που παρέχουν, η μια είναι σε κλίμακα μm/m<sup>3</sup> και η δεύτερη είναι ισοδύναμη τιμή στην κλίμακα AQI. Η συσκευή παρέχει δυο ξεχωριστές ενδείξεις στην κλίμακα AQI, η πρώτη είναι η CF και η δεύτερη είναι η atm, τις οποίες λαμβάνουμε μια από το κάθε κανάλι. Οι τιμές CF είναι ο αρχικός υπολογισμός των τιμών AQI που καθοδηγείται από τις μm/m<sup>3</sup> μετρήσεις του αισθητήρα και η atm είναι οι τιμές CF αλλά διορθωμένες με τρόπο που λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες σε εξωτερικό χώρο. Οι τιμές CF

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

έχουν σχεδιαστεί για τιμές εσωτερικών χώρων και οι atm για εξωτερικούς χώρους. Τα χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή τα οποία δίνονται και στα Αγγλικά είναι τα κάτωθι (Εικόνα 3.9, 3.10)



**Εικόνα 3.8:** Purple Air PA-II-SD

Classic PurpleAir dual laser particulate sensor	
Dimensions	3.5 in x 3.5 in x 5 in (85 mm x 85 mm x 125 mm)
Color	White
Power requirements	5V USB Micro, 0.18A continuous, 600mA peak
Intended Use	Outdoor and indoor use
WiFi	Yes
Expansion Port	No
Internal Storage	No
Warranty	<u>One (1) year limited warranty</u>

**Εικόνα 3.9:** Τεχνικά χαρακτηριστικά PA-II-SD

<b>Laser Particle Counters</b>	
<small>Class 1 Laser. A Class 1 laser is safe under all conditions of normal use.</small>	
Manufacturer	Plantower
This device contains two particle detectors to provide redundancy and help determine sensor health.	
Type	PMS-5003 (2)
Range of measurement	0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, & 10 $\mu\text{m}$
Counting efficiency	50% at 0.3 $\mu\text{m}$ & 98% at $\geq 0.5\mu\text{m}$
Effective range (PM2.5 standard)*	0 to 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Maximum range (PM2.5 standard)*	$\geq 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Maximum consistency error (PM2.5 standard)	$\pm 10\%$ at 100 to 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ & $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ at 0 to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standard Volume	0.1 liter
Single response time	$\leq 1$ second
Total response time	$\leq 10$ seconds

<b>Pressure, Temperature, &amp; Humidity Sensor</b>	
Manufacturer	BOSCH
Model Number	BME280
Temperature range	-40°F to 185°F (-40°C to 85°C)
Pressure range	300 to 1100 hPa
Humidity	Response time ( $\tau_{63\%}$ ): 1s Accuracy tolerance: $\pm 3\%$ RH Hysteresis: $\leq 2\%$ RH

**Εικόνα 3.10:** Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα laser

### 3.3 AQ Mesh

Η συσκευή χαμηλού κόστους AQ Mesh που χρησιμοποιήθηκε είναι ιδανική για περιμετρική παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και μπορεί να παρακολουθήσει έως και 6 αέρια καθώς και αιωρούμενα σωματίδια, την ηχορύπανση, ταχύτητα ανέμου καθώς και την κατεύθυνση του. Τα χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή τα οποία δίνονται και στα Άγγλικά είναι τα κάτωθι (Εικόνα 3.11, 3.12, 3.13).

## GASES

Sensor	Type	Units	Range <sup>*1</sup>	LOD	LOC <sup>*2</sup>	Precision <sup>*3</sup>	Accuracy <sup>*4</sup>
NO	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-20,000 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.9	1 ppb
NO <sub>2</sub>	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-20,000 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.85	4 ppb
NO <sub>x</sub>	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-40,000 ppb	<2 ppb	<10 ppb	>0.9	4 ppb
O <sub>3</sub>	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-20,000 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.9	5 ppb
CO	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-1,000,000 ppb	<30 ppb	<50 ppb	>0.8	20 ppb
SO <sub>2</sub>	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-100,000 ppb	<2 ppb	<10 ppb	>0.7	20 ppb
H <sub>2</sub> S	Electrochemical	ppb or $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-100,000 ppb	<1 ppb	<5 ppb	>0.7	1 ppb
TVOC <sup>*11</sup>	Electrochemical	ppb	0-2,500 ppb	<10 ppb	<50 ppb	>0.95	0.05 ppm
CO <sub>2</sub>	NDIR	ppm or $\text{mg}/\text{m}^3$	0-5,000 ppm	<1 ppm	<1 ppm	>0.9	50 ppb

## PARTICLES

Sensor	Type	Units	Range <sup>*1</sup>	LOD	Precision <sup>*3</sup>	Accuracy <sup>*4</sup>
PM1 <sup>*5</sup>	Optical particle counter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-100,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>0.9	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5 <sup>*5</sup>	Optical particle counter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-150,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>0.9	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM4 <sup>*5</sup>	Optical particle counter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-225,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>0.9	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10 <sup>*5</sup>	Optical particle counter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-250,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>0.85	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_Total <sup>*5</sup>	Optical particle counter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0-350,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>0.85	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## ADDITIONAL SENSORS

Sensor	Type	Units	Range <sup>*1</sup>	LOD	Precision <sup>*3</sup>	Accuracy <sup>*4</sup>
Pod temperature	Solid state	°C or °F	-20°C to 100°C	0.1°C	>0.9	2°C
Pressure	Solid state	mb	500 to 1500 mb	1 mb	>0.9	5 mb
Humidity	Solid state	%	0 to 100%	1% RH	>0.9	5% RH
Noise <sup>*6</sup>	Omnidirectional mic	dB	35 to 100 dB SPL	20 Hz – 20 kHz	>0.8	1 dB

**Εικόνα 3.11:** Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα AQ Mesh για αέρια, αιωρούμενα σωματίδια και πρόσθετων αισθητήρων

## WIND SPEED & DIRECTION SENSOR

Sensor	Type	Units	Range	Resolution	Accuracy <sup>17</sup>
Wind speed	Solid state	m/s	0 to 30 m/s	0.01 m/s	2%
Wind direction	Solid state	° degrees	0 to 359 °	1 °	2 °

## SENSOR LIFE

Sensor Type	Expected lifespan	Notes
Electrochemical	2 years <sup>18</sup>	See AQMesh standard operating procedure
NDIR	5 years	See AQMesh standard operating procedure
Solid state	5 years	See AQMesh standard operating procedure
Omnidirectional microphone	5 years	See AQMesh standard operating procedure
Optical particle counter	2 years <sup>18</sup>	Maintenance dependent on application & settings <sup>19</sup>

## POWER

Option	Expected lifespan	Notes
External DC	>5 years	9 – 24V DC
Lithium metal battery pack <sup>20</sup>	9-15 months 1 month	Estimate, gas only Estimate, with particulates
External high capacity battery pack <sup>20</sup>	22-38 months 2-4 months	Estimate, gas only Estimate, with particulates
NiMH rechargeable battery pack	1 month	Estimate, gas only Not recommended for particulates
Solar power pack	>5 years	Change internal lead-acid battery every 24 months

**Εικόνα 3.12:** Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα AQ Mesh (συνέχεια)

## PHYSICAL

Enclosure	ABS, protection IP65
Environmental	Temperature range: -20°C to +40°C Humidity range: 15 to 95% RH
Mounting	Pod supplied with mounting bracket for walls / posts
Approx. size & weight	Length: 170 mm Width: 220 mm Height (excl antenna): 250mm Height (incl antenna): 430mm Weight: 2 – 2.7kg

## DATA ACCESS & COMMUNICATIONS

Communication	Raw data sent to server by cellular network. Worldwide coverage 4G/5G LTE Cat M1/NB1 with 2G fallback
Measurement period	Variable, from 1 minute to 1 hour
Transmission frequency	Variable, from 5 minutes to 12 hour intervals
Server software	Web browser based Processing of sensor output to give reading Database storage on secure server
Data access	Tables, graphs Data download Multi-user access Password controlled Optional API data access

Εικόνα 3.13: Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα AQ Mesh (συνέχεια)

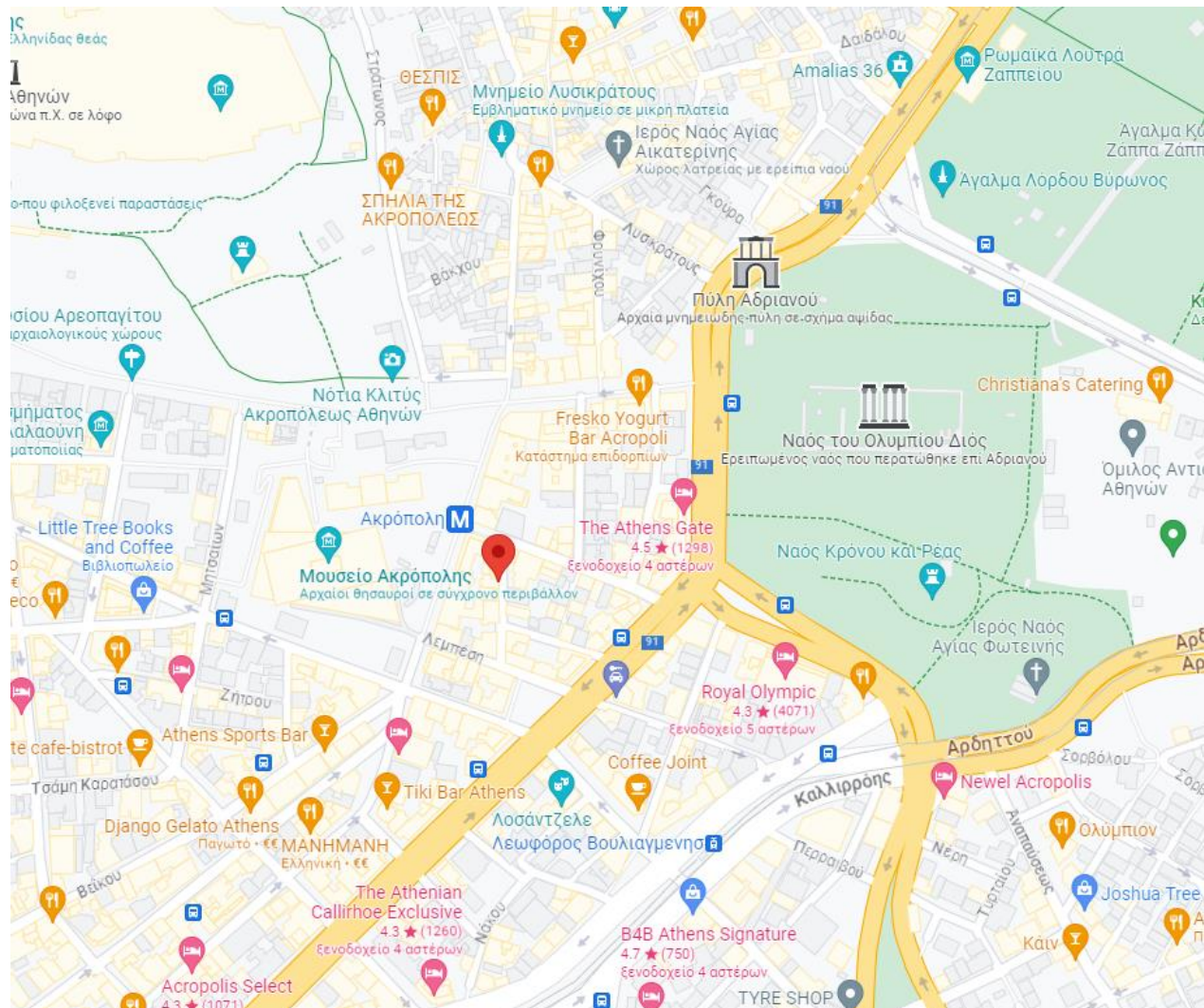
### 3.4 Εγκατάσταση εξοπλισμού

Στην εξής υποενότητα θα γίνει αναφορά σχετικά με την τοποθεσία που τοποθετήθηκαν τα όργανα, το χρονικό διάστημα το οποίο λειτούργησε το κάθε όργανο, και έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων αυτών, καθώς αυτό θα παρουσιαστεί μέσω ενός διαγράμματος Gantt όπου θα μας βοηθήσει να διακρίνουμε πότε υπήρχαν κοινές χρονικές περιόδους όπου είχαμε δεδομένα μεταξύ των οργάνων.

#### Libelium

Στα δυο όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την διπλωματική δόθηκαν 2 κωδικοί ονομάτων για να μπορούμε να τα ξεχωρίζουμε μεταξύ τους.

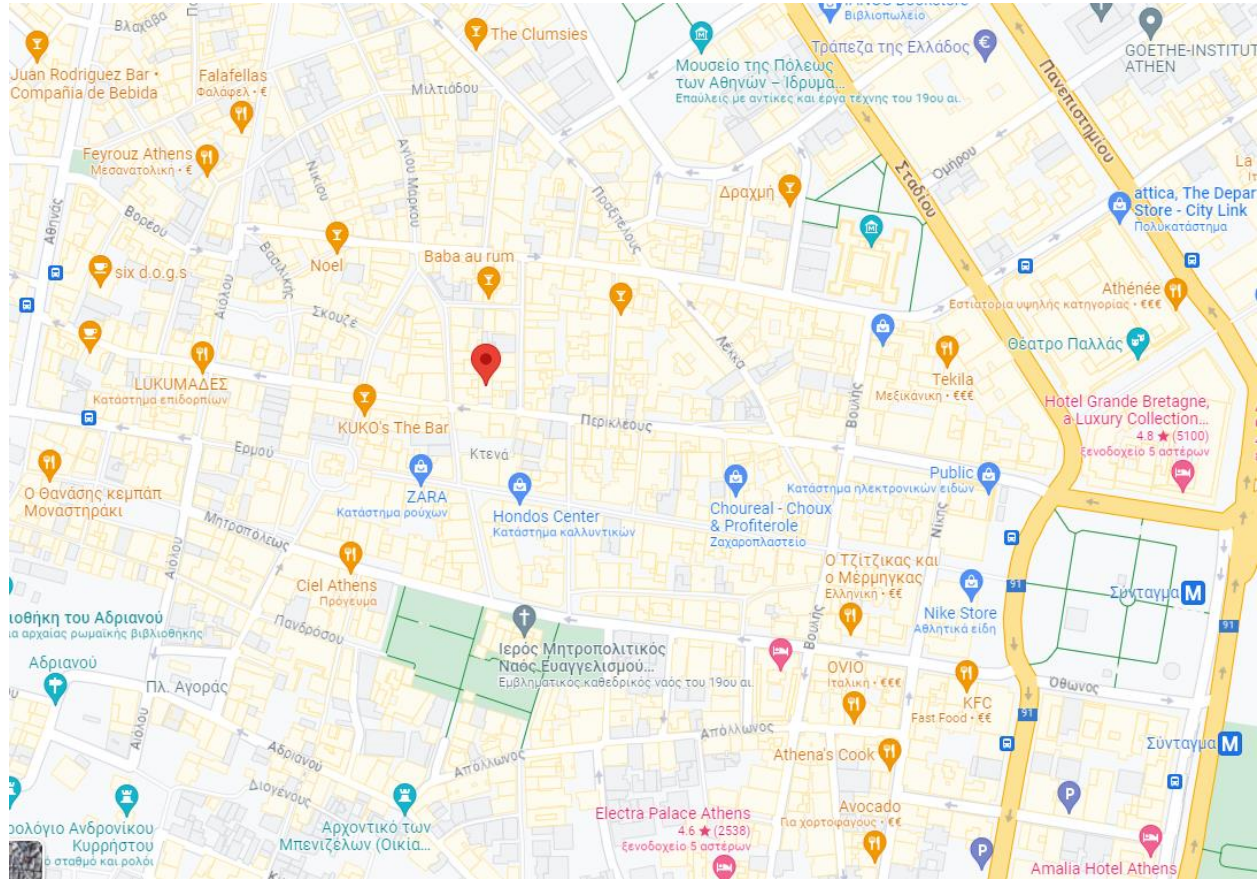
Ξεκινώντας με το Όργανο με κωδικό όνομα E46 το οποίο βρίσκεται στην Πορίνου και όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς βρίσκεται δίπλα από σταθμό μετρό της Ακρόπολης, καθώς και δίπλα από τη λεωφόρο Συγγρού δυο παράγοντες που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις που θα λάβουμε.



Εικόνα 3.14: Τοποθεσία οργάνου E46

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Το επόμενο όργανο της Libelium που χρησιμοποιήθηκε έχει τον κωδικό όνομα EBB και βρίσκεται στην Περικλέους στο κέντρο της Αθήνας ,πολύ κοντά στον εμπορικό δρόμο της Ερμού.



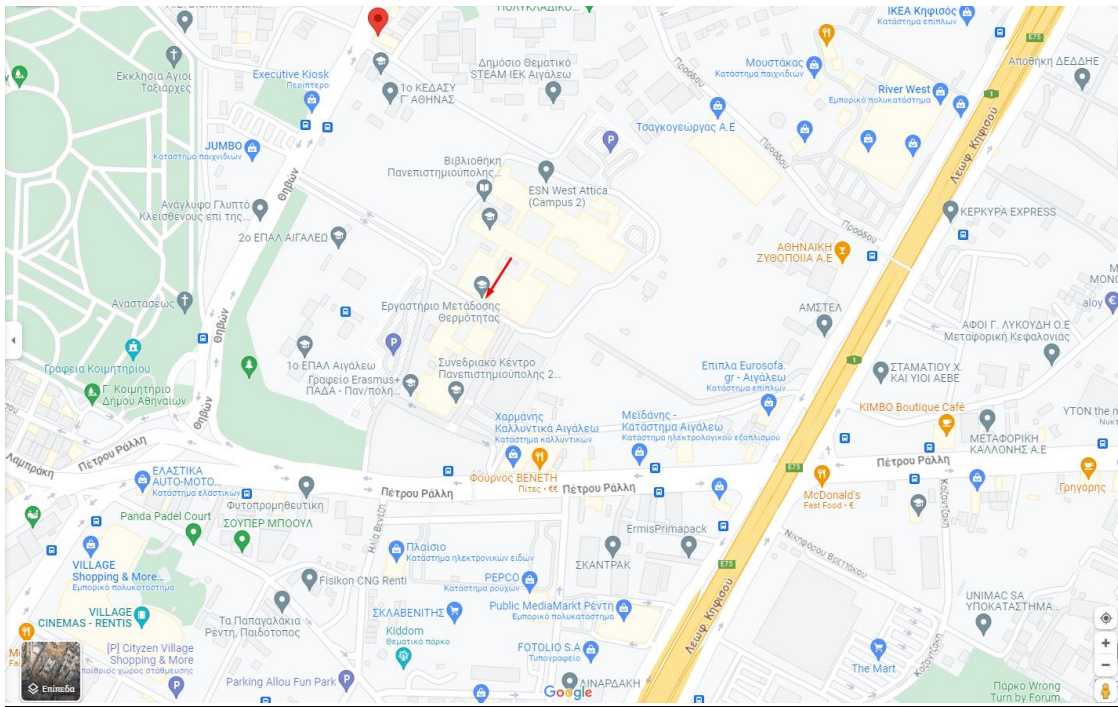
Εικόνα 3.15: Τοποθεσία οργάνου EBB

### PurpleAir

Τα όργανα της PurpleAir που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής είναι τρία. Ξεκινώντας με το πρώτο όργανο με κωδικό όνομα Envicare 1 το οποίο κι αυτό βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία με το E46 δηλαδή στην Πορίνου , μετέπειτα έχουμε το Envicare 0 το οποίο επίσης βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία με το EBB στην Περικλέους και το τελευταίο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Envicare 18 το οποίο είναι τοποθετημένο στην ταράτσα του πανεπιστημίου δυτικής Αττικής στην πανεπιστημιούπολη του Αρχαίου Ελαιώνα.



## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 3.16:** Τοποθεσία οργάνου ENVICARE-18

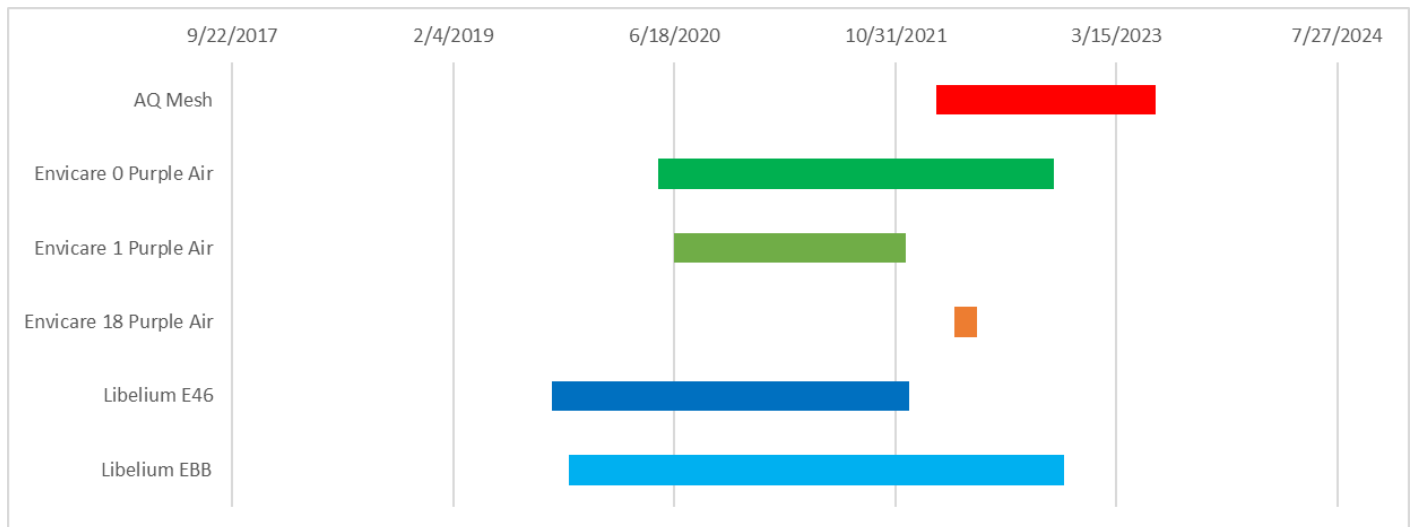
### AQ Mesh

Χρησιμοποιήθηκε ένα όργανο AQ Mesh το οποίο βρίσκεται και αυτό στο ίδιο σημείο με το ENVICARE 18, δηλαδή στην ταράτσα του κτηρίου της πανεπιστημιούπολης του Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου δυτικής Αττικής.



**Εικόνα 3.17:** Εγκατάσταση οργάνων Purple Air και AQ Mesh στην πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα

Στην συνέχεια παρουσιάζετε μέσω ενός διαγράμματος Gantt Την διάρκεια κατά την οποία λάβαμε δεδομένα από το κάθε όργανο ξεχωριστά



**Εικόνα 3.14:** Διάρκεια οργάνων

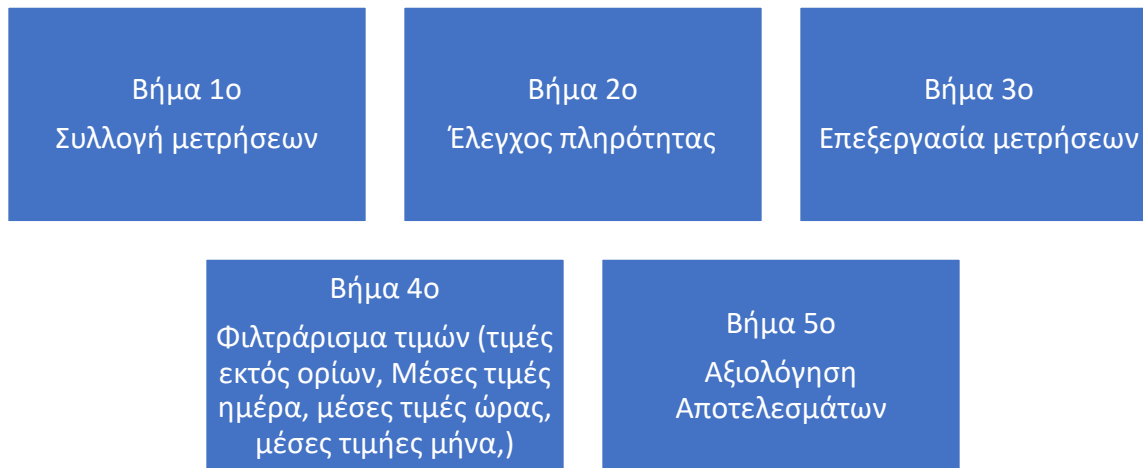
- AQ Mesh: Για το όργανο χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις για την περίοδο 2/1/22 – 12/6/23, με εξαίρεση την περίοδο 5/5/22-7/7/22 όπου το όργανο σταμάτησε να λειτουργεί
- ENVICARE-18 Purple Air : Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για την περίοδο 15/3/22- 5/5/22
- Libelium E46 : Για το συγκεκριμένο όργανο υπήρχαν μετρήσεις από τις 16/9/19- 2/12/21 παρόλα αυτά την περίοδο 3/12/19- 1/7/20 το όργανο σταμάτησε να λειτουργεί.
- Libelium EBB : Για το όργανο οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για την περίοδο 24/10/19- 18/11/22 με εξαίρεση τις περιόδους 4/12/19- 1/6/20 και 3/5/22- 20/9/22 όπου το όργανο σταμάτησε να λειτουργεί
- ENVICARE 1 Purple Air : Όπου χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις για την περίοδο 17/6/20- 26/11/21, με εξαίρεση την περίοδο 22/6/20-31/7/20 όπου το όργανο σταμάτησε να λειτουργεί
- ENVICARE 0 Purple Air : Όπου τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για την περίοδο 13/5/20- 25/10/22,

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

Το κεφάλαιο 4 αφορά την μεθοδολογία και τον τρόπο τον οποίο εργάστηκα και στο κομμάτι των μετρήσεων.

### 4.1 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που επιλέγεται σχηματικά περιγράφεται στο **σχήμα 4.1**



#### Σχήμα 4.1: Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας που αποκολούθησα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.

#### Βήμα 1<sup>ο</sup> Συλλογή μετρήσεων

Κατά τη διάρκεια αυτού του κομματιού της μεθοδολογίας που ακολούθηθηκε, το ζητούμενο ήταν να μαζέψω από το κάθε όργανο που χρησιμοποιήθηκε τα δεδομένα έτσι ώστε να γίνει η επεξεργασία και αξιολόγηση τους στη συνέχεια.

#### Libelium

Για τη συλλογή των δεδομένων των οργάνων Libelium χρειάστηκε να τα λάβω από το εργαστήριο των Ήπιων μορφών ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα από το προσωπικό αρχείο του επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Σπυρόπουλου τα δεδομένα, καθώς είχε αποθηκευμένα τα δεδομένα στον υπολογιστή για παλαιότερη ακαδημαϊκή χρήση. Αφού έλαβα τα δεδομένα τα οποία ήταν σε αρχεία txt, το επόμενο μου βήμα ήταν για το κάθε ένα από τα δυο όργανα, να δω από πότε ξεκίνησαν τα όργανα να είναι σε λειτουργία και μέχρι πότε ήταν η τελευταία μέτρηση που έλαβα. Αφού αυτό έγινε, το επόμενο βήμα ήταν η ταξινόμηση και συγκέντρωση όλων των δεδομένων από το κάθε όργανο σε ένα αρχείο txt με σωστή χρονική

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

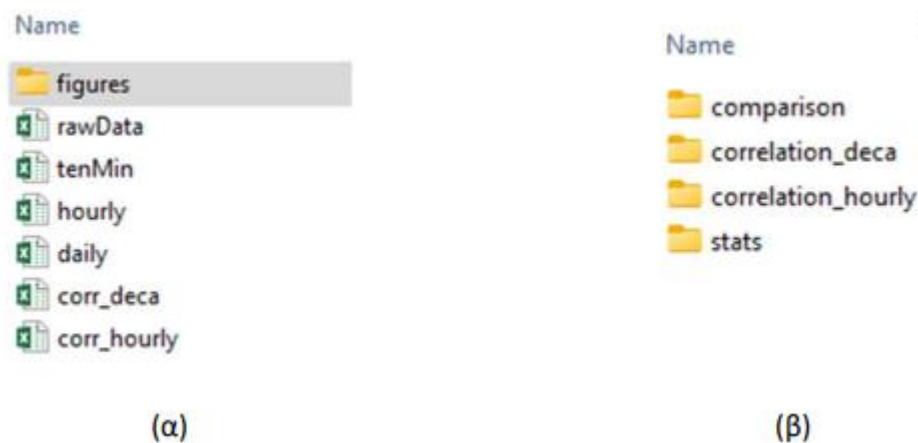
σειρά καθώς θα έπρεπε να τα εισάγουμε σε ένα πρόγραμμα λογισμικού (σε γλώσσα προγραμματισμού Python), αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκε σαν βάση το “Anacoda” το οποίο είναι μια ελεύθερη και ανοιχτού κώδικα πλατφόρμα της γλώσσας προγραμματισμού “Python” και είναι κατάλληλο για προγραμματισμό και διαχείριση αρχείων (Spygoroulos Georgios, 2022). Αυτό που κατάφερε το πρόγραμμα λογισμικού ήταν να μετατρέψει τα αρχεία txt σε ένα φύλλο excel όπου χώριζε τις μετρήσεις μας ανά δεκάλεπτα, ωριαία, ημερήσια.

504E732C8913E46 dec2020 - Notepad

File Edit Format View Help

```
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,15:45:00,so2:0.6124,pres:99365.4688,hum:54.5244,tc:23.39,pm10:4.06,pm2_5:3.11,pm1:1.76,no2:0.0486,o3:0.3948,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:03:18,so2:0.4016,pres:98943.4062,hum:69.1387,tc:21.95,pm10:7.5,pm2_5:4.03,pm1:1.92,no2:0.0,co:0.2055,co:0.3.0405
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:05:25,so2:0.3613,pres:98939.0,hum:73.0996,tc:22.11,pm10:8.18,pm2_5:6.03,pm1:2.97,no2:0.0,co:0.1894,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:07:31,so2:0.3431,pres:98941.5781,hum:73.0068,tc:22.21,pm10:23.56,pm2_5:4.96,pm1:2.76,no2:0.0,co:0.1577,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:09:36,so2:0.3548,pres:98930.9766,hum:73.5234,tc:22.23,pm10:10.44,pm2_5:4.35,pm1:3.02,no2:0.0,co:0.164,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:11:52,so2:0.3075,pres:98927.6875,hum:73.0098,tc:22.22,pm10:10.72,pm2_5:4.7,pm1:2.73,no2:0.0,co:0.1564,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:13:49,so2:0.3347,pres:98934.9844,hum:73.6699,tc:22.16,pm10:4.19,pm2_5:3.99,pm1:2.98,no2:0.0,co:0.164,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:15:54,so2:0.3262,pres:98931.9297,hum:74.0244,tc:22.11,pm10:5.73,pm2_5:5.23,pm1:3.19,no2:0.0,co:0.1517,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:18:01,so2:0.3259,pres:98922.9609,hum:74.3672,tc:22.04,pm10:5.42,pm2_5:4.99,pm1:3.08,no2:0.0,co:0.1503,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:20:07,so2:0.3278,pres:98920.8125,hum:74.3584,tc:21.98,pm10:12.48,pm2_5:5.73,pm1:3.1,no2:0.0,co:0.144,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:22:13,so2:0.3096,pres:98921.9844,hum:74.9678,tc:21.93,pm10:10.06,pm2_5:5.32,pm1:2.86,no2:0.0,co:0.1375,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:24:16,so2:0.3153,pres:98922.3438,hum:75.29,tc:21.88,pm10:5.69,pm2_5:4.78,pm1:3.01,no2:0.0,co:0.144,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:26:25,so2:0.3182,pres:98921.75,hum:75.8418,tc:21.86,pm10:9.76,pm2_5:5.65,pm1:2.8,no2:0.0,co:0.1376,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:28:36,so2:0.3158,pres:98932.3438,hum:76.1621,tc:21.82,pm10:12.99,pm2_5:6.0,pm1:2.92,no2:0.0,co:0.1483,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:30:39,so2:0.3463,pres:98926.4689,hum:76.0166,tc:21.8,pm10:5.74,pm2_5:4.65,pm1:2.92,no2:0.0,co:0.1381,co:0.1.5601
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:32:42,so2:0.302,pres:98920.5781,hum:75.7852,tc:21.8,pm10:3.2,pm2_5:3.0,pm1:2.19,no2:0.0,co:0.1267,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:34:47,so2:0.3269,pres:98925.1719,hum:74.7998,tc:21.87,pm10:8.69,pm2_5:6.35,pm1:2.69,no2:0.0,co:0.126,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:36:54,so2:0.3189,pres:98931.4062,hum:73.8545,tc:21.95,pm10:5.56,pm2_5:4.78,pm1:2.27,no2:0.0,co:0.1267,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:39:01,so2:0.3486,pres:98920.375,hum:73.3428,tc:22.02,pm10:7.28,pm2_5:5.89,pm1:2.34,no2:0.0,co:0.1225,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:41:04,so2:0.3192,pres:98924.8672,hum:72.5439,tc:22.11,pm10:25.88,pm2_5:3.77,pm1:1.88,no2:0.0,co:0.1154,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:43:06,so2:0.3179,pres:98914.0312,hum:71.7773,tc:22.19,pm10:9.99,pm2_5:6.27,pm1:2.43,no2:0.0,co:0.1188,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:45:10,so2:0.2984,pres:98915.2344,hum:72.2998,tc:22.26,pm10:12.9,pm2_5:7.96,pm1:3.01,no2:0.0,co:0.1142,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:47:13,so2:0.331,pres:98906.9844,hum:71.957,tc:22.32,pm10:25.59,pm2_5:7.81,pm1:2.48,no2:0.0,co:0.1154,co:0.1.3447
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:49:19,so2:0.3437,pres:98916.8594,hum:71.0166,tc:22.38,pm10:22.1,pm2_5:7.57,pm1:2.18,no2:0.0,co:0.1162,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:51:21,so2:0.3453,pres:98908.6016,hum:71.0977,tc:22.45,pm10:9.08,pm2_5:6.78,pm1:2.52,no2:0.0,co:0.1146,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:53:29,so2:0.3231,pres:98905.4062,hum:70.7666,tc:22.49,pm10:14.43,pm2_5:0.39,pm1:3.03,no2:0.0,co:0.1208,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:55:32,so2:0.3244,pres:98907.5391,hum:70.3604,tc:22.52,pm10:11.8,pm2_5:4.9,pm1:2.35,no2:0.0,co:0.1065,co:0.1.3813
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:57:35,so2:0.3329,pres:98900.5859,hum:72.3047,tc:22.58,pm10:68.88,pm2_5:8.42,pm1:3.05,no2:0.0,co:0.1113,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,17:59:41,so2:0.3229,pres:98905.5156,hum:72.4912,tc:22.61,pm10:29.83,pm2_5:10.12,pm1:3.38,no2:0.0,co:0.1109,co:0.1.2868
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:01:45,so2:0.3153,pres:98906.6797,hum:71.291,tc:22.64,pm10:6.68,pm2_5:5.16,pm1:2.48,no2:0.0,co:0.1086,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:03:47,so2:0.3178,pres:98907.2578,hum:72.3438,tc:22.67,pm10:59.88,pm2_5:13.37,pm1:3.26,no2:0.0,co:0.1151,co:0.1.3299
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:05:50,so2:0.3252,pres:98887.5938,hum:72.6035,tc:22.7,pm10:74.13,pm2_5:12.21,pm1:3.13,no2:0.0,co:0.1163,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:07:54,so2:0.326,pres:98884.7812,hum:71.7779,tc:22.73,pm10:20.06,pm2_5:7.65,pm1:2.64,no2:0.0,co:0.1105,co:0.1.2731
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:09:57,so2:0.3055,pres:98892.3125,hum:71.8086,tc:22.76,pm10:11.96,pm2_5:8.18,pm1:2.62,no2:0.0,co:0.1151,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:12:00,so2:0.3158,pres:98885.2344,hum:70.4854,tc:22.78,pm10:16.95,pm2_5:7.51,pm1:2.47,no2:0.0,co:0.1133,co:0.1.2659
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:14:03,so2:0.3063,pres:98892.0625,hum:70.2549,tc:22.79,pm10:24.48,pm2_5:7.51,pm1:2.04,no2:0.0,co:0.1114,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:16:06,so2:0.3111,pres:98879.1016,hum:69.502,tc:22.8,pm10:37.5,pm2_5:8.3,pm1:2.47,no2:0.0,co:0.1077,co:0.1.2005
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:18:09,so2:0.2959,pres:98878.1562,hum:68.7012,tc:22.81,pm10:10.11,pm2_5:6.98,pm1:2.26,no2:0.0,co:0.1111,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:20:12,so2:0.3178,pres:98874.6172,hum:68.5791,tc:22.81,pm10:6.79,pm2_5:4.85,pm1:2.11,no2:0.0,co:0.1085,co:0.1.1361
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:22:15,so2:0.2994,pres:98869.4297,hum:68.5547,tc:22.81,pm10:18.21,pm2_5:3.99,pm1:1.79,no2:0.0,co:0.1092,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:24:18,so2:0.3144,pres:98874.6172,hum:68.1895,tc:22.81,pm10:3.92,pm2_5:3.07,pm1:1.61,no2:0.0,co:0.1124,co:0.1.0789
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:26:21,so2:0.3043,pres:98876.2969,hum:67.5684,tc:22.82,pm10:7.11,pm2_5:3.99,pm1:2.02,no2:0.0,co:0.1058,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:28:24,so2:0.2851,pres:98874.6172,hum:67.3955,tc:22.81,pm10:4.62,pm2_5:3.2,pm1:1.56,no2:0.0,co:0.11,co:0.1.1099
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:30:27,so2:0.3002,pres:98872.9688,hum:67.2236,tc:22.81,pm10:4.26,pm2_5:3.65,pm1:1.65,no2:0.0,co:0.1041,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:32:30,so2:0.3188,pres:98869.4297,hum:66.9834,tc:22.81,pm10:3.8,pm2_5:3.36,pm1:1.81,no2:0.0,co:0.1099,co:0.1.0655
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:34:33,so2:0.3146,pres:98878.1562,hum:66.8105,tc:22.81,pm10:5.56,pm2_5:3.85,pm1:1.67,no2:0.0,co:0.1088,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:36:36,so2:0.317,pres:98883.3438,hum:66.4453,tc:22.8,pm10:5.34,pm2_5:3.29,pm1:1.35,no2:0.0,co:0.1031,co:0.0.9821
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:38:39,so2:0.3317,pres:98885.2344,hum:66.1387,tc:22.79,pm10:6.16,pm2_5:4.39,pm1:1.72,no2:0.0,co:0.1136,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:40:42,so2:0.3204,pres:98889.5938,hum:66.1982,tc:22.78,pm10:3.57,pm2_5:2.67,pm1:1.5,no2:0.0,co:0.1016,co:0.1.0599
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:42:45,so2:0.3067,pres:98902.6719,hum:65.5625,tc:22.75,pm10:4.67,pm2_5:3.6,pm1:1.69,no2:0.0,co:0.1078,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:44:47,so2:0.2926,pres:98904.5703,hum:66.1201,tc:22.74,pm10:11.0,pm2_5:4.92,pm1:1.5,no2:0.0,co:0.0975,co:0.1.0224
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:46:51,so2:0.3095,pres:98912.4688,hum:66.0322,tc:22.72,pm10:23.36,pm2_5:4.05,pm1:1.56,no2:0.0,co:0.1029,co:0.0
serial:504E732C8913E46,06/01/2020,18:48:57,so2:0.299,pres:98913.2891,hum:66.75,tc:22.73,pm10:2.31,pm2_5:2.27,pm1:1.77,no2:0.0,co:0.1046,co:0.1.0386
```

Εικόνα 4.1: Απεικόνιση raw data των οργάνων Libelium



Εικόνα 4.2: Απεικόνιση αρχείων που δημιουργούνται και εξάγονται από το λογισμικό

Στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη περιγραφή το τι περιέχει το κάθε αρχείο.

**rawData.xlsx:** Δημιουργούνται τόσα φύλλα “Excel”, όσες και οι συσκευές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα. Οι τιμές καταγράφονται σε κάθε ένα φύλλο όπως ακριβώς συλλέχθηκαν, δηλαδή με χρονική σειρά και η κάθε στήλη περιέχει μία παράμετρο

**tenMin.xlsx:** Δημιουργούνται τόσα φύλλα “Excel”, όσες και οι συσκευές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα. Οι τιμές καταγράφονται, ανά ακέραιες τιμές της ώρας, σε δεκάλεπτα από τους μέσους όρους των ενδιάμεσων τιμών.

**hourly.xlsx:** Δημιουργούνται τόσα φύλλα “Excel”, όσες και οι συσκευές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα. Οι τιμές καταγράφονται, ανά ακέραιες τιμές της ώρας, σε ωριαίες τιμές από τους μέσους όρους των ενδιάμεσων τιμών.

**daily.xlsx:** Δημιουργούνται τόσα φύλλα “Excel”, όσες και οι συσκευές από τις οποίες αντλούνται τα δεδομένα. Οι τιμές καταγράφονται ανά ημέρα από τους μέσους όρους των ενδιάμεσων τιμών.

**corr\_deca.xlsx:** Δημιουργούνται τρία φύλλα “Excel”: Pearson, Kendall, Spearman. Στο κάθε φύλλο (Εικόνα 6.9), γίνεται η στατιστική επεξεργασία των δεκάλεπτων δεδομένων και παρουσιάζεται το αποτελέσματα της συσχέτισης σε ποσοστά, βάσει της επιλεγμένης μεθόδου, για τους συνδυασμούς μεταξύ της συσκευής A και της συσκευής B, της συσκευής A και του σταθμού αναφοράς και της συσκευής B και του σταθμού αναφοράς.

**corr\_hourly.xlsx:** Αντίστοιχα με προηγουμένως, δημιουργούνται τρία φύλλα “Excel”: Pearson, Kendall και Spearman. Στο κάθε φύλλο, γίνεται η στατιστική επεξεργασία των ωριαίων δεδομένων και παρουσιάζεται το αποτελέσματα της συσχέτισης σε ποσοστά, βάσει της επιλεγμένης μεθόδου, για τους συνδυασμούς μεταξύ της συσκευής A και της συσκευής B, της συσκευής A και του σταθμού αναφοράς και της συσκευής B και του σταθμού αναφοράς.

**Folder / figures:** Ο φάκελος περιέχει τους παρακάτω 4 φακέλους:

- **Folder/ comparison:** Δημιουργούνται γραφήματα, όπου στον άξονα XX’ είναι ο χρόνος (ανά βήμα της εκάστοτε συσκευής) και στον άξονα YY’ η μετρούμενη παράμετρος (ρύποι και μετεωρολογικές παράμετροι). Εμφανίζονται 2 γραμμές σε κάθε γράφημα και αυτές αντιστοιχούν στη συσκευή A και τη συσκευή B, στη συσκευή A και το σταθμό αναφοράς και στη συσκευή B και το σταθμό αναφοράς.
- **Folder / correlation\_deca:** Δημιουργούνται γραφήματα συσχέτισης από τα δεκάλεπτα δεδομένα και αναφέρεται και η συνάρτηση “ $Y = \alpha \cdot X + \beta$ ”. Στον άξονα XX’ και στον άξονα YY’ απεικονίζεται η μετρούμενη παράμετρος (ρύποι και μετεωρολογικές παράμετροι) από τη συσκευή A σε σχέση με τη συσκευή B, από τη συσκευή A σε σχέση με το σταθμό αναφοράς και από τη συσκευή B σε σχέση με το σταθμό αναφοράς.
- **Folder / correlation\_hourly:** Δημιουργούνται γραφήματα συσχέτισης από τα ωριαία δεδομένα και αναφέρεται και η συνάρτηση “ $Y = \alpha \cdot X + \beta$ ”. Στον άξονα XX’ και στον άξονα YY’ απεικονίζεται η μετρούμενη παράμετρος (ρύποι και μετεωρολογικές παράμετροι) από τη συσκευή A σε σχέση με τη συσκευή B, από τη συσκευή A σε σχέση με το σταθμό αναφοράς και από τη συσκευή B σε σχέση με το σταθμό αναφοράς.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

- Folder / stats:** Δημιουργούνται γραφήματα με τους χρόνους “Interval DT (delta time)” τους οποίους μετρά η κάθε συσκευή και γραφήματα για τους στατιστικούς δείκτες Pearson, Kendall και Spearman, ανά μετρήσιμη παράμετρο που καταγράφεται, για συνδυασμούς μεταξύ της συσκευής A και της συσκευής B, της συσκευής A και του σταθμού αναφοράς και της συσκευής B και του σταθμού αναφοράς.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	datetime	SO2	Pressure	R. Humidity	Tc	PM10	PM2.5	PM1	NO2	O3	CO
2	9/21/19 14:00	9.06957857	102087.3448	26.30371094	27.16931	7.114138	2.761724	1.143793	0.030461	0.163775	0.829088
3	9/21/19 15:00	9.484680209	102061.8109	27.22686557	26.89069	10.8531	2.786207	1.10069	0.078563	0.120341	0.742005
4	9/21/19 16:00	9.486118964	102044.1164	27.56968471	26.55893	9.003214	2.723214	1.115357	0.074931	0.115092	0.744741
5	9/21/19 17:00	9.464749238	102056.6587	28.09226832	25.55621	12.59414	2.961379	1.161034	0.100505	0.113345	0.760209
6	9/21/19 18:00	9.402879222	102072.893	29.86738955	23.72621	9.119655	3.025862	1.285862	0.153497	0.117565	0.702907
7	9/21/19 19:00	6.274569006	102099.0592	34.44252232	21.72679	9.989285	4.083928	1.902857	0.217423	0.506187	0.783305
8	9/21/19 20:00	4.022887383	102145.8462	37.34119073	20.74414	10.97414	4.085862	2.176896	0.171383	0.783485	0.689522
9	9/21/19 21:00	9.499716627	102196.2726	38.69965652	20.11517	10.50345	4.511034	2.433103	0.167203	2.468091	0.633798
10	9/21/19 22:00	9.962549464	102203.306	40.26393229	19.60733	12.3	4.536667	2.456333	0.206753	3.076831	0.720727
11	9/21/19 23:00	9.995546374	102197.0924	41.38584321	19.20103	9.8	3.565517	1.737586	0.192667	2.96733	0.646856
12	9/22/19 0:00	10.0256472	102165.6288	42.10048491	19.1669	9.996207	3.731034	1.776207	0.199385	2.782198	0.614887
13	9/22/19 1:00	8.948139237	102131.3473	44.38843615	18.88172	11.64483	3.696207	1.666552	0.205138	2.124706	0.625139
14	9/22/19 2:00	9.628605826	102134.0323	43.8555361	19.06379	11.60586	3.786896	1.735517	0.163195	2.78129	0.535873
15	9/22/19 3:00	10.05918573	102137.3302	45.8898112	18.515	12.198	3.571333	1.611	0.190995	3.307656	0.54582
16	9/22/19 4:00	10.07542022	102141.2845	48.49131196	18.11276	8.066896	3.633103	1.563448	0.199577	3.327605	0.561953
17	9/22/19 5:00	10.08291882	102128.5302	51.85041756	17.92793	10.80793	3.463103	1.555172	0.203591	3.226635	0.561528
18	9/22/19 6:00	10.10074056	102130.0272	54.60024919	17.71931	13.95724	3.745862	1.662414	0.205108	3.100547	0.559287
19	9/22/19 7:00	10.10701106	102131.376	57.73134766	17.515	12.92367	3.827667	1.684	0.214565	3.289566	0.574716
20	9/22/19 8:00	5.424849584	102116.4849	52.06758486	19.91621	16.32724	4.386896	1.621724	0.056298	1.949865	0.5125
21	9/22/19 9:00	0.269451287	102141.0339	43.17635372	23.28	17.20345	4.243448	1.529655	0.000312	0.207167	0.302661
22	9/22/19 10:00	0.264715771	102130.9817	38.00922683	24.79276	13.93483	3.55931	1.485862	0.000601	0.215787	0.295074
23	9/22/19 11:00	0.30853893	102070.4469	33.34287446	26.16414	8.878965	3.295517	1.264828	0.008196	0.21555	0.341801
24	9/22/19 12:00	5.821342004	102007.1352	30.16894531	27.53793	10.26965	2.905172	1.24069	0.004828	0.219305	0.31498
25	9/22/19 13:00	9.362091255	101929.9833	28.67789714	28.763	9.024	3.137	1.368667	0.004084	0.220351	0.417947
26	9/22/19 14:00	9.347254786	101856.1883	27.83065059	29.94138	8.616207	3.253103	1.462069	0.006824	0.222435	0.567903

Εικόνα 4.3: Αρχείο rawdata.xlsx, που δημιουργείται από το λογισμικό

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		combination							
2	0	504E7C32C8913E46							
3	1	66317C32C8913EBB							
4		0							
5	SO2	64.23321987							
6	Pressure	99.98660483							
7	R. Humidity	99.01179589							
8	Tc	97.35256729							
9	PM10	86.3002415							
10	PM2.5	98.68127628							
11	PM1	99.26509564							
12	NO2	54.24441474							
13	O3	84.24441474							
14	CO	62.22818176							
15									
16		combination							
17	0	504E7C32C8913E46							
18	1	UNIWA							
19		0							
20	SO2	87.91274906							
21	Pressure	96.96594321							
22	R. Humidity	98.36400562							
23	Tc	98.22389751							

Εικόνα 4.4: Αρχείο corr\_deca.xlsx, που δημιουργείται από το λογισμικό

### Purple Air

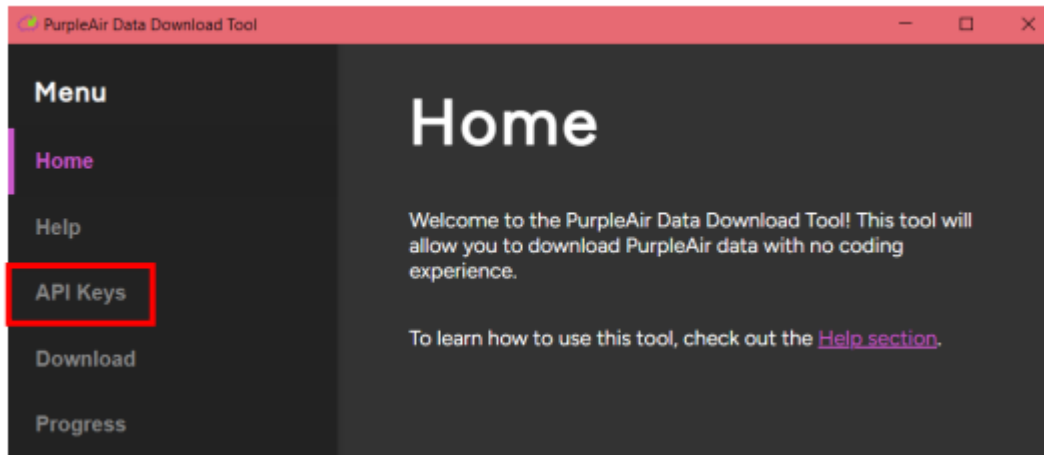
Για τη συλλογή των δεδομένων της Purple Air, ακολούθησα την εξής μεθοδολογία (‘Οδηγός λήψης δεδομένων PurpleAir.pdf’, 2023).

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Στέλνετε email στο [contact@purpleair.com](mailto:contact@purpleair.com), το οποίο πρέπει να αναφέρει το ονοματεπώνυμο σας καθώς και το email στο οποίο επιθυμείτε να σας στείλουν τα API keys. Όταν σας απαντήσουν το email που θα στείλουν θα έχει δύο κλειδιά, το “Read key” και το “Write key”.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Επισκεφτείτε αυτό το link <https://community.purpleair.com/t/purpleair-data-downloadtool/3787> και κατεβάστε την εφαρμογή PurpleAir Date Download Tool ανάλογα με το λογισμικό του υπολογιστή σας.

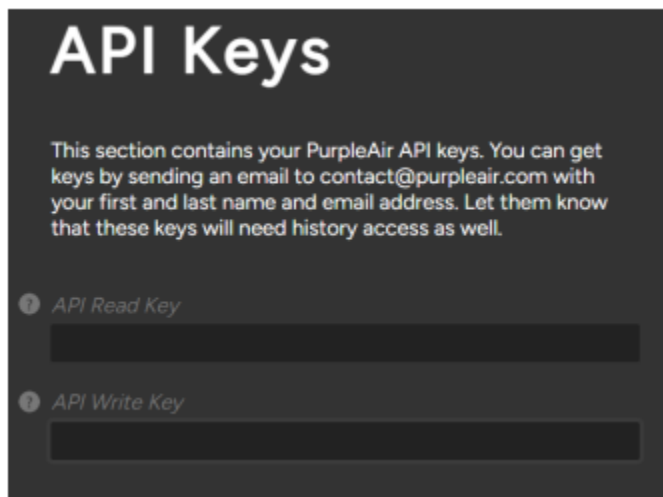
**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Αφού εγκαταστήσετε την εφαρμογή ανοίξτε την. Θα δείτε το παρακάτω παράθυρο και θα πατήσετε το “API Keys”.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 4.5:** Περιβάλλον PurpleAir Data Download tool

**Βήμα 4<sup>ο</sup>** : Συμπληρώστε τα κλειδιά από το email.

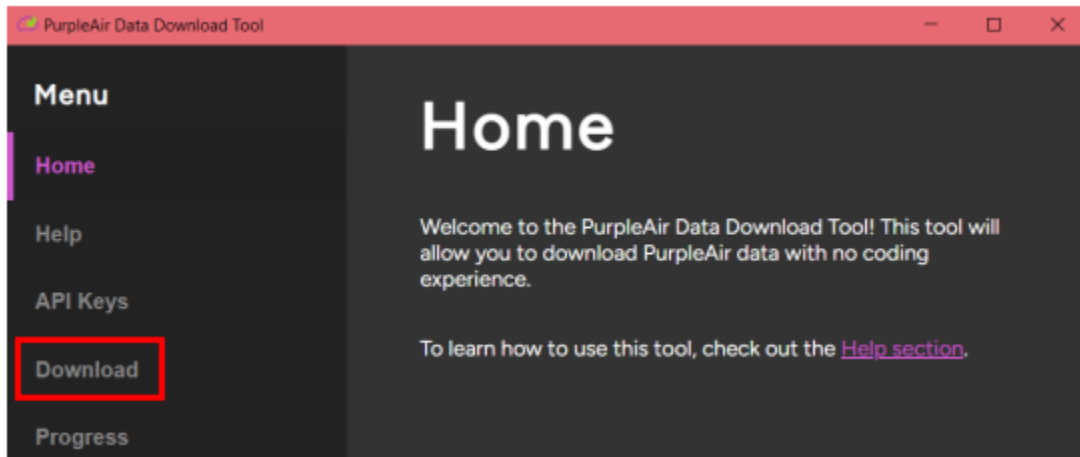


**Εικόνα 4.6:** Περιβάλλον PurpleAir Data Download tool

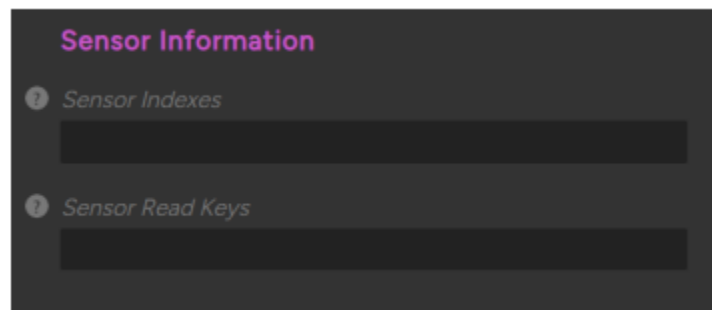
**Βήμα 5<sup>ο</sup>** : Πηγαίνετε στο download. Εκεί θα σας ζητηθεί να συμπληρώστε κάποιες πληροφορίες σχετικά με τον αισθητήρα και τα δεδομένα που θέλετε να κατεβάσετε.



Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 4.7:** Περιβάλλον PurpleAir Data Download tool

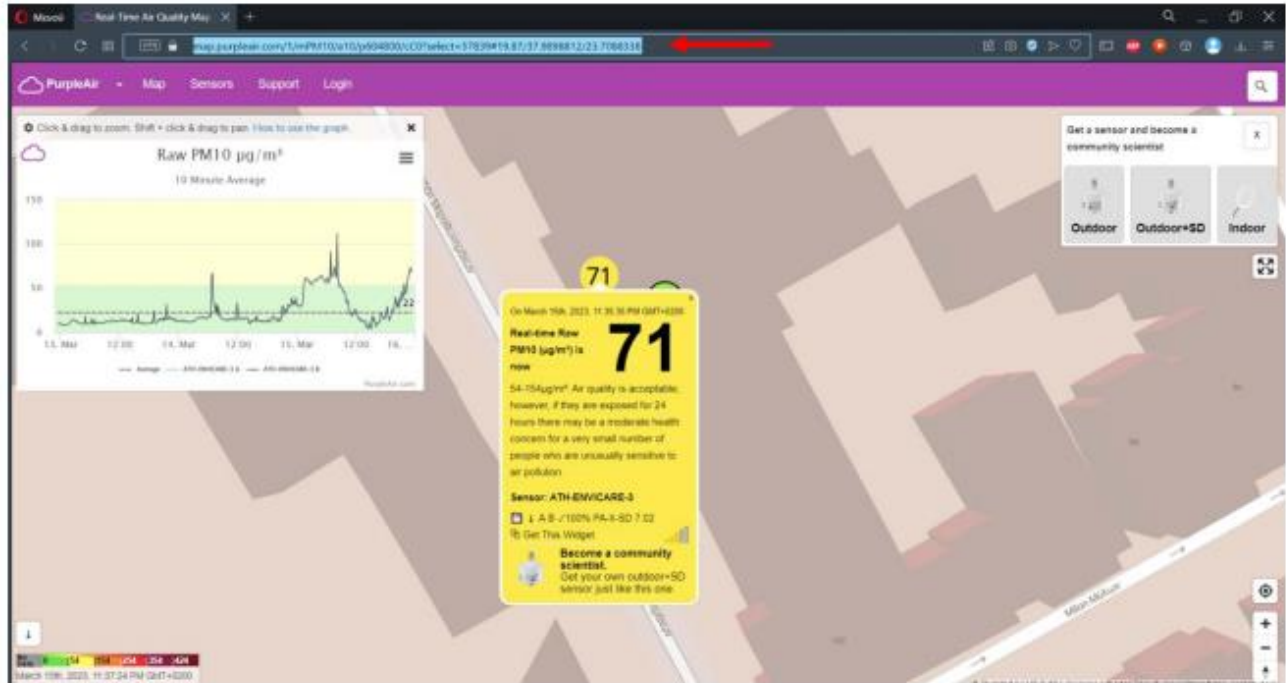


**Εικόνα 4.8:** Περιβάλλον PurpleAir Data Download tool

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Όσον αφορά το Sensor Indexes:

1. Πηγαίνετε στον χάρτη του PurpleAir
2. Πατάτε πάνω στον αισθητήρα του οποίου τα δεδομένα θέλετε.
3. Πάτε στο URL της σελίδας

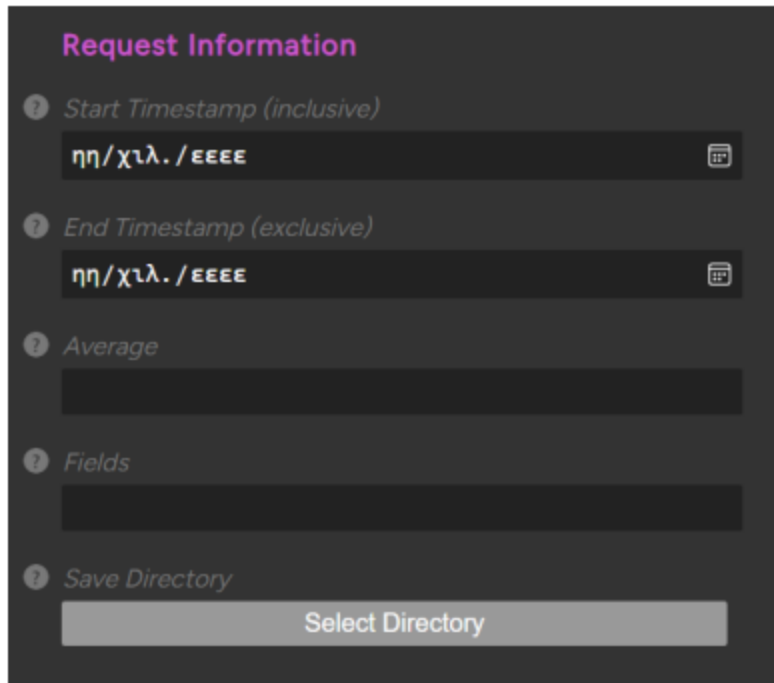


Εικόνα 4.9: Περιβάλλον ιστοσελίδας PurpleAir

4. Έστω ότι θέλουμε τα δεδομένα του παραπάνω αισθητήρα με URL <https://map.purpleair.com/1/mPM10/a10/p604800/c0?select=57839#19.87/37.9898812/23.7088338>. Το Sensor Index είναι τα νούμερα μετά το ίσων (=), δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση 57839. Αν θέλετε δεδομένα για πάνω από έναν αισθητήρα, χωρίζετε τα Sensor Indexes με κόμμα χωρίς κενό μεταξύ τους. Για παράδειγμα 57839,57838... Όσον αφορά το Sensor Read Key: Δεν χρειάζεται, εφόσον ο αισθητήρας είναι δημόσιος. Επομένως, αυτό το πεδίο μένει κενό

**Βήμα 6<sup>ο</sup>** : Αφού έχετε συμπληρώσει τα στοιχεία των αισθητήρων που θέλουμε, πρέπει να αναφέρετε ποια δεδομένα θέλετε να κατεβάσετε.

- Start/End Timestamp: Από μέχρι πότε θέλετε τα δεδομένα
- Average: Τον μέσο όρο των τιμών (10min, 60min). Αν πάτε το ποντίκι σας πάνω από το ερωτηματικό αριστερά της λέξης, θα σας δείξει τις χρονικές επιλογές που μπορείτε να διαλέξετε.
- Fields: Τα δεδομένα που θέλετε. Για παράδειγμα, θερμοκρασία, υγρασία και PM2,5.
- Save Directory: Επιλέγετε το φάκελο στον οποίο θέλετε να αποθηκευτεί το αρχείο που θα κατέβει.



**Request Information**

Start Timestamp (inclusive)  
ηη/χχλ. / ΕΕΕΕ

End Timestamp (exclusive)  
ηη/χχλ. / ΕΕΕΕ

Average

Fields

Save Directory

Select Directory

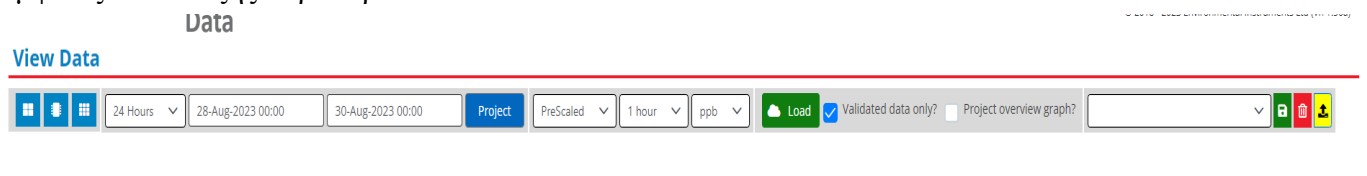
Εικόνα 4.10: Περιβάλλον PurpleAir Data Download tool

Η παραπάνω μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη λήψη των δεδομένων από τις συσκευές Libelium είναι από τον "Οδηγός Λήψης Δεδομένων Συσκευών PurpleAIR" όπου επιμέλεια αυτού είχαν η συνάδελφος Μαρίτα- Λουίζα Νικολάκου και ο επιβλέπων καθηγητής Δρ. Σπυρόπουλος Γεώργιος

### AQ Mesh

Για τη λήψη των δεδομένων από την συσκευή της AQ Mesh χρειάστηκε να λάβω από τον επιβλέπων καθηγητή τα στοιχεία σύνδεσης για το προφίλ του οργάνου και έπειτα ακολούθησα τα εξής βήματα.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>** : Αφού έκανα σύνδεση στο προφίλ του οργάνου από την ιστοσελίδα της AQ Mesh εμφανίζεται το εξής παράθυρο

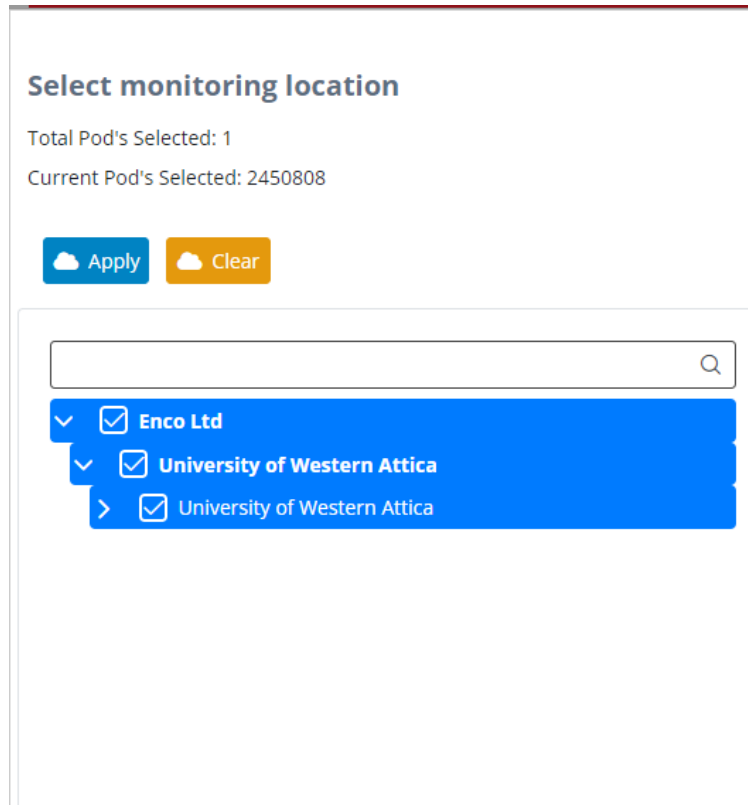


Εικόνα 4.11: Περιβάλλον AQ Mesh Data

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Ακολουθεί μια επεξήγηση των εικονιδίων που βλέπουμε από τα αριστερά προς τα δεξιά από την εικόνα 4.11

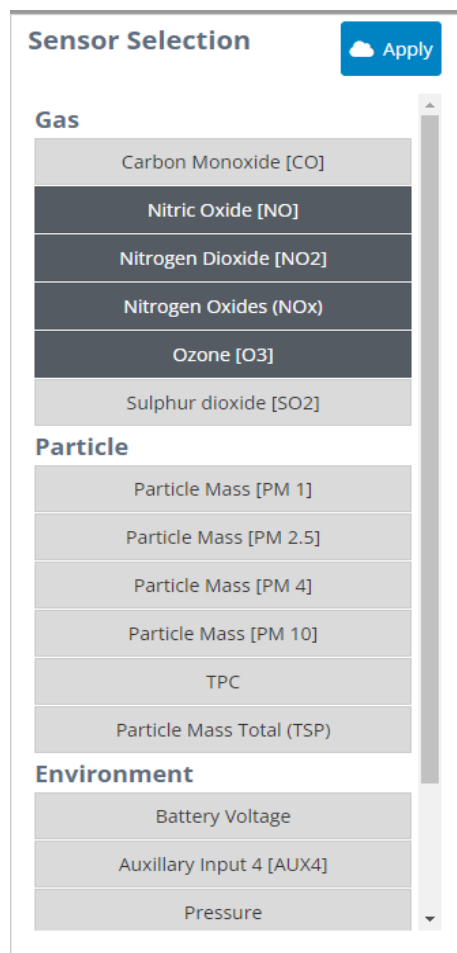
Το πρώτο εικονίδιο που αναφέρεται ως “show locations” δείχνει τα στοιχεία της περιοχής του οργάνου που ελέγχουμε.



**Εικόνα 4.12 :** Επεξήγηση εικονιδίων περιβάλλοντος AQ Mesh Data

Στη συνέχεια έχουμε το “Select Sensors” όπου μέσω αυτού επιλέγουμε τις πληροφορίες θέλουμε να λάβουμε από το όργανο. Από το ποιους ρύπους τις συγκεντρώσεις θέλουμε, μέχρι περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η πίεση, η υγρασία και η θερμοκρασία.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



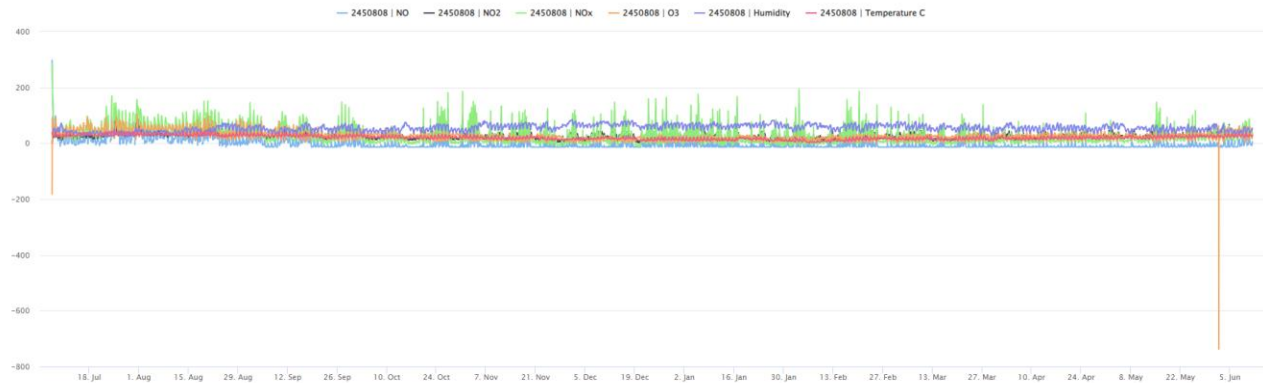
**Εικόνα 4.13:** Επεξήγηση εικονιδίων περιβάλλοντος AQ Mesh Data

Το επόμενο εικονίδιο εξυπηρετεί στο πως θα θέλαμε να εμφανιστούν τα δεδομένα που του ζητάμε μέσω ενός πίνακα ή διαγραμμάτων.

Pod Serial Num	Location Name	Project Time (In)	Project Time (Out)	Gas Protocol Ver	NO State	NO PreScaled	NO2 State	NO2 PreScaled	NOx State ppb	NOx PreScaled	O3 State	O3 PreScaled pp	Temperature C	Humidity %RH
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 12:00	07-Jul-2022 13:00	V5.3.1	Reading	297.6	Stabilizing	0.37	CHECK	284.65	Reading	-182.01	37.1	34.35
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 13:00	07-Jul-2022 14:00	V5.3.1	Reading	239.49	Reading	6.71	OK	246.2	Reading	89.43	38.65	32.45
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 14:00	07-Jul-2022 15:00	V5.3.1	Reading	204.82	Reading	10.25	OK	215.07	Reading	90.1	39.03	31.58
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 15:00	07-Jul-2022 16:00	V5.3.1	Reading	160.39	Reading	20.57	OK	180.96	Reading	94.17	38.2	35.58
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 16:00	07-Jul-2022 17:00	V5.3.1	Reading	143.35	Reading	25.19	OK	168.53	Reading	77.58	37.1	37.55
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 17:00	07-Jul-2022 18:00	V5.3.1	Reading	127.37	Reading	36.09	OK	163.46	Reading	65.01	36.15	40.78
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 18:00	07-Jul-2022 19:00	V5.3.1	Reading	113.22	Reading	37.44	OK	150.66	Reading	56.54	34.15	43.1
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 19:00	07-Jul-2022 20:00	V5.3.1	Reading	81.57	Reading	39.29	OK	120.86	Reading	51.42	31.2	46.95
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 20:00	07-Jul-2022 21:00	V5.3.1	Reading	62.17	Reading	34.3	OK	96.48	Reading	44.49	29.33	50.1
2450808	Pod 2450808	07-Jul-2022 21:00	07-Jul-2022 22:00	V5.3.1	Reading	57.65	Reading	30.99	OK	88.65	Reading	39.75	28.58	52.13

**Εικόνα 4.14:** Εμφάνιση δεδομένων μέσω πίνακα για AQ Mesh

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 4.15:** Εμφάνιση δεδομένων μέσω διαγραμμάτων για AQ Mesh

Τα επόμενα 4 εικονίδια αφορούν του από πότε μέχρι πότε θέλουμε να λάβουμε πληροφορίες από το όργανο καθώς και αν θέλουμε να εμφανιστούν σε UTC χρόνο ή σε πραγματικό χρόνο.

Στη συνέχεια έχουμε την επιλογή αν θέλουμε τα δεδομένα μας “prescaled”, “scaled”, ‘ή και τα δυο. Με τον όρο “prescaled” τα δεδομένα μας έχουν μετασχηματιστεί για να πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα και ιδιότητες, όπως μια συγκεκριμένη κατανομή ή κλίμακα πριν χρησιμοποιηθούν για ανάλυση. Με τον όρο “scaled” εννοούμε ότι οι μετρήσεις δεν έχουν υποβληθεί σε τεχνικές προεπεξεργασίας. Η επόμενη επιλογή που μας δίνεται είναι να επιλέξουμε το μέσο διάστημα μεταξύ της κάθε μέτρησης, όπου οι επιλογές είναι μεταξύ (5, 10, 15, 30 λεπτά και, 1 ή 2 ώρες). Τελευταία επιλογή στον πίνακα ελέγχου είναι να επιλέξουμε την μονάδα μέτρησης που θέλουμε να εμφανιστούν τα δεδομένα, μεταξύ ppb και  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οι τελευταίες επιλογές αφορούν την αποθήκευση των δεδομένων.

### 4.2 Επεξεργασία Μετρήσεων

Αρχικά ξεκινήσαμε κάνοντας έναν έλεγχο πληρότητας δεδομένων για το διάστημα όπου λειτούργησε το κάθε όργανο, με σκοπό τα αποτελέσματα μας να είναι αντιπροσωπευτικά για τις περιόδους όπου θα επεξεργαστούμε τα δεδομένα. Με τον όρο της πληρότητας εννοούνται οι έγκυρες μετρήσεις σε βαθμό ωριαίο, ημερήσιο, μηνιαίο. Οι κενές μετρήσεις όπου πιθανόν να υπήρχαν σε κάποιο όργανο οφείλονται είτε γιατί ο αισθητήρας είχε απεγκατασταθεί για λόγους συντήρησης είτε λόγω κάποιου τεχνικού προβλήματος. Έπειτα το επόμενο βήμα που ακολούθησα ήταν η επεξεργασία του φύλλου Excel έτσι ώστε να είναι πιο εύχρηστο στην επεξεργασία του.

## Libelium

Όσον αφορά την επεξεργασία του φύλλου excel για τα όργανα της Libelium , προχώρησα στις εξής επεξεργασίες.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	datetime	SO2	Pressure	R. Humidity	Tc	PM10	PM2.5	PM1	NO2	O3	CO							
1	09/21/19	9.069579	102087.3448	26.30371094	27.16931047	7.114138	2.761724	1.143793	0.030461	0.163775	0.829088							
2	09/21/19	9.48468	102061.8109	27.22686557	26.89068965	10.8531	2.786207	1.10069	0.078563	0.120341	0.742005							
3	09/21/19	9.486119	102044.1164	27.56968471	26.55892849	9.003214	2.723214	1.115357	0.074931	0.115092	0.744741							
4	09/21/19	9.464749	102056.6587	28.09226832	25.55620693	12.59414	2.961379	1.161034	0.100505	0.113345	0.760209							
5	09/21/19	9.402879	102072.893	29.86738955	23.72620681	9.119655	3.025862	1.285862	0.153497	0.117565	0.702907							
6	09/21/19	6.274569	102099.0592	34.44252232	21.72678573	9.989285	4.083928	1.902857	0.217423	0.506187	0.783305							
7	09/21/19	4.022887	102145.8462	37.34119073	20.74413786	10.97414	4.085862	2.176896	0.171383	0.783485	0.689522							
8	09/21/19	9.499717	102196.2726	38.69965652	20.11517255	10.50345	4.511034	2.433103	0.167203	2.468091	0.633798							
9	09/21/19	9.962549	102203.306	40.26393229	19.60733331	12.3	4.536667	2.456333	0.206753	3.076831	0.720727							
10	09/21/19	9.995546	102197.0924	41.38584321	19.20103448	9.8	3.565517	1.737586	0.192667	2.96733	0.646856							
11	09/22/19	10.02565	102165.6288	42.10048491	19.16689656	9.996207	3.731034	1.776207	0.199385	2.782198	0.614887							
12	09/22/19	8.948139	102131.3473	44.38843615	18.88172406	11.64483	3.696207	1.666552	0.205138	2.124706	0.625139							
13	09/22/19	9.628606	102134.0323	43.8555361	19.06379292	11.60586	3.786896	1.735517	0.163195	2.78129	0.535873							
14	09/22/19	10.05919	102137.3302	45.8898112	18.5149999	12.198	3.571333	1.611	0.190995	3.307656	0.54582							
15	09/22/19	10.07542	102141.2845	48.49131196	18.11275864	8.066896	3.633103	1.563448	0.199577	3.327605	0.561953							
16	09/22/19	10.08292	102128.5302	51.85041756	17.92793123	10.80793	3.463103	1.555172	0.203591	3.226635	0.561528							
17	09/22/19	10.10074	102130.0272	54.60024919	17.71931037	13.95724	3.745862	1.662414	0.205108	3.100547	0.559287							
18	09/22/19	10.10701	102131.376	57.73134766	17.51500003	12.92367	3.827667	1.684	0.214565	3.289566	0.574716							
19	09/22/19	5.42485	102116.4849	52.06758486	19.91620702	16.32724	4.386896	1.621724	0.056298	1.949865	0.5125							
20	09/22/19	0.269451	102141.0339	43.17635372	23.27999996	17.20345	4.243448	1.529655	0.000312	0.207167	0.302661							
21	09/22/19	0.264716	102130.9817	38.00922683	24.79275861	13.93483	3.55931	1.485862	0.000601	0.215787	0.295074							
22	09/22/19	0.308539	102070.4469	33.34287446	26.16413781	8.878965	3.295517	1.264828	0.008196	0.21555	0.341801							
23	09/22/19	5.821342	102007.1352	30.16894531	27.53793092	10.26965	2.905172	1.24069	0.004828	0.219305	0.417947							
24	09/22/19	9.362091	101929.9833	28.67789714	28.76299998	9.024	3.137	1.368667	0.004084	0.220351	0.417947							
25	09/22/19	9.347255	101856.1883	27.83065059	29.94137935	8.616207	3.253103	1.462069	0.006824	0.222435	0.567903							
26	09/22/19	9.377562	101795.5229	27.45453933	30.06413795	7.093793	2.994483	1.319655	0.00597	0.223231	0.698079							
27	09/22/19	9.335398	101752.8058	28.73336476	29.31758631	10.00759	3.027586	1.387241	0.010327	0.221065	0.641857							
28	09/22/19	9.381953	101719.7419	28.36196794	28.65931011	5.596207	2.293793	1.072069	0.007988	0.222942	0.666148							
29	09/22/19	9.363211	101704.0786	29.71425781	26.89433308	6.934	2.47	1.090667	0.07471	0.22443	0.687037							
30	09/22/19	2.13035	101697.4744	35.67504041	24.23172425	5.957931	2.721379	1.303448	0.219915	0.225195	0.817925							
31	09/22/19	6.792098	101750.1401	42.8282597	22.43999988	9.389655	3.085862	1.428276	0.223708	0.406096	0.724496							
32	09/22/19	9.291033	101788.6185	46.14214036	21.39655172	10.08621	4.475862	2.065517	0.192365	1.358885	0.680756							
33	09/22/19	9.413156	101792.6975	48.54653825	20.76172401	13.77069	4.782414	2.316896	0.188181	2.316568	0.659189							
34	09/22/19	9.556313	101777.763	50.08590495	20.23533319	11.47367	4.123667	1.999667	0.205087	2.365218	0.691766							
35	09/23/19	9.950215	101743.357	53.47481142	19.3420689	11.13965	4.433448	2.03	0.32194	2.87702	0.906763							
36	09/23/19	9.998034	101741.7206	53.09566945	19.1686206	9.903103	4.126552	1.99	0.290273	3.190905	0.870515							
37	09/23/19	504E7C32C8913E46	66317C32C8913E8B															

**Εικόνα 4.16: Αρχική μορφή φύλλου excel για όργανα Libelium**

**1<sup>ο</sup> βήμα:** Η προσθήκη 2 νέων στηλών “Month” και “Day” όπου θα βοηθήσουν στην ταχύτερη και καλύτερη ταξινομημένη επεξεργασία των δεδομένων.

**2<sup>ο</sup> βήμα:** Έλεγχος εάν οι μετρήσεις που έχουμε λάβει είναι στις σωστές μονάδες μέτρησης

**3<sup>ο</sup> βήμα:** Διόρθωση τιμών συγκεντρώσεων για τους ρύπους SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> και CO μέσω εξισώσεων διόρθωσης οι οποίες πάρθηκαν από (Spygroulos, Nastos and Moustris, 2021), όπου με τη βοήθεια ενός σταθερού σταθμού καταμέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δημιούργησαν τις εξισώσεις διόρθωσης για την βελτιστοποίηση των μετρήσεων του οργάνου.

**4<sup>ο</sup> βήμα:** Φιλτράρισμα τιμών και διαγραφή πολύ υψηλών συγκεντρώσεων οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε κάποιο σφάλμα του οργάνου

**5<sup>ο</sup> βήμα :** Υπολογισμός μέσων ωριαίων, ημερήσιων, μηνιαίων τιμών. Ο μέσος όρος κάθε μιας από αυτές τιμές, υπολογίστηκε με τον εξής τρόπο. Εφόσον δημιουργήθηκε μια καρτέλα

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

ξεχωριστά για κάθε ρύπο, στη συνέχεια εν συναρτήσει με τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να επιλεγεί κάθε ώρα, ημέρα, μήνας ξεχωριστά δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα για ένα τυπικό 24ωρο , μέσες ημερήσιες τιμές καθώς και μέσες μηνιαίες τιμές.

**6<sup>ο</sup> βήμα:** Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκαν οι μηνιαίοι αριθμοί υπερβάσεων για όλη τη χρονοσειρά ανά ρύπο. Οι οριακές τιμές συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου λήφθηκαν από την βιβλιογραφία και έχουν ως εξής:

Οριακή τιμή PM1.0 → 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οριακή τιμή PM2.5 → 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οριακή τιμή PM10.0 → 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οριακή τιμή SO<sub>2</sub> → 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οριακή τιμή NO<sub>2</sub> → 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Οριακή τιμή CO → 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

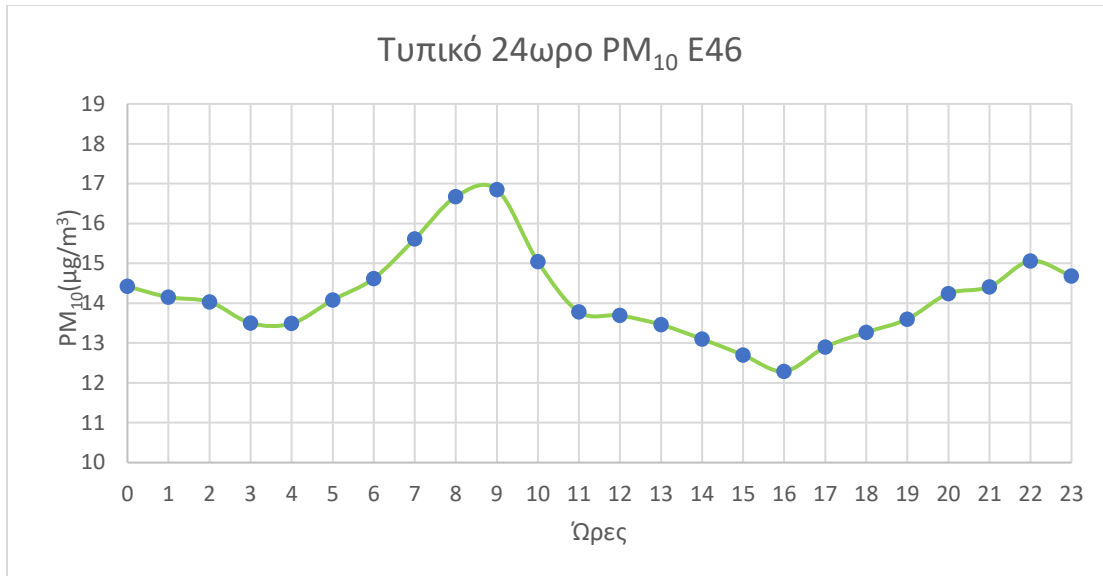
Οριακή τιμή O<sub>3</sub> → 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
PM10				PM10			PM10			
	0	14.42		Ιανουαριος	14.75		Δευτερα	15.09		
	1	14.15		Φεβρουαριος	17.24		Τριτη	14.7		
	2	14.032		Μαρτιος	10.65		Τεταρτη	14.03		
	3	13.5		Απριλιος	15.16		Πεμπτη	14.7		
	4	13.49		Μαιος	13.26		Παρασκευη	13.22		
	5	14.08		Ιουνιος	12.51		Σαββατο	14.3		
	6	14.62		Ιουλιος	12.21		Κυριακη	13.41		
	7	15.61		Αυγουστος	10.4					
	8	16.67		Σεπτεμβριος	13.7					
	9	16.85		Οκτωβριος	13.41					
	10	15.04		Νοεμβριος	18.14					
	11	13.78		Δεκεμβριος	16.39					
	12	13.69								
	13	13.46								
	14	13.1								
	15	12.7								
	16	12.29								
	17	12.9								
	18	13.27								
	19	13.6								
	20	14.24								
	21	14.41								
	22	15.06								
	23	14.68								

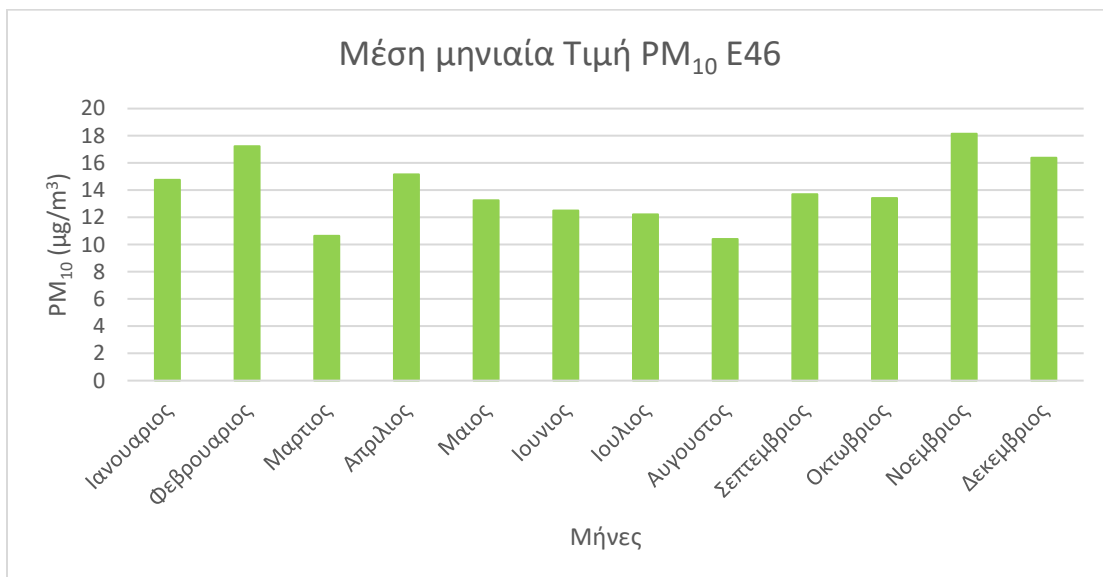
**Εικόνα 4.17:** Απεικόνιση μέσω των τιμών για ρύπο PM 10



## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

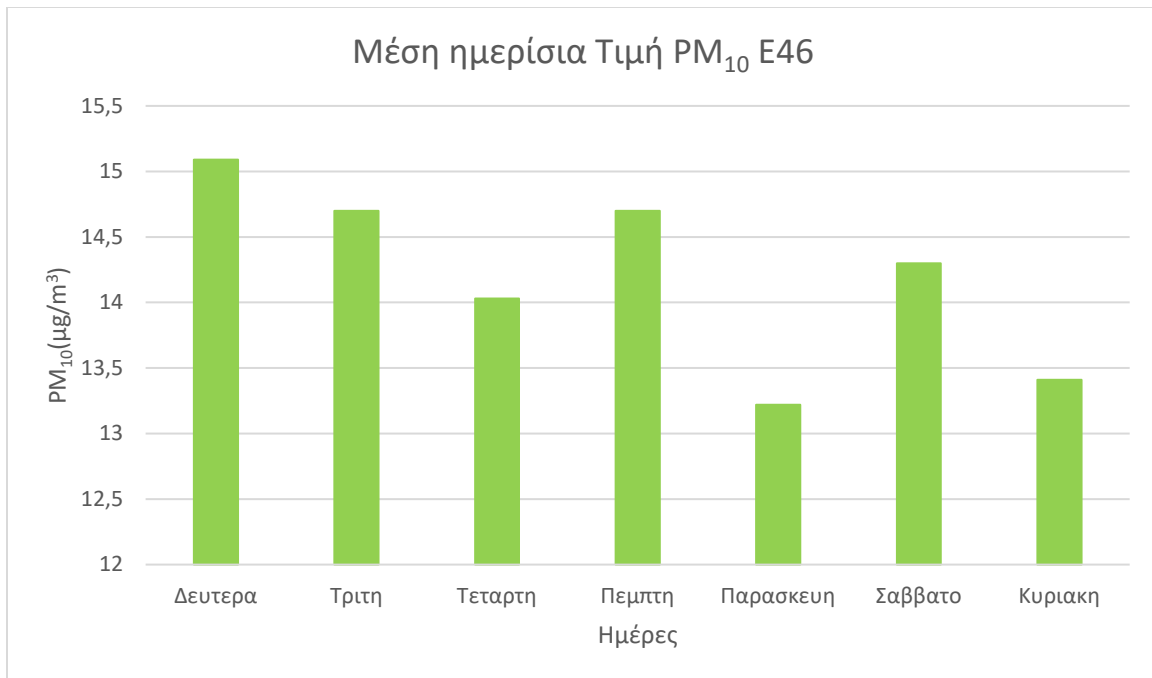


Εικόνα 4.18: Απεικόνιση μέσου τυπικού 24ωρου

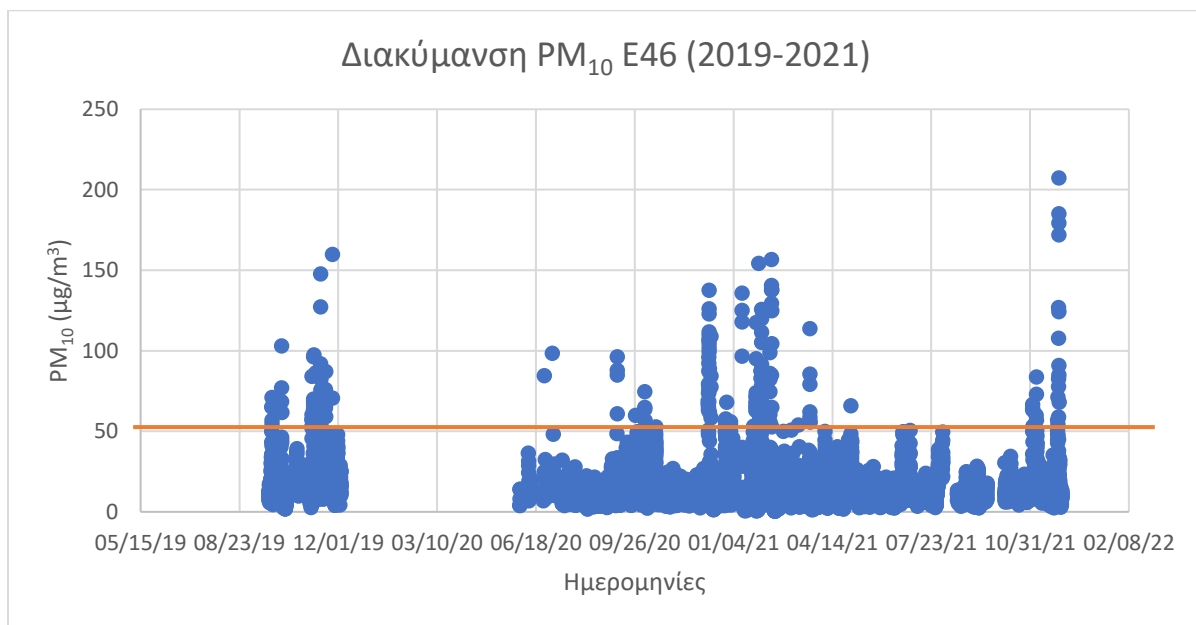


Εικόνα 4.19: Απεικόνιση μέσης μηνιαίας τιμής

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Εικόνα 4.20:** Απεικόνιση μέσης ημερήσιας τιμής



**Εικόνα 4.21:** Απεικόνιση μέσης διακύμανσης PM<sub>10</sub> με σημειωμένο το όριο συναγερμού

## Purple Air

Για την επεξεργασία των δεδομένων των οργάνων της Purple Air ακολούθησα την εξής μεθοδολογία.

**1<sup>ο</sup> βήμα:** Έλεγχος αισθητήρων, εάν το όργανο λειτουργεί σωστά. Κάθε αισθητήρας PurpleAir χρησιμοποιεί διπλό μετρητή λέιζερ προκειμένου να παρέχει ένα επίπεδο ακρίβειας στα δεδομένα. Προορίζεται για να παρέχει κι έναν τρόπο προσδιορισμού της «υγείας» του αισθητήρα αλλά και της ανίχνευσης σφαλμάτων. Μερικά από τα σφάλματα σε ένα μετρητή λέιζερ είναι η βλάβη του ανεμιστήρα, τα έντομα ή ακόμα και ένα στρώμα σκόνης από μακροχρόνια έκθεση. Αν και οι δυο μετρητές λέιζερ συμφωνούν τότε τα δεδομένα θεωρούνται ως εξαιρετικής ποιότητας. Αν όμως υπάρχουν διαφορετικές ενδείξεις, δηλαδή  $\pm 5\mu\text{gr}/\text{m}^3$  τότε ενδεχομένως να υπάρχει σφάλμα είτε στο ένα είτε και στα δύο κανάλια.

created_at	PM10_CF1_ug/m3	PM2.5_CF1_ug/m3	PM10_0_CF1_ug/m3	UptimeMinute	RSSI_dbm	Temperature_f	Humidity_%	PM2.5_ATM_ug/m3
6/17/2020 9:00:00 PM UTC	2.94	5.67	6.06	11.50	-46.95	75.27	21.82	5.63
6/17/2020 10:00:00 PM UTC	74.96	110.88	115.38	28.13	-47.40	76.50	20.50	73.71
6/17/2020 11:00:00 PM UTC	37.68	51.07	52.55	88.00	-49.27	79.07	21.00	39.92
6/18/2020 12:00:00 AM UTC	6.41	8.85	9.11	148.00	-49.10	79.83	21.00	8.85
6/18/2020 1:00:00 AM UTC	1.13	1.86	1.96	208.00	-50.20	80.87	21.00	1.86
6/18/2020 2:00:00 AM UTC	0.06	0.34	0.38	268.00	-50.40	81.80	21.00	0.34
6/18/2020 3:00:00 AM UTC	0.70	1.39	1.57	328.00	-45.83	76.57	20.37	1.39
6/18/2020 4:00:00 AM UTC	0.66	1.37	1.50	388.00	-46.43	75.40	21.20	1.37
6/18/2020 5:00:00 AM UTC	0.55	1.15	1.26	448.00	-46.63	75.00	22.00	1.15
6/18/2020 6:00:00 AM UTC	0.36	0.90	1.01	508.00	-46.63	74.23	22.60	0.90
6/18/2020 7:00:00 AM UTC	0.24	0.74	0.85	568.00	-45.43	73.47	23.00	0.74
6/18/2020 8:00:00 AM UTC	0.16	0.61	0.68	628.00	-46.40	73.00	23.90	0.61
6/18/2020 9:00:00 AM UTC	0.13	0.52	0.55	688.00	-45.90	72.17	24.00	0.52
6/18/2020 10:00:00 AM UTC	0.11	0.51	0.55	748.00	-46.07	72.00	24.00	0.51
6/18/2020 11:00:00 AM UTC	0.10	0.48	0.55	808.00	-47.20	71.60	24.40	0.48
6/18/2020 12:00:00 PM UTC	0.15	0.53	0.59	868.00	-46.50	70.97	25.00	0.53
6/18/2020 1:00:00 PM UTC	0.13	0.55	0.61	928.00	-46.50	71.50	24.53	0.55
6/18/2020 2:00:00 PM UTC	0.22	0.66	0.75	988.00	-46.60	72.77	24.00	0.66
6/18/2020 3:00:00 PM UTC	0.52	1.00	1.10	1048.00	-46.77	74.00	23.13	1.00
6/18/2020 4:00:00 PM UTC	0.59	1.05	1.17	1092.00	-47.29	74.64	23.36	1.05
6/18/2020 5:00:00 PM UTC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6/18/2020 6:00:00 PM UTC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6/18/2020 7:00:00 PM UTC	97.31	139.29	144.47	9.94	-54.71	79.18	20.94	92.52
6/18/2020 8:00:00 PM UTC	42.88	57.09	58.72	51.00	-55.37	85.26	17.52	42.95
6/22/2020 11:00:00 PM UTC	0.26	0.98	1.18	2.00	-51.00	80.00	28.00	0.98
7/31/2020 12:00:00 PM UTC	15.37	22.52	23.04	13.87	-62.35	96.91	22.13	22.52
7/31/2020 1:00:00 PM UTC	14.42	21.15	21.49	62.00	-69.07	115.50	10.97	21.10
7/31/2020 2:00:00 PM UTC	14.71	20.96	21.25	122.00	-69.00	121.70	8.07	20.96
7/31/2020 3:00:00 PM UTC	14.84	21.63	21.92	182.00	-69.13	121.40	8.00	21.58
7/31/2020 4:00:00 PM UTC	14.64	21.41	21.82	173.73	-69.77	118.23	9.13	21.34
7/31/2020 5:00:00 PM UTC	17.23	26.62	27.46	22.24	-55.41	101.03	13.10	25.64
7/31/2020 6:00:00 PM UTC	22.97	34.90	36.12	19.33	-71.17	94.50	29.22	32.39
7/31/2020 7:00:00 PM UTC	20.61	30.13	31.06	64.00	-72.03	94.93	31.90	29.23
7/31/2020 8:00:00 PM UTC	18.69	27.95	28.71	124.00	-71.40	93.27	33.83	27.41
7/31/2020 9:00:00 PM UTC	23.76	36.53	37.97	184.00	-70.17	93.00	33.70	33.12
7/31/2020 10:00:00 PM UTC	19.10	28.34	29.08	244.00	-69.97	92.90	32.77	27.87

Εικόνα 4.22: Απεικόνιση Primary Καναλιού Α

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Στην στήλη A έχουμε τις ημερομηνίες καταγραφής δεδομένων για τον εκάστοτε σταθμό. Οι ημερομηνίες αλλάζουν σε κάθε ένα σταθμό που επιλέγουμε να αντλήσουμε δεδομένα λόγω των διαφορετικών ημερομηνιών που τοποθετήθηκαν για πρώτη φορά οι αισθητήρες. Στη συνέχεια στην στήλη B έχουμε τις ώρες καταγραφής του σταθμού και στην προκειμένη έχουμε επιλέξει να κατεβάζει τα δεδομένα ανά 1 ώρα. Στην στήλη D, E και F έχουμε μετρήσεις συγκεντρώσεων PM1.0, PM2.5 και PM10.0 σε CF=1 όπου το CF1 προορίζεται για χρήση για εφαρμογές εσωτερικού ή ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Στην στήλη G έχουμε το χρόνο λειτουργίας σε δευτερόλεπτα και στην στήλη H έχουμε την ενίσχυση σήματος του Wi-Fi σε dBm. Η στήλη I αφορά την τρέχουσα θερμοκρασία σε Fahrenheit και η στήλη J αφορά την τρέχουσα υγρασία σε ποσοστό τις εκατό. Τέλος στην στήλη K έχουμε την συγκέντρωση των PM2.5 σε ATM. Το ATM είναι «ατμοσφαιρικό» που προορίζεται για να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές εξωτερικού χώρου.

created_at			PM1.0_CF1_ug/m3	PM2.5_CF1_ug/m3	PM10.0_CF1_ug/m3	UptimeMinute:ADC	Pressure_hpa:IAQ		PM2.5 ATM ug/m3								
6/17/2020	#####	UTC	2.58	4.64	4.94	18101.45	0.03	869.37	4.62								
6/17/2020	#####	UTC	73.25	107.38	112.12	18447.47	0.03	869.47	71.34								
6/17/2020	#####	UTC	35.92	47.50	48.56	18406.67	0.03	869.61	37.62								
6/18/2020	#####	UTC	5.99	7.72	7.95	18421.60	0.03	869.54	7.72								
6/18/2020	#####	UTC	1.00	1.47	1.54	18421.60	0.03	869.52	1.47								
6/18/2020	#####	UTC	0.01	0.08	0.12	18427.20	0.03	869.66	0.08								
6/18/2020	#####	UTC	0.43	0.89	1.01	18432.80	0.03	869.92	0.89								
6/18/2020	#####	UTC	0.37	0.81	0.96	18440.27	0.03	870.59	0.81								
6/18/2020	#####	UTC	0.31	0.68	0.79	18455.20	0.03	870.97	0.68								
6/18/2020	#####	UTC	0.21	0.50	0.59	18417.87	0.03	871.06	0.50								
6/18/2020	#####	UTC	0.04	0.35	0.46	18417.87	0.03	871.02	0.35								
6/18/2020	#####	UTC	0.03	0.20	0.29	18404.80	0.03	870.89	0.20								
6/18/2020	#####	UTC	0.01	0.12	0.17	18421.60	0.03	870.97	0.12								
6/18/2020	#####	UTC	0.01	0.12	0.16	18402.93	0.03	871.03	0.12								
6/18/2020	#####	UTC	0.01	0.12	0.16	18404.80	0.03	871.08	0.12								
6/18/2020	#####	UTC	0.04	0.15	0.20	18427.20	0.03	871.11	0.15								
6/18/2020	#####	UTC	0.05	0.19	0.27	18401.07	0.03	871.13	0.19								
6/18/2020	#####	UTC	0.06	0.21	0.28	18421.60	0.03	871.08	0.21								
6/18/2020	#####	UTC	0.24	0.47	0.55	18429.07	0.03	871.05	0.47								
6/18/2020	#####	UTC	0.33	0.64	0.76	18392.00	0.03	870.71	0.64								
6/18/2020	#####	UTC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
6/18/2020	#####	UTC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
6/18/2020	#####	UTC	101.12	144.14	149.08	18515.76	0.03	869.12	95.77								
6/18/2020	#####	UTC	41.53	54.22	55.29	18396.44	0.03	868.82	41.27								
6/22/2020	#####	UTC	0.34	0.45	0.58	18648.00	0.02	868.11	0.45								
7/31/2020	#####	UTC	15.32	21.39	21.88	18271.30	0.03	1005.72	21.39								
7/31/2020	#####	UTC	14.75	19.60	19.89	18477.60	0.02	1005.32	19.57								
7/31/2020	#####	UTC	14.80	19.31	19.51	18472.00	0.02	1005.01	19.31								
7/31/2020	#####	UTC	14.95	19.74	19.99	18404.53	0.02	1004.73	19.70								
7/31/2020	#####	UTC	15.01	20.05	20.36	18468.80	0.02	1004.47	20.04								
7/31/2020	#####	UTC	17.54	26.15	26.70	18524.14	0.03	1004.50	25.20								
7/31/2020	#####	UTC	22.76	33.30	34.05	18510.67	0.03	1005.15	31.14								
7/31/2020	#####	UTC	21.32	29.96	30.56	18526.19	0.03	1005.44	29.08								
7/31/2020	#####	UTC	19.68	27.72	28.30	18618.76	0.03	1005.39	27.10								

Εικόνα 4.23: Απεικόνιση Primary Καναλιού B

Στην στήλη A έχουμε τις ημερομηνίες καταγραφής δεδομένων για τον εκάστοτε σταθμό. Στην συνέχεια στην στήλη B έχουμε τις ώρες καταγραφής του σταθμού και στην προκειμένη έχουμε επιλέξει να κατεβάζει τα δεδομένα ανά 1 ώρα. Στην στήλη D, E και F έχουμε μετρήσεις συγκεντρώσεων PM1.0, PM 2.5 και PM10.0 σε CF=1 όπου το CF1 προορίζεται για χρήση για εφαρμογές εσωτερικού χώρου. Στην στήλη G έχουμε το χρόνο λειτουργίας σε δευτερόλεπτα και στην στήλη H έχουμε την ένδειξη τάσης στην αναλογική είσοδο του πίνακα ελέγχου. Η στήλη I

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

αφορά την τρέχουσα πίεση σε millibar . Τέλος στην στήλη K έχουμε την συγκέντρωση των PM2.5 σε ATM δηλαδή εξωτερικού χώρου.

A	B	C	D
ATH ENVICARE 1			
SENSOR A		SENSOR B	
PM 1	15.87	PM 1	15.67
PM 2.5	24.12	PM 2.5	23.28
PM 10	25.11	PM 10	24.25

**Πίνακας 4.1:** Έλεγχος αισθητήρα για όργανο ATH ENVICARE 1

Ο έλεγχος γίνεται παίρνοντας τον μέσο όρο των μετρήσεων κάθε αισθητήρα για κάθε ρύπο συγκρίνοντας τον με το αντίστοιχο κανάλι.

**2ο βήμα:** Εφόσον έγινε έλεγχος των αισθητήρων ότι λειτουργούν σωστά , το επόμενο βήμα να χρησιμοποιήσω ως μετρήσεις για κάθε ρύπο τον μέσο όρο μεταξύ των δυο καναλιών

**3ο βήμα:** Η προσθήκη δυο έξτρα ωρών από την ώρα της καταγραφής για να συμβαδίζει με ώρες Ελλάδος

**4ο βήμα:** Η αλλαγή των ωρών σε θερινή και χειμερινή κάθε τελευταία Κυριακή του Μαρτίου και του Οκτωβρίου.

**5ο βήμα:** Έλεγχος εάν οι μετρήσεις που έχουμε λάβει είναι στις σωστές μονάδες μέτρησης

**6ο βήμα:** Η βελτιστοποίηση των συγκεντρώσεων του ρύπου μέσω εξισώσεων διόρθωσης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από την έρευνα από (Stavroulas *et al.*, 2020), η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η aModel 2 από την ενότητα S10. Calibration Models for Athens dataset

**7ο βήμα:** Φιλτράρισμα τιμών και διαγραφή πολύ υψηλών συγκεντρώσεων οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε κάποιο σφάλμα του οργάνου

**8ο βήμα :** Υπολογισμός μέσων ωριαίων, ημερήσιων, μηνιαίων τιμών. Ο μέσος όρος κάθε μιας από αυτές τιμές, υπολογίστηκε με τον εξής τρόπο. Εφόσον δημιουργήθηκε μια καρτέλα ξεχωριστά για κάθε ρύπο, στη συνέχεια εν συναρτήσκει με τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να επιλεγεί κάθε ώρα, ημέρα, μήνας ξεχωριστά δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα για ένα τυπικό 24ωρο , μέσες ημερήσιες τιμές καθώς και μέσες μηνιαίες τιμές.

**9ο βήμα:** Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκαν οι μηνιαίοι αριθμοί υπερβάσεων για όλη τη χρονοσειρά ανά ρύπο.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

created_at				SENSOR A	SENSOR B	PM 1 AVERAGE	SENSOR A	SENSOR B	PM 2.5 AVERAGE	PM 2.5 AVERAGE CORRELATED	SENSOR A	SENSOR B	PM 10 AVERAGE	Temperature_F	Humidity_%	DAYS	MONTH
6/17/2020 21:00 UTC	23:00	2:58	2:94	2.76	4.64	5.67	5.155			15.66156087	4.94	6.06	5.5	75.27	21.82	Wednesday	June
6/17/2020 22:00 UTC	0:00	73.25	74.96	74.105	107.38	110.88	109.13			64.19941114	112.12	115.38	113.75	76.50	20.50	Wednesday	June
6/17/2020 23:00 UTC	1:00	35.92	37.68	36.8	47.50	51.07	49.285			33.63207896	48.56	52.55	50.555	79.07	21.00	Thursday	June
6/18/2020 0:00 UTC	2:00	5.99	6.41	6.2	7.72	8.85	8.285			13.47197845	7.95	9.11	8.53	79.83	21.00	Thursday	June
6/18/2020 1:00 UTC	3:00	1.00	1.13	1.065	1.47	1.86	1.665			12.12382131	1.54	1.96	1.75	80.87	21.00	Thursday	June
6/18/2020 2:00 UTC	4:00	0.01	0.06	0.035	0.08	0.34	0.21			19.68644333	0.12	0.38	0.25	81.80	21.00	Thursday	June
6/18/2020 3:00 UTC	5:00	0.43	0.70	0.565	0.89	1.39	1.14			14.38649439	1.01	1.57	1.29	76.57	20.37	Thursday	June
6/18/2020 4:00 UTC	6:00	0.37	0.66	0.515	0.81	1.37	1.09			14.76684138	0.96	1.50	1.23	75.40	21.20	Thursday	June
6/18/2020 5:00 UTC	7:00	0.31	0.55	0.43	0.68	1.15	0.915			14.72522128	0.79	1.26	1.025	75.00	22.00	Thursday	June
6/18/2020 6:00 UTC	8:00	0.21	0.36	0.285	0.50	0.90	0.7			15.7187	0.59	1.01	0.8	74.23	22.60	Thursday	June
6/18/2020 7:00 UTC	9:00	0.04	0.24	0.14	0.35	0.74	0.545			18.27218216	0.46	0.85	0.655	73.47	23.00	Thursday	June
6/18/2020 8:00 UTC	10:00	0.03	0.16	0.095	0.20	0.61	0.405			18.59391673	0.29	0.68	0.485	73.00	23.90	Thursday	June
6/18/2020 9:00 UTC	11:00	0.01	0.13	0.07	0.12	0.52	0.32			18.828995	0.17	0.55	0.36	72.17	24.00	Thursday	June
6/18/2020 10:00 UTC	12:00	0.01	0.11	0.06	0.12	0.51	0.315			19.32133167	0.16	0.55	0.355	72.00	24.00	Thursday	June
6/18/2020 11:00 UTC	13:00	0.01	0.10	0.055	0.12	0.48	0.3			19.43896667	0.16	0.55	0.355	71.60	24.40	Thursday	June
6/18/2020 12:00 UTC	14:00	0.04	0.15	0.095	0.15	0.53	0.34			17.77723412	0.20	0.59	0.395	70.97	25.00	Thursday	June
6/18/2020 13:00 UTC	15:00	0.05	0.13	0.09	0.19	0.55	0.37			18.42491324	0.27	0.61	0.44	71.50	24.53	Thursday	June
6/18/2020 14:00 UTC	16:00	0.06	0.22	0.14	0.21	0.66	0.435			17.08140109	0.28	0.75	0.515	72.77	24.00	Thursday	June
6/18/2020 15:00 UTC	17:00	0.24	0.52	0.38	0.47	1.00	0.735			13.81326595	0.55	1.10	0.825	74.00	23.13	Thursday	June
6/18/2020 16:00 UTC	18:00	0.33	0.59	0.46	0.64	1.05	0.845			13.38826778	0.76	1.17	0.965	74.64	23.36	Thursday	June
6/18/2020 17:00 UTC	19:00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0			0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	Thursday	June
6/18/2020 18:00 UTC	20:00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0			0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	Thursday	June
6/18/2020 19:00 UTC	21:00	101.12	97.31		144.14	139.29	141.715			92.082065	149.08	144.47	146.775	79.18	20.94	Thursday	June
6/18/2020 20:00 UTC	22:00	41.53	42.88	42.205	54.22	57.09	55.655			36.55578477	55.29	58.72	57.005	85.26	17.52	Monday	June
6/22/2020 23:00 UTC	1:00	0.34	0.26	0.3	0.45	0.98	0.715			15.50840766	0.58	1.18	0.88	80.00	28.00	Friday	June
7/31/2020 12:00 UTC	14:00	15.32	15.37	15.345	21.39	22.52	21.955			21.0486365	21.88	23.04	22.46	96.91	22.13	Friday	July
7/31/2020 13:00 UTC	15:00	14.75	14.42	14.585	19.60	21.15	20.375			19.97713113	19.89	21.49	20.69	115.50	10.97	Friday	July
7/31/2020 14:00 UTC	16:00	14.80	14.71	14.755	19.31	20.96	20.135			19.5622242	19.51	21.25	20.38	121.70	8.07	Friday	July
7/31/2020 15:00 UTC	17:00	14.95	14.84	14.895	19.74	21.63	20.685			20.05481216	19.99	21.92	20.955	121.40	8.07	Friday	July
7/31/2020 16:00 UTC	18:00	15.01	14.64	14.825	20.05	21.41	20.73			20.16335523	20.36	21.82	21.09	118.23	9.13	Friday	July
7/31/2020 17:00 UTC	19:00	17.54	17.23	17.385	26.15	26.62	26.385			23.92433574	26.70	27.46	27.08	101.03	13.10	Friday	July
7/31/2020 18:00 UTC	20:00	22.76	22.97	22.865	33.30	34.90	34.1			27.50886246	34.05	36.12	35.085	94.50	29.22	Friday	July
7/31/2020 19:00 UTC	21:00	21.32	20.61	20.965	29.96	30.13	30.045			25.04082857	30.56	31.06	30.81	94.93	31.90	Friday	July
7/31/2020 20:00 UTC	22:00	19.68	18.69	19.185	27.72	27.95	27.835			24.10528211	28.30	28.71	28.505	93.27	33.83	Friday	July
7/31/2020 21:00 UTC	23:00	23.91	23.76	23.835	35.54	36.53	36.035			28.61798034	36.48	37.97	37.225	93.00	33.70	Friday	July
7/31/2020 22:00 UTC	0:00	19.67	19.16	19.385	27.70	28.34	28.02			24.15084284	28.27	29.08	28.675	92.40	32.77	Friday	July

Εικόνα 4.24: Τελική μορφή επεξεργασμένου φύλου excel για ATH ENVICARE 1

### AQ Mesh

Για την επεξεργασία των δεδομένων του οργάνου της Purple Air ακολούθησα την εξής μεθοδολογία.

**1<sup>ο</sup> βήμα:** Η προσθήκη 2 νέων στηλών “Month” και “Day” όπου θα βοηθήσουν στην ταχύτερη και καλύτερη ταξινόμημένη επεξεργασία των δεδομένων.

**2<sup>ο</sup> βήμα:** Έλεγχος εάν οι μετρήσεις που έχουμε λάβει είναι στις σωστές μονάδες μέτρησης

**3<sup>ο</sup> βήμα:** Φιλτράρισμα τιμών και διαγραφή πολύ υψηλών συγκεντρώσεων οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε κάποιο σφάλμα του οργάνου

**4<sup>ο</sup> βήμα :** Υπολογισμός μέσων ωριαίων, ημερήσιων, μηνιαίων τιμών. Ο μέσος όρος κάθε μιας από αυτές τιμές, υπολογίστηκε με τον εξής τρόπο. Εφόσον δημιουργήθηκε μια καρτέλα ξεχωριστά για κάθε ρύπο, στη συνέχεια εν συναρτήσε με τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να επιλεγεί κάθε ώρα, ημέρα, μήνας ξεχωριστά δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα για ένα τυπικό 24ωρο , μέσες ημερήσιες τιμές καθώς και μέσες μηνιαίες τιμές.

**5<sup>ο</sup> βήμα:** Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκαν οι μηνιαίοι αριθμοί υπερβάσεων για όλη τη χρονοσειρά ανά ρύπο.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Αποτελέσματα – Σχολιασμοί

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν όλα τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για την αποτύπωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας, καθώς και θα γίνει και ο σχολιασμός αυτών. Προς διευκόλυνση στο κεφάλαιο 5 ο πίνακας 5.1 απεικονίζει τον χρωματισμό όπου χαρακτηρίζει τον κάθε ρύπο στα ακόλουθα σχήματα.

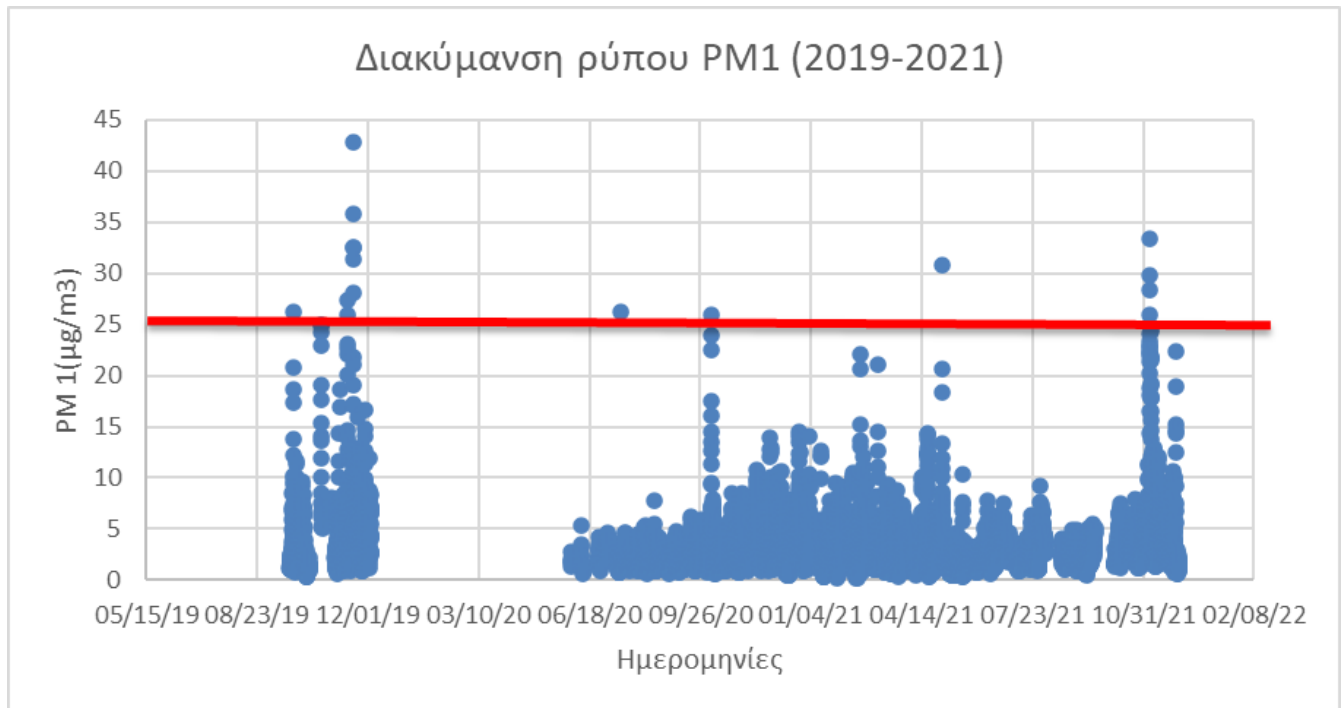
Ρύπος	Χρωματισμός στους ρύπους
Αιωρούμενα σωματίδια PM <sub>1</sub>	Blue
Αιωρούμενα σωματίδια PM <sub>2.5</sub>	Red
Αιωρούμενα σωματίδια PM <sub>10</sub>	Green

**Πίνακας 5.1: Χρωματική απεικόνιση ρύπων**

### 5.1 Έλεγχος Οργάνου E46

#### 5.1.1 Διακύμανση ρύπου PM<sub>1</sub> από το όργανο E46

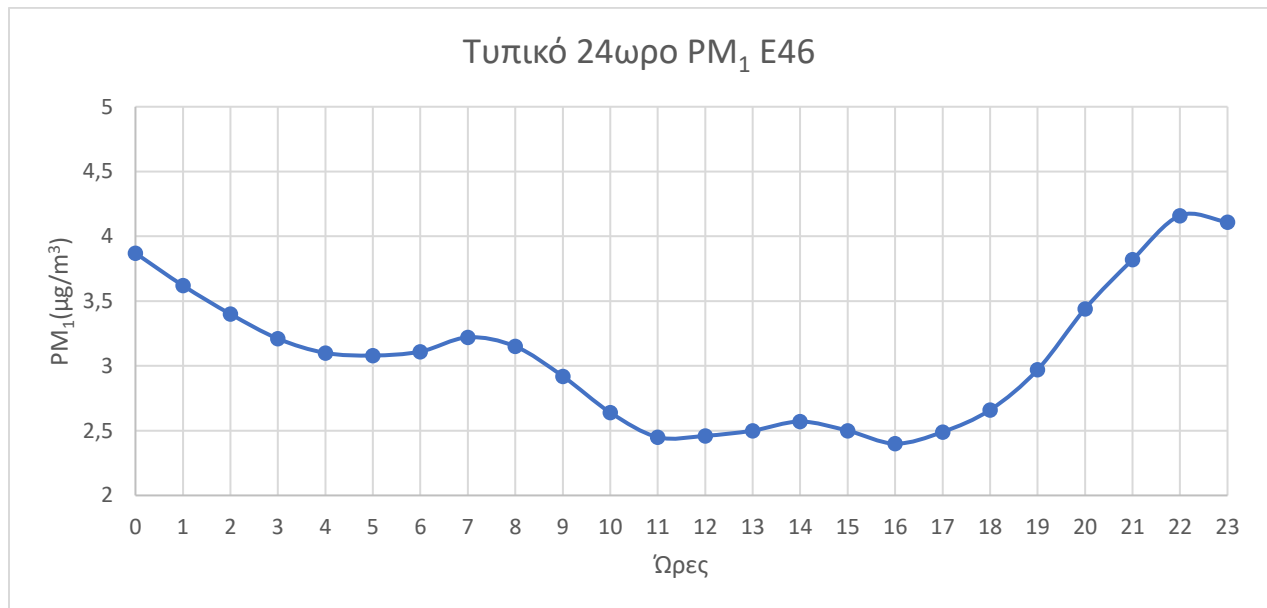
Στο διάγραμμα 5.1<sub>α</sub> αποτυπώνεται η συνολική διακύμανση του ρύπου PM<sub>1</sub> για τη χρονοσειρά 2019-2021, παρατηρούνται κυρίως ήπιες μεταβολές της διακύμανσης εκτός από κάποιες υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του ρύπου που εντοπίζονται κυρίως κατά το φθινόπωρο και πιο συγκεκριμένα ( τον Οκτώβριο και Νοέμβριο του 2019 και 2020). Επίσης παρατηρούμε να υπάρχουν κάποιες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού, παρόλα αυτά είναι χαμηλής έντασης.



**Σχήμα 5.1<sub>α</sub>:** Διακύμανση PM<sub>1</sub> για την περίοδο 2019-2021 E46

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

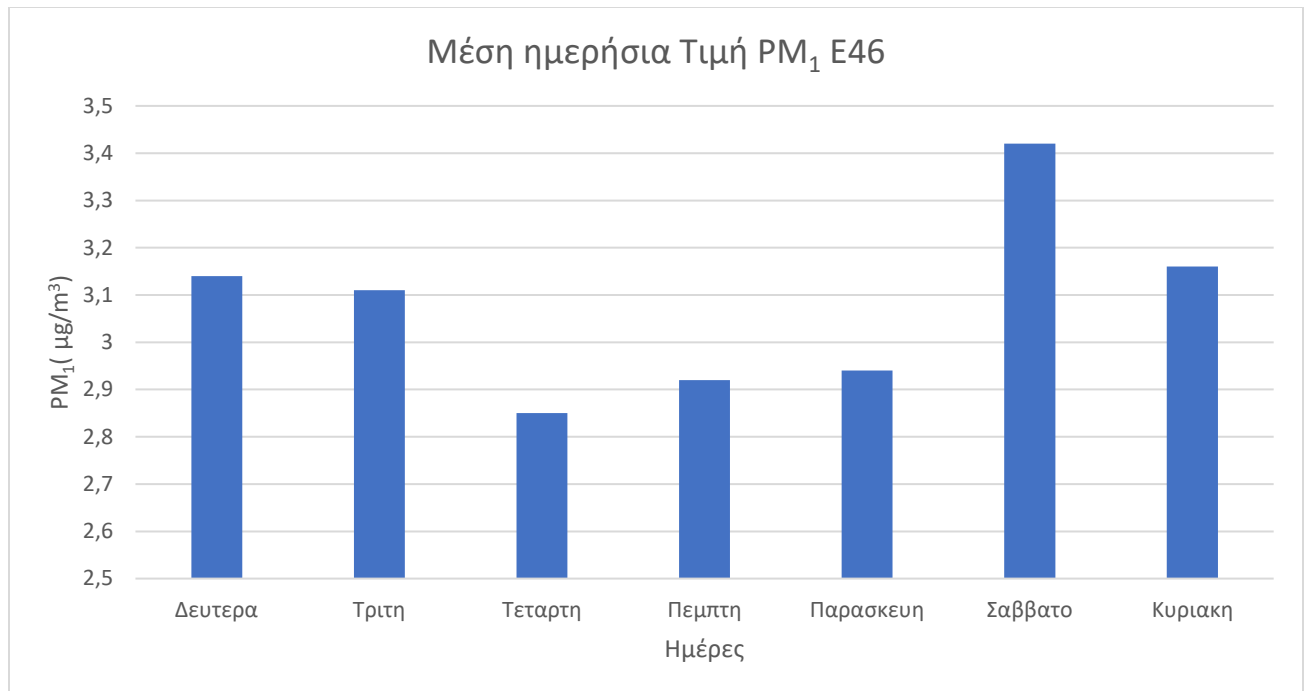
Στο διάγραμμα 5.1β παρατηρούμε μια αυξητική τάση κατά της βραδινές ώρες (6-11 μ.μ) όπου παρατηρούμε μέγιστη συγκέντρωση τα  $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ κατά τις πρωινές ώρες παρατηρούμε μείωση της μέσης συγκέντρωσης.



**Σχήμα 5.1β:** Διάγραμμα τυπικού 24ωρου  $\text{PM}_{10}$  όργανο E46

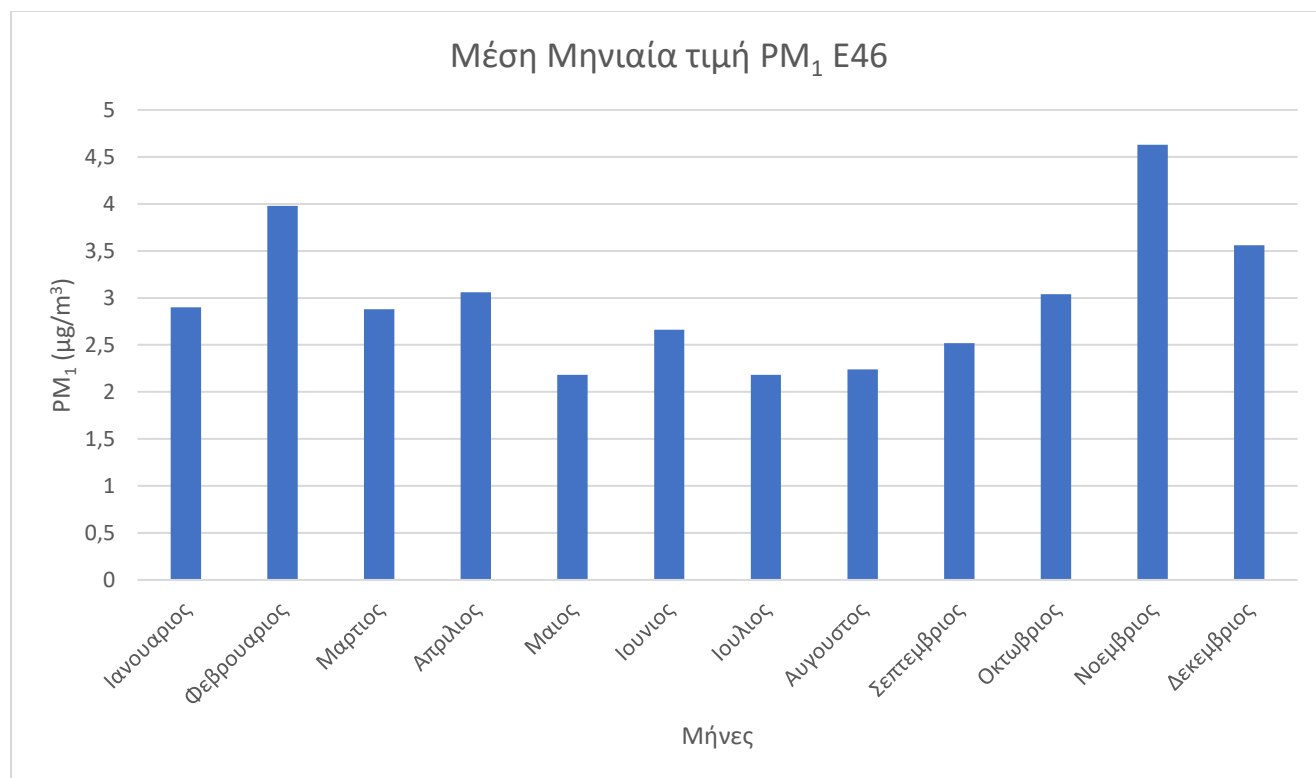
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.1γ συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει τεράστια διαφορά μεταξύ των ημερών καθώς οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Παρόλα αυτά το Σάββατο παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση του ρύπου στα  $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  όπου πολύ πιθανό να οφείλεται στην έντονη κινητικότητα που έχει η περιοχή της ακρόπολης ειδικά μια μέρα όπως το Σάββατο





**Σχήμα 5.1γ:** Διάγραμμα μέσης ημερήσια διακύμανσης του ρύπου PM<sub>1</sub> E46

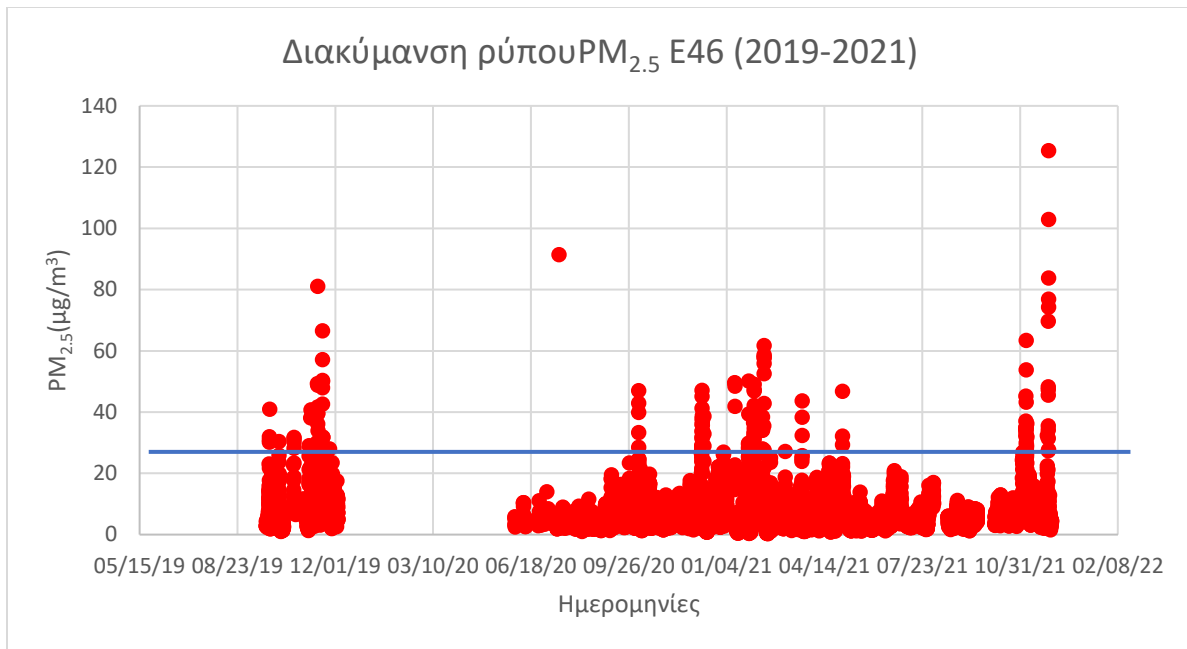
Κατά την ανάλυση του διαγράμματος 5.1δ όπου αφορά την μηνιαία διακύμανση εξίσου παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει τεράστια διακύμανση του ρύπου, παρόλα αυτά κατά τους φθινοπωρινούς- χειμερινούς μήνες παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση το οποίο φανερώνει και την εποχικότητα του ρύπου.



**Σχήμα 5.1δ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> E46

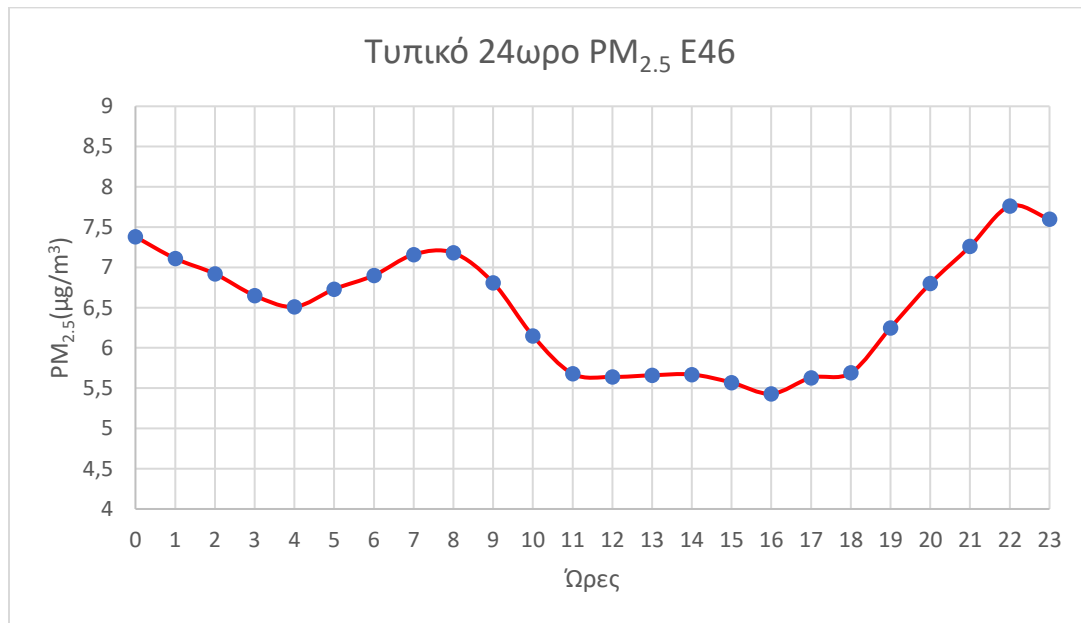
### 5.1.2 Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο E46

Η συνολική διακύμανση του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για την χρονοσειρά 2019-2021 αποτυπώνεται στο διάγραμμα 5.2α. Παρατηρούμε κυρίως τον χειμώνα μια αυξητική τάση στις τιμές των συγκεντρώσεων καθώς και εδώ μπορεί να παρατηρήσει κάποιος ότι υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου.



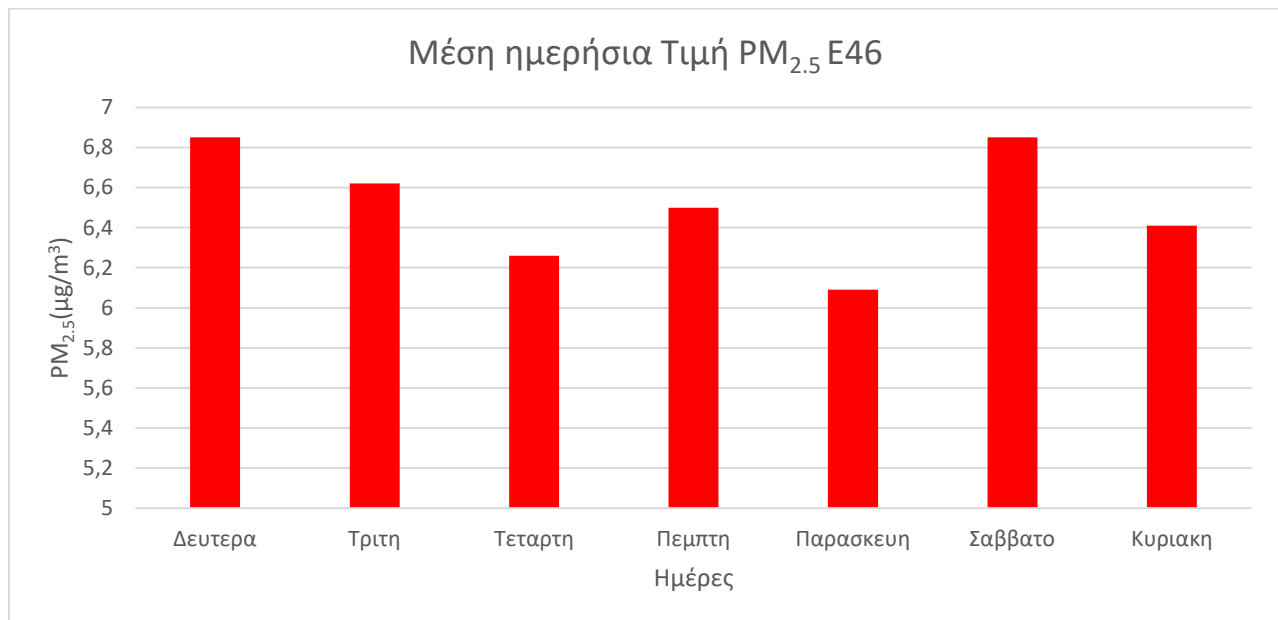
**Σχήμα 5.2α:** Διάγραμμα μέσης διακύμανση  $PM_{2.5}$  για την περίοδο 2019-2021 E46

Στο διάγραμμα 5.2β παρατηρούμε την 1<sup>η</sup> αυξητική διακύμανση κατά της πρώτες πρωινές ώρες (5-8 π.μ). Στη συνέχεια της ημέρας μέχρι της 18:00 υπάρχει μείωση της μέσης συγκέντρωσης του ρύπου, όπου μετά κατά τις βραδινές ώρες (19:00-24:00) παρατηρούμε μια αυξητική τάση όπου φτάνει τα 7.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



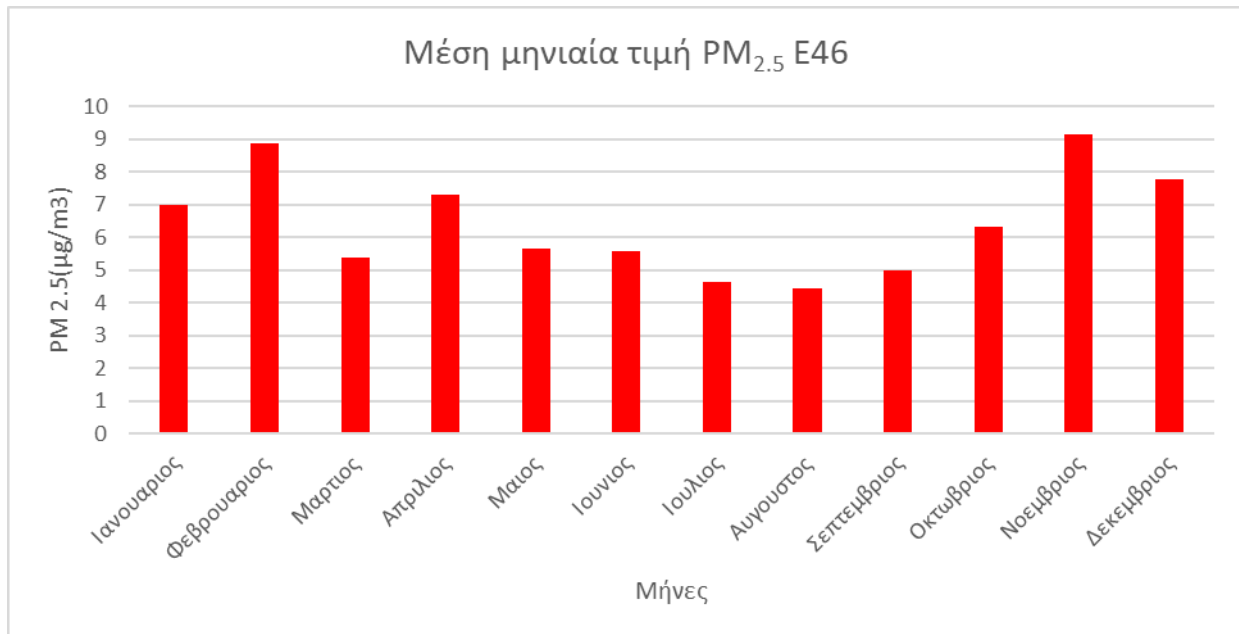
**Σχήμα 5.2β:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου σε ένα τυπικό 24ωρο  $PM_{2.5}$  για το όργανο E46

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.2<sub>γ</sub> συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στη συγκέντρωση του ρύπου ανάλογα με την ημέρα. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 6.2-6.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , παρόλα αυτά πάλι παρατηρούμε ότι το Σάββατο είναι η μέρα που εντοπίζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση του ρύπου.



**Σχήμα 5.2<sub>γ</sub>:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης του ρύπου  $\text{PM}_{2.5}$  για το όργανο E46

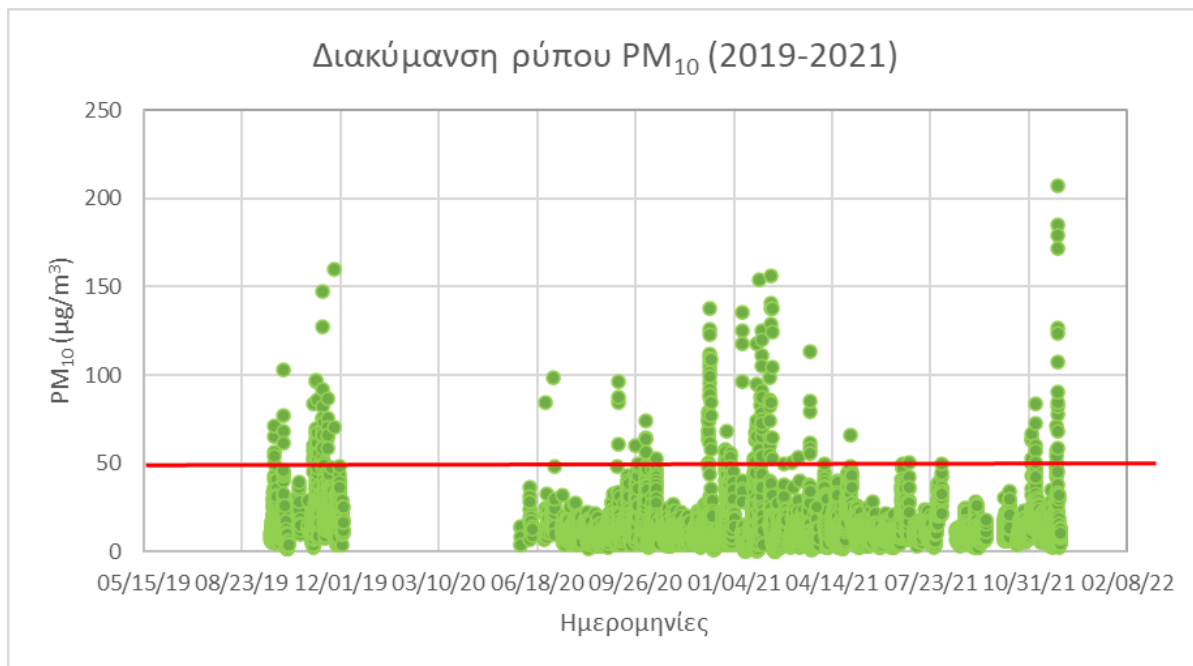
Κατά την μηνιαία διακύμανση του ρύπου στο διάγραμμα 5.2<sub>δ</sub> παρατηρούμε ότι η μέγιστη συγκέντρωση βρίσκεται πάλι κατά τους χειμερινούς μήνες με την μέγιστη συγκέντρωση να είναι τον μήνα νοέμβριο με συγκέντρωση  $9.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Το γεγονός ότι πάλι κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρούμε την αυξητική τάση του ρύπου δηλώνει την εποχικότητα αυτού.



Σχήμα 5.2α: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο E46

### 5.1.3 Διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο E46

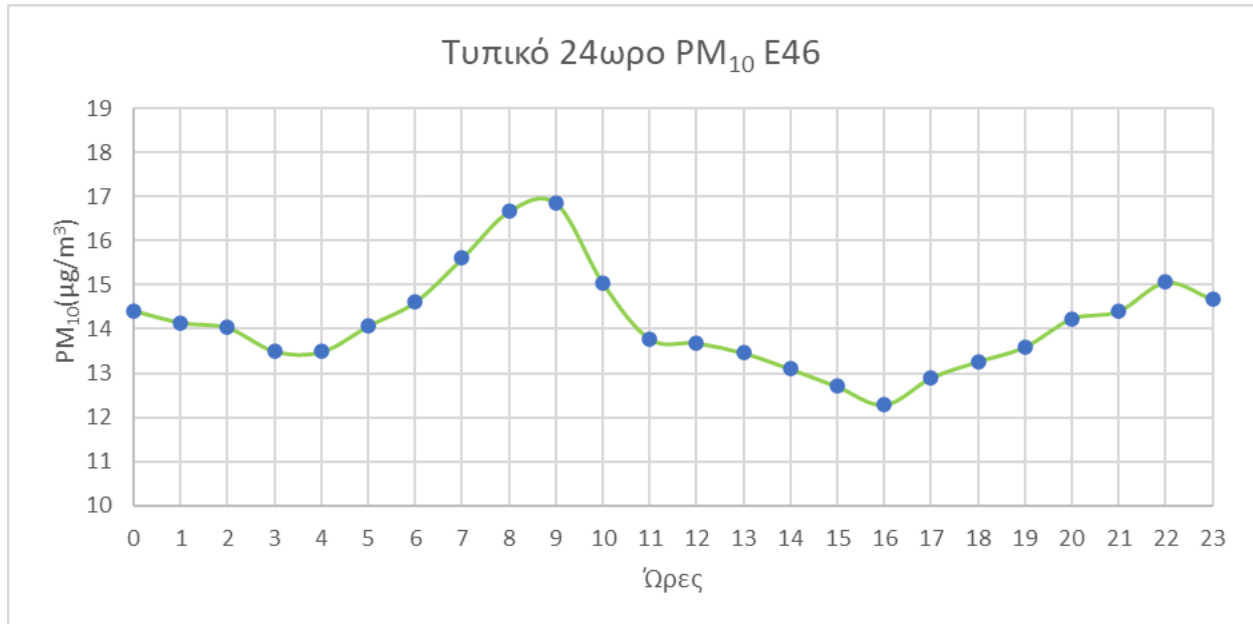
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.3α, συμπεραίνουμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες και πάλι έχουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, καθώς και εδώ παρατηρούμε ότι υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου, χαμηλότερης έντασης σε σχέση με τα PM<sub>2.5</sub>



Σχήμα 5.3α: Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> για την περίοδο 2019-2021 για το όργανο E46

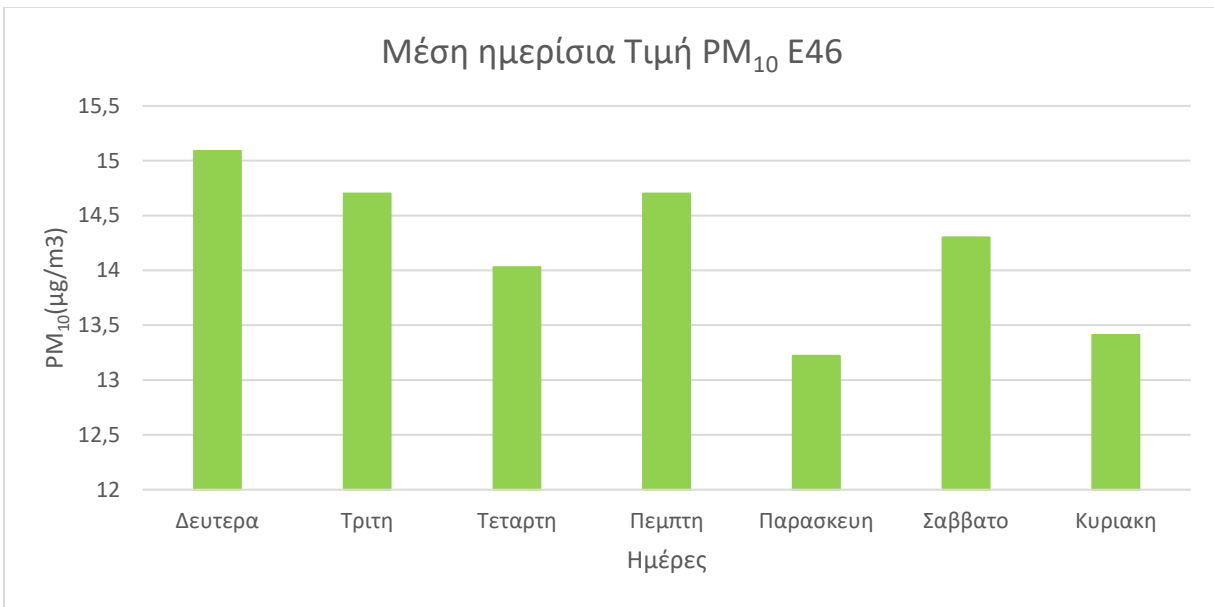
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Κατά την 24ώρη διακύμανση του ρύπου μέσα στην ημέρα, μέσω του διαγράμματος 5.3β παρατηρούμε ότι η αυξητική τάση βρίσκεται τις πρώτες πρωινές ώρες μεταξύ τις 5 π.μ με 9 π.μ, σε αντίθεση με άλλους 2 ρύπους όπου και το βράδυ μεταξύ τις 7 μ.μ- 12 π.μ πάλι είχαμε αυξητική τάση.



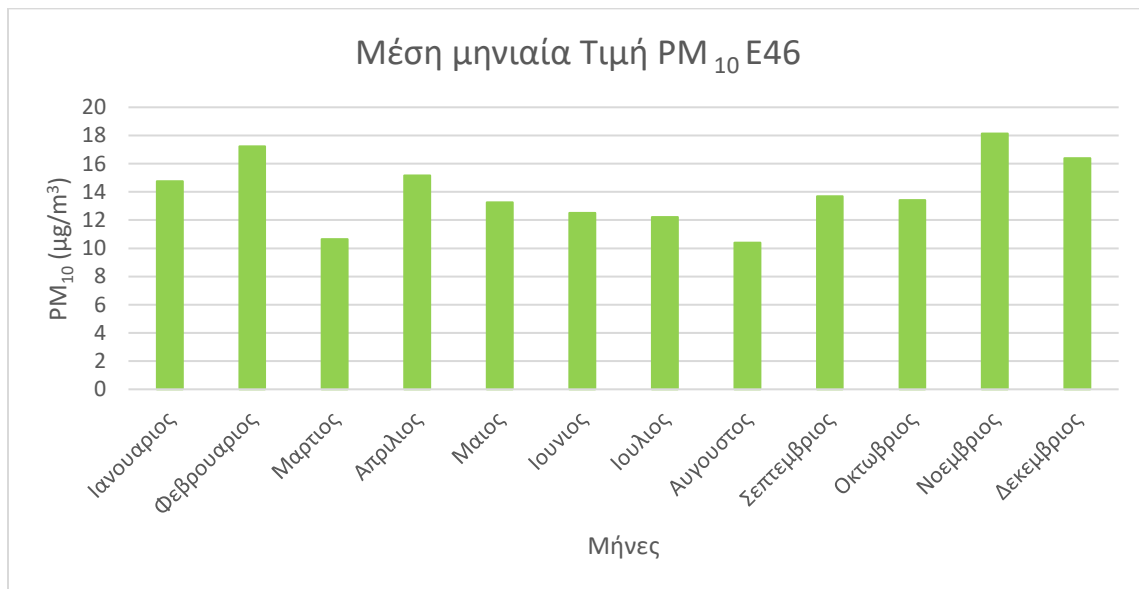
**Σχήμα 5.3β:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο E46

Όσον αφορά την ημερήσια διακύμανση, από το διάγραμμα 5.3γ παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις μέρες της εβδομάδας και ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση εμφανίζεται την Δευτέρα, σε αντίθεση πάλι με τους δυο προηγούμενους ρύπους όπου εντοπίζαμε την μεγαλύτερη έξαρση το Σάββατο.



**Σχήμα 5.3γ:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης του ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο E46

Μέσω του διαγράμματος 5.3δ παρατηρούμε ξανά την εποχικότητα που εμφανίζει ο ρύπος καθώς κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση του ρύπου, χωρίς παρόλα αυτά να είναι μεγάλης διαφοράς σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες.



**Σχήμα 5.3δ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης του ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο E46

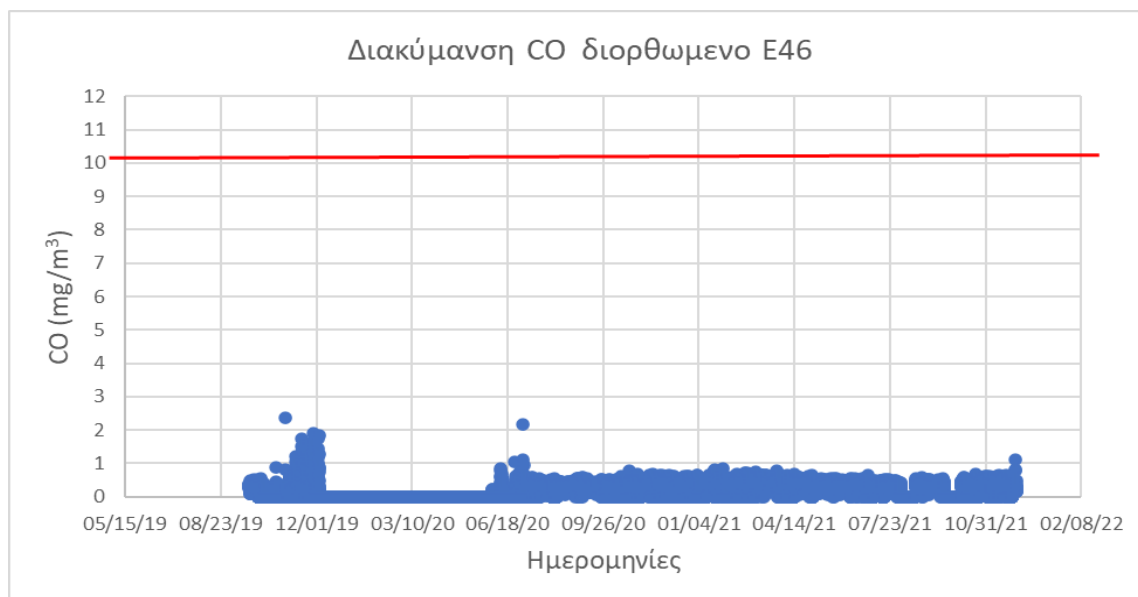
Ολοκληρώνοντας τον έλεγχο για τα αιωρούμενα σωματίδια για το όργανο E46, παρατηρήσαμε τα εξής:

- Πανομοιότυπο μοτίβο εμφάνισης αυξητικών τάσεων συγκεντρώσεων κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο)

- Οι ρύποι PM<sub>1</sub> και PM<sub>2.5</sub> εμφάνισαν αυξητικές τάσεις τις ίδιες στιγμές μέσα στη μέρα, δηλαδή κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και το απόγευμα μετά της 7 μ.μ , σε αντίθεση με τα PM<sub>10</sub> όπου παρατηρήθηκε η μέγιστη συγκέντρωση τις πρώτες πρωινές ώρες. Τα 2 peak που εμφανίστηκαν (οι πρώτες πρωινές ώρες και έπειτα το απόγευμα) μπορεί να οφείλεται αρχικά λόγω των μετακινήσεων, όπου η πλειοψηφία του κόσμου το πρωί πάει στις δουλειές του και λόγω ότι το όργανο βρίσκεται πολύ κοντά σε μια κεντρική λεωφόρος όπως είναι η Συγγρού, πολύ πιθανό να επηρεάζεται. Όσον αφορά το 2<sup>ο</sup> peak που είναι το βράδυ, αυτό πιθανότατα οφείλεται από την πολύ κίνηση που επικρατεί από κόσμο εκείνη την ώρα καθώς βρισκόμαστε σε ένα πολυσύχναστο σημείο στο κέντρο της Αθήνας καθώς επίσης και λόγω των μαγαζιών που λειτουργούν τριγύρω.
- Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω ότι το όργανο το 2020 για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα δεν λειτουργούσε οπότε η πληρότητα δεν επαρκούσε για να ληφθούν οι μετρήσεις εκείνης της χρονιάς.

#### 5.1.4 Διακύμανση ρύπου CO NO<sub>2</sub> και SO<sub>2</sub> από το όργανο E46

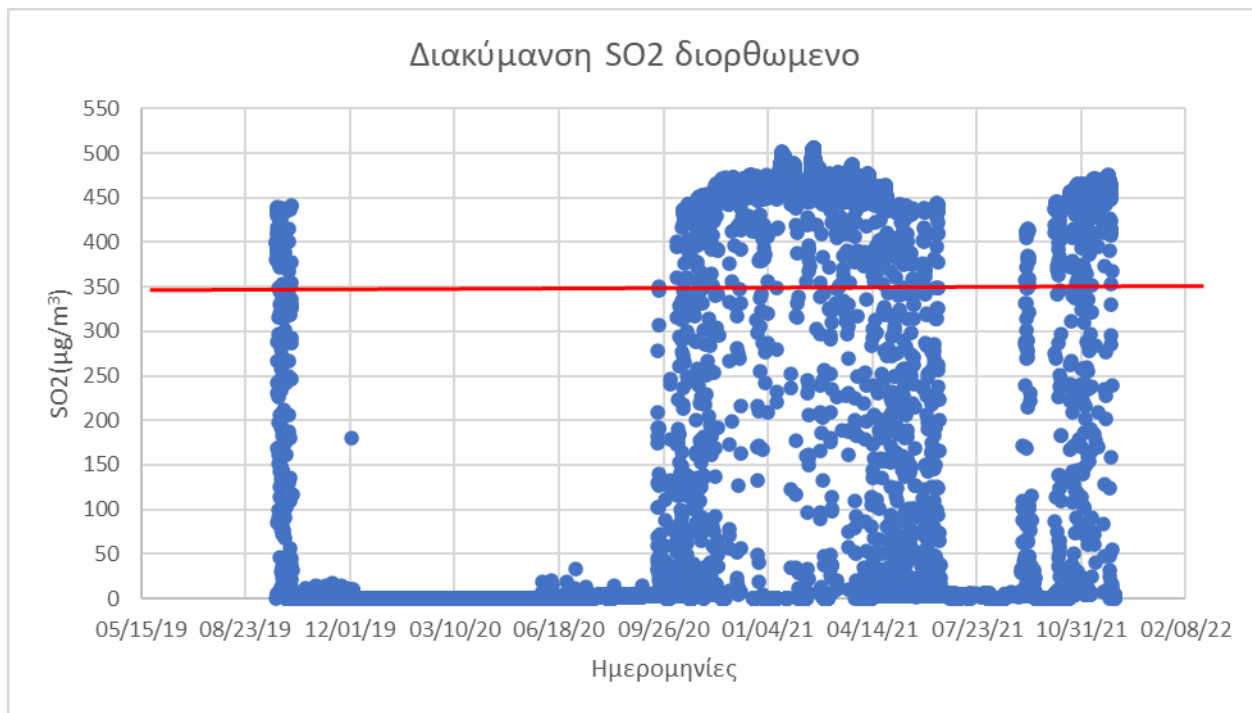
Όσον αφορά τους ρύπου CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> και τα σχήματα 5.4<sub>α</sub>, 5.4<sub>β</sub>, 5.4<sub>γ</sub>, 5.4<sub>δ</sub> λόγω μη επαρκής πληρότητας δεδομένων δεν είναι εφικτό να γίνει αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, παρόλα αυτά βάση τα υπάρχον δεδομένα και ενώ έχει γίνει χρήση της εξίσωσης διόρθωσης παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις των ρύπων όπου υπερβαίνουν το όριο συναγερμού σε μεγάλο βαθμό και για μεγάλη διάρκεια, το πιο πιθανό συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι το όργανο υπερεκτιμά.



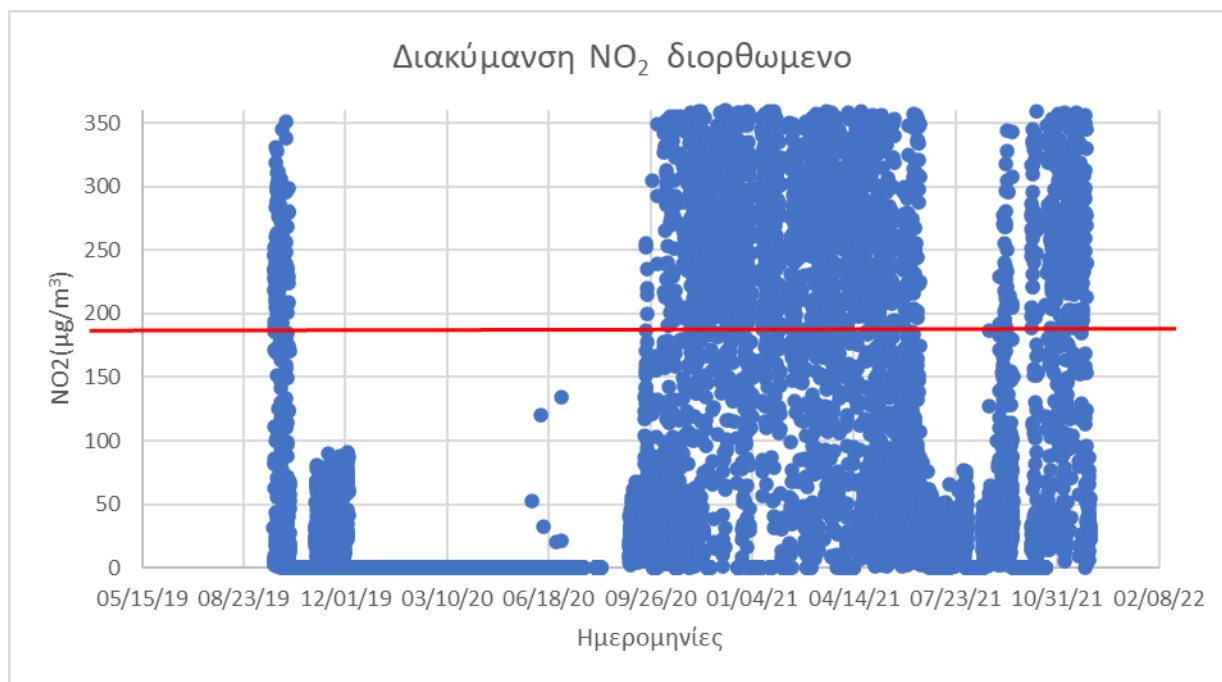
Σχήμα 5.4α: Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου CO για την περίοδο 2019-2021 για το όργανο E46



Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Σχήμα 5.4β:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου SO<sub>2</sub> για την περίοδο 2019-2021 για το 5όργανο E46

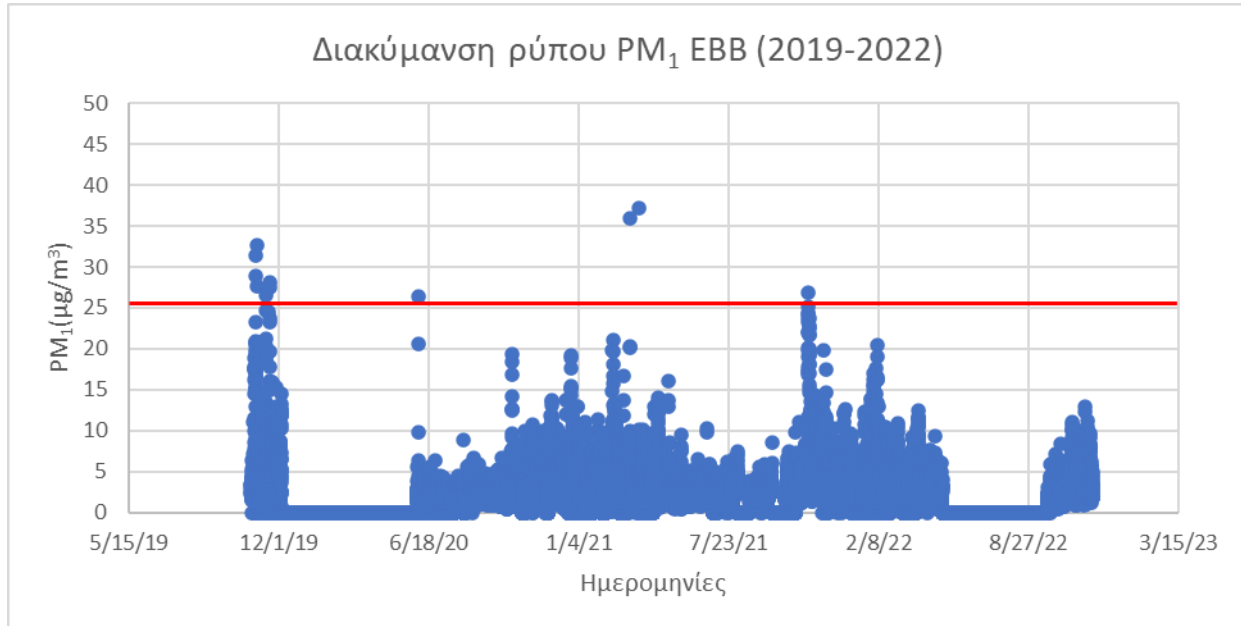


**Σχήμα 5.4γ:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου NO<sub>2</sub> για την περίοδο 2019-2021 για το όργανο E46

## 5.2 Έλεγχος Οργάνου ΕΒΒ

### 5.2.1 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο ΕΒΒ

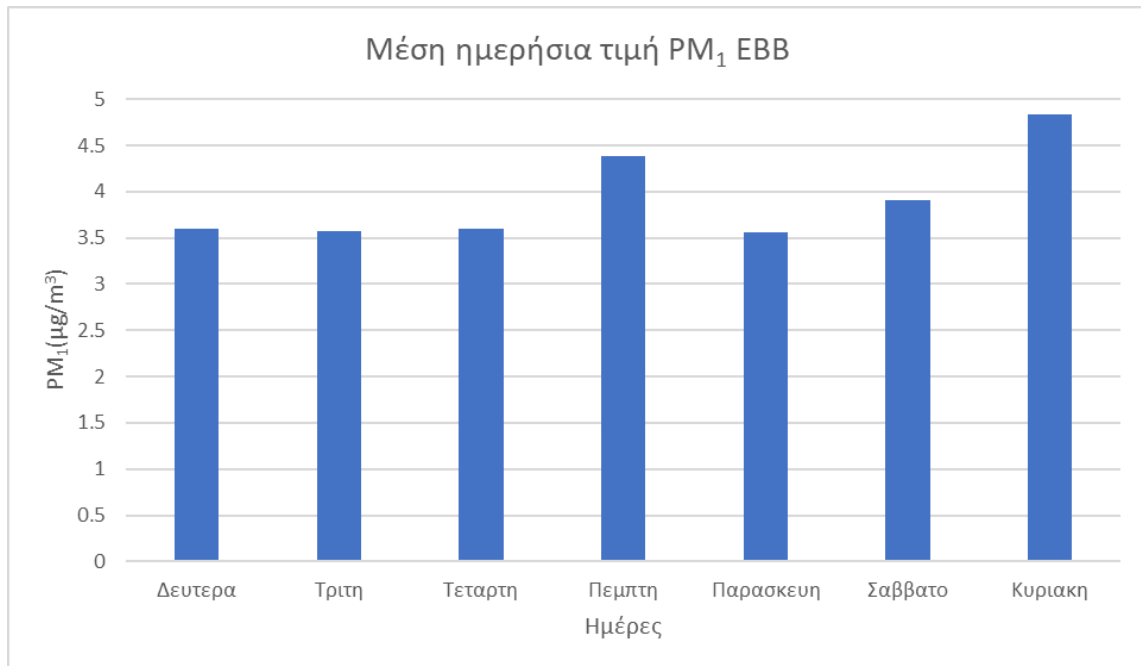
Στο διάγραμμα 5.5<sub>α</sub> παρατηρούμε ότι η συνολική διακύμανση του ρύπου δεν έχει ιδιαίτερες μεταβολές, παρόλα αυτά κατά τους χειμερινούς μήνες μπορεί να διακρίνει κάποιος ότι εμφανίζονται κάποιες συγκεντρώσεις υψηλότερες σε σχέση με το καλοκαίρι, καθώς και τότε είναι που κυρίως παρατηρούμε παραβάσεις του ορίου συναγερμού όχι όμως σε βαθμό ανησυχίας.



**Σχήμα 5.5<sub>α</sub>:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  για την περίοδο 2019-2022 για το όργανο ΕΒΒ

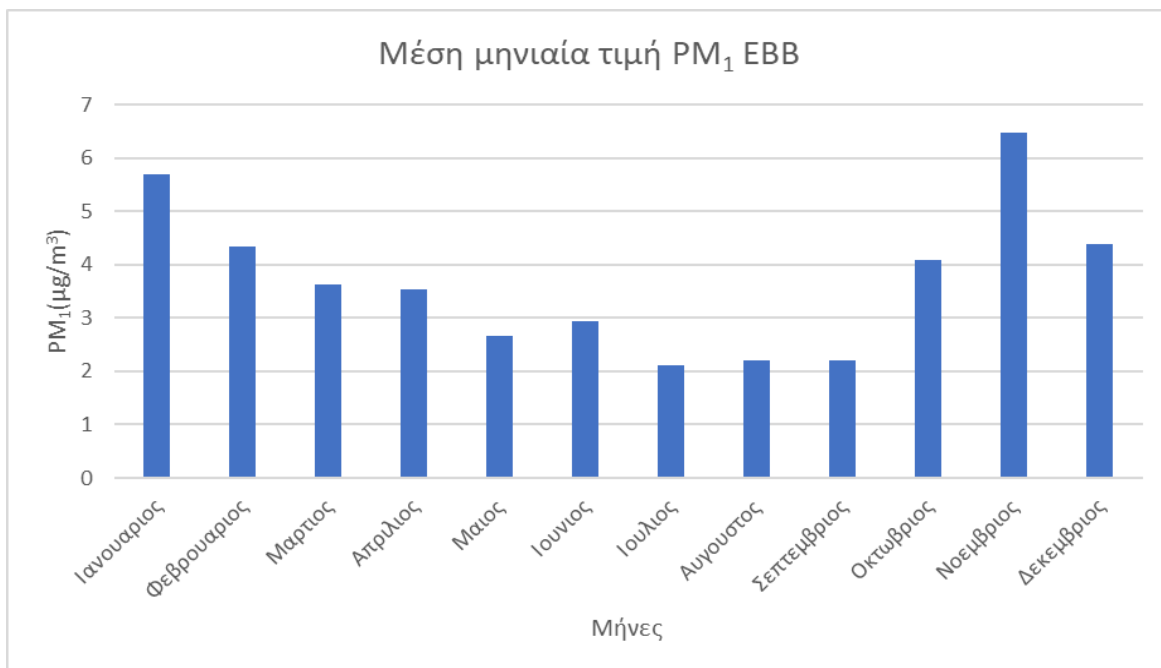
Σε ημερήσια βάση από το διάγραμμα 5.5<sub>β</sub> μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη μεταβολή του ρύπου και όλες τις μέρες τις εβδομάδας ο ρύπος κυμαίνεται μεταξύ (3.5-4.5  $\mu g/m^3$ ) με μεγαλύτερη μεταβολή την Πέμπτη και την Κυριακή.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



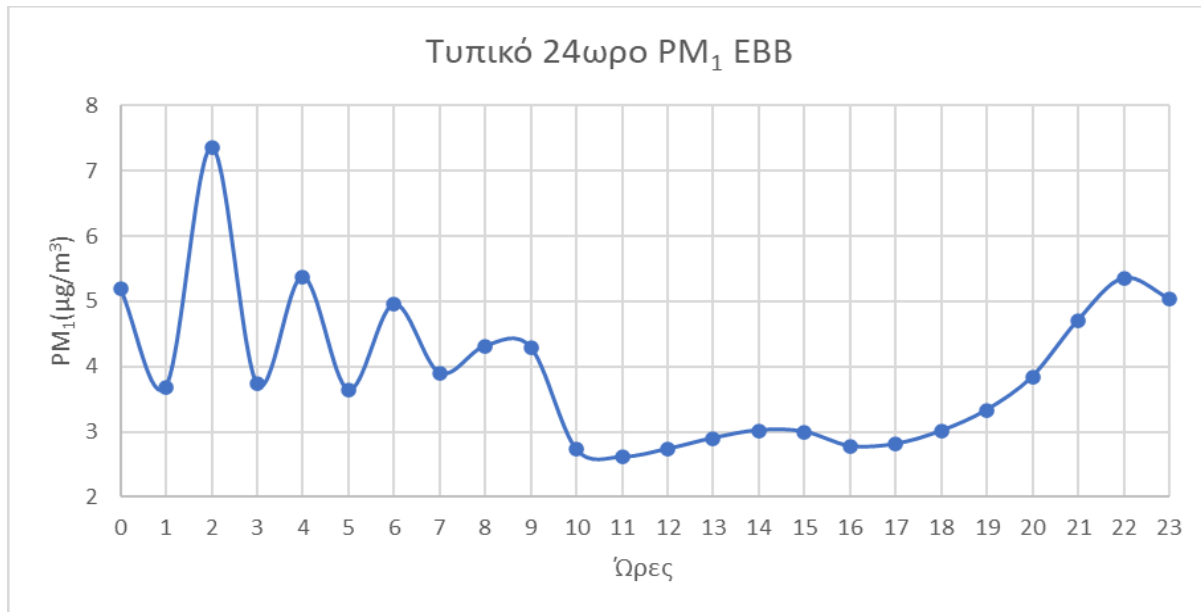
**Σχήμα 5.5β:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο EBB

Σε μηνιαία βάση μέσω του διαγράμματος 5.5γ μπορούμε να παρατηρούμε ξανά την εποχικότητα που εμφανίζει ο ρύπος καθώς τους χειμερινούς μήνες εντοπίζουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις με μέγιστη συγκέντρωση τα 6.48 µg/m<sup>3</sup> ενώ τους υπόλοιπους μήνες κυμαίνεται μεταξύ 2.11-3.5 µg/m<sup>3</sup>.



**Σχήμα 5.5γ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο EBB

Στο διάγραμμα 5.5δ γίνεται ανάλυση για το τυπικό 24ώρο. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο peak εμφανίζεται στις 2 π.μ με συγκέντρωση  $7.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ κατά τις υπόλοιπες ώρες μέχρι τις 9 π.μ παρατηρούμε σκαμπανεβάσματα. Στη συνέχεια από τις 10 π.μ έως και τις 6 μ.μ παρατηρούμε μια πτωτική τάση η οποία δεν έχει ιδιαίτερες μεταβολές και κατά τις βραδινές ώρες βλέπουμε μια μικρή αυξητική τάση χωρίς να είναι ανησυχητική παρόλα αυτά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διακύμανση σε ωριαία βάση είναι σχετικά ομαλή, χωρίς να παρουσιάζεται κάποιο ιδιαίτερο peak των τιμών τις πρωινές ώρες, όπως άλλωστε συνηθίζεται.

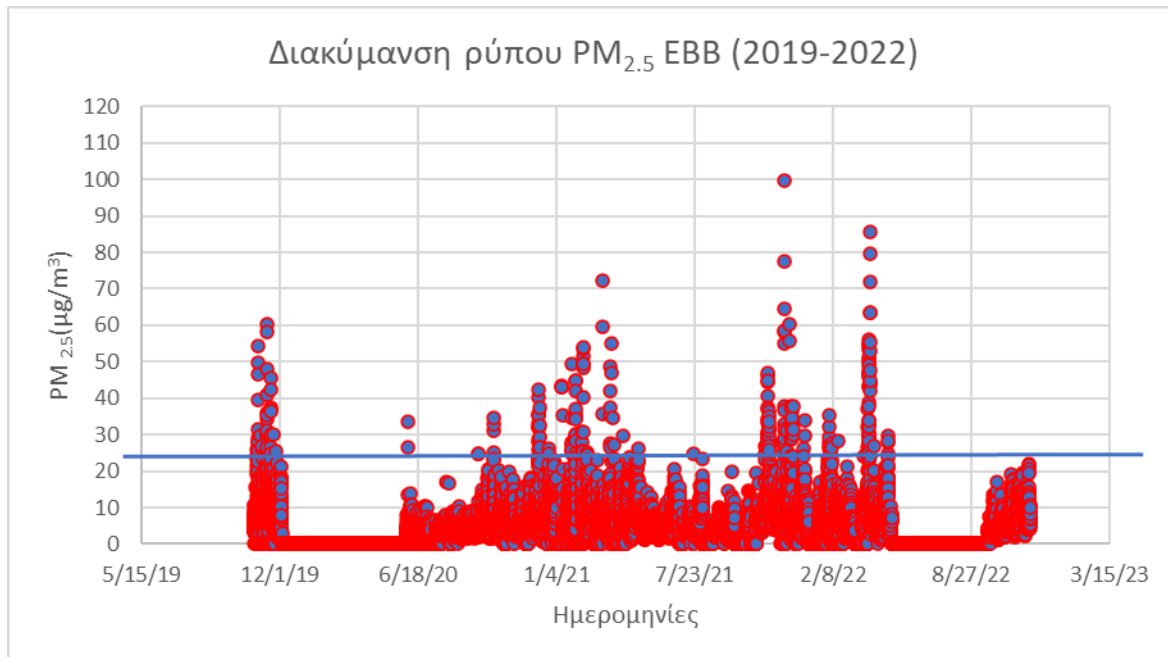


**Σχήμα 5.5δ:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο EBB

### 5.2.2 Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο EBB

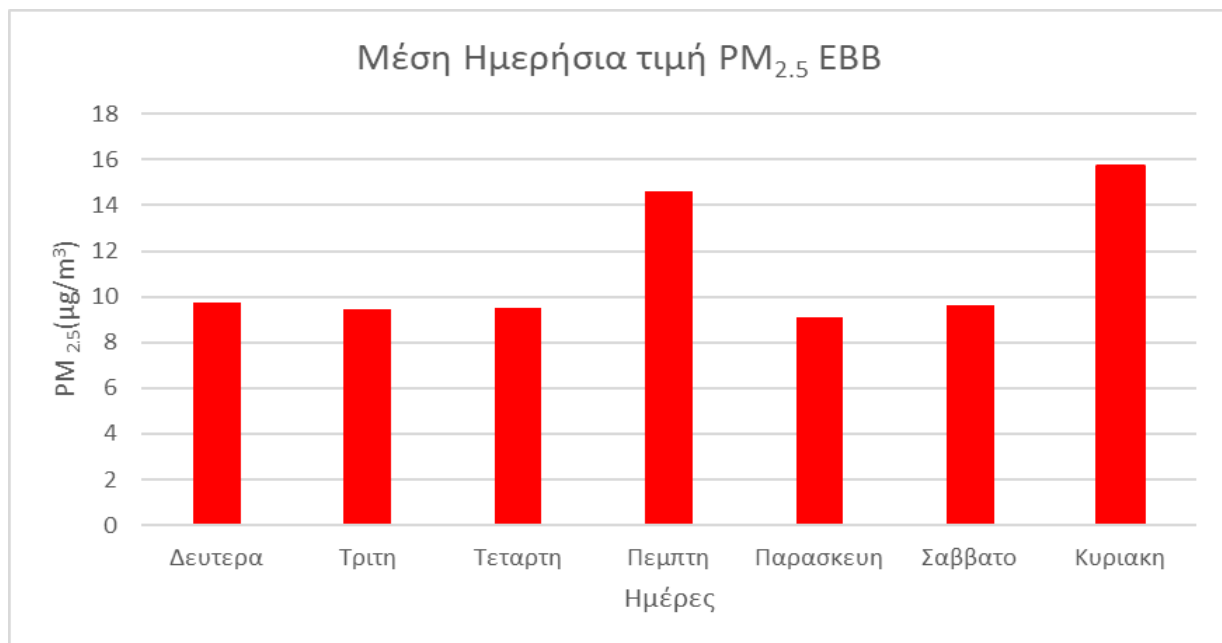
Παρατηρώντας τη συνολική μεταβολή του ρύπου για τα δεδομένα όλης της χρονοσειράς από το διάγραμμα 5.6α, παρατηρούμε ήπιες μεταβολές στα δεδομένα όλης της χρονοσειράς χωρίς ιδιαίτερες εξάρσεις και λίγες παραβάσεις του ορίου συναγερμού χωρίς να είναι πολύ ανησυχητικές.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Σχήμα 5.6α:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για την περίοδο 2019-2022 για το όργανο EBB

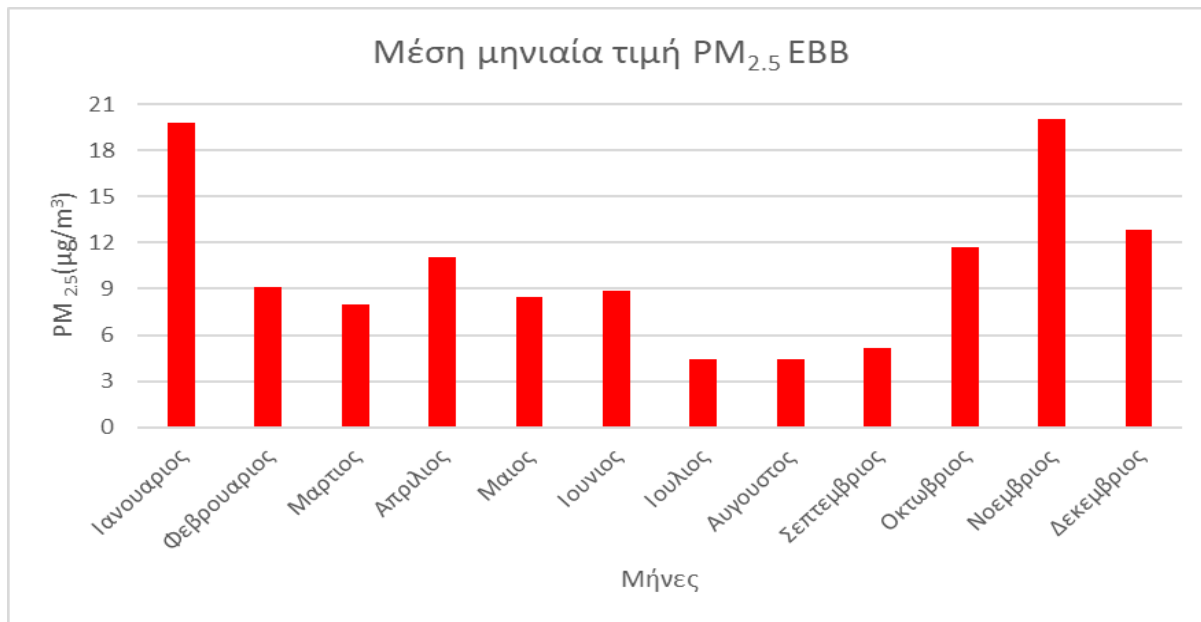
Σε ημερήσια βάση από το διάγραμμα 5.6β παρατηρούμε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται την Πέμπτη και την Κυριακή με 14,61 μg/m<sup>3</sup> και 15,7 μg/m<sup>3</sup> αντίστοιχα, με τις υπόλοιπες μέρες να κυμαίνονται μεταξύ 9- 9,8 μg/m<sup>3</sup>



**Σχήμα 5.6β:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο EBB

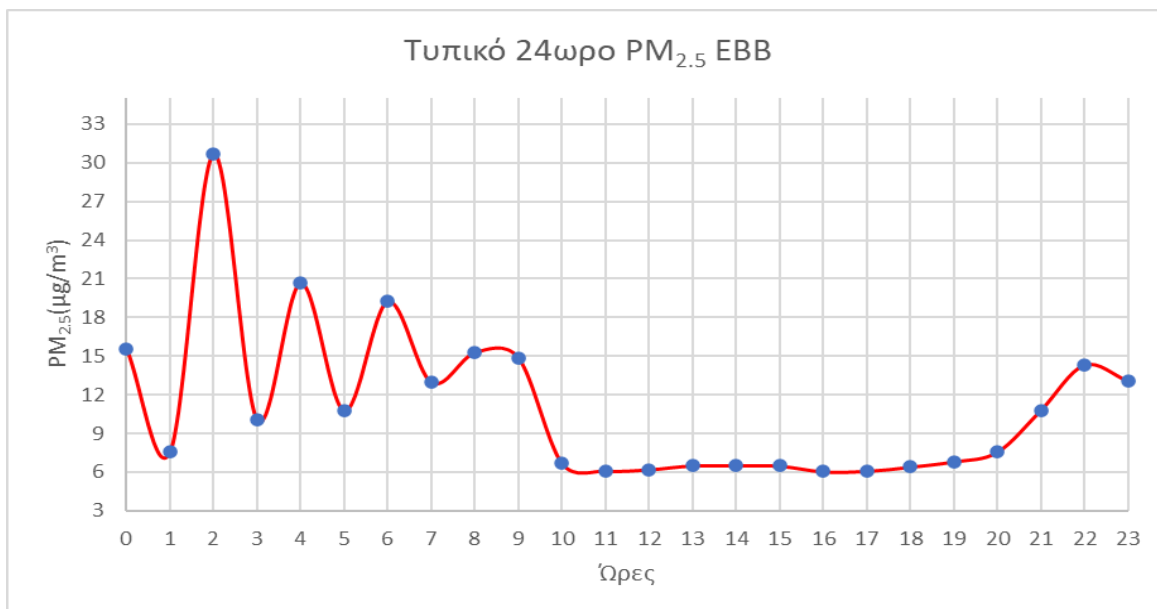
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Σε μηνιαία βάση παρατηρούμε μέσω του διαγράμματος 5.6γ ξανά την εποχικότητα που εμφανίζει ο ρύπος καθώς του χειμερινούς μήνες εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις όπου κυμαίνονται μεταξύ 19-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρούμε ότι κυμαίνεται μεταξύ 4-5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



**Σχήμα 5.6γ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο EBB

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.6δ του τυπικού 24ωρου παρατηρούμε ότι μεγαλύτερο peak εμφανίζεται ακριβώς στις 2 π.μ και μετέπειτα έχουμε скаμπανεβάσματα μέχρι και της 9 π.μ, όπου μετέπειτα έχουμε μια ομαλή διακύμανση μέχρι και της 8 μ.μ. Στη συνέχεια έχουμε ένα δεύτερο peak πολύ μικρότερης μεταβολής από το 1<sup>ο</sup> στις 9 μ.μ.

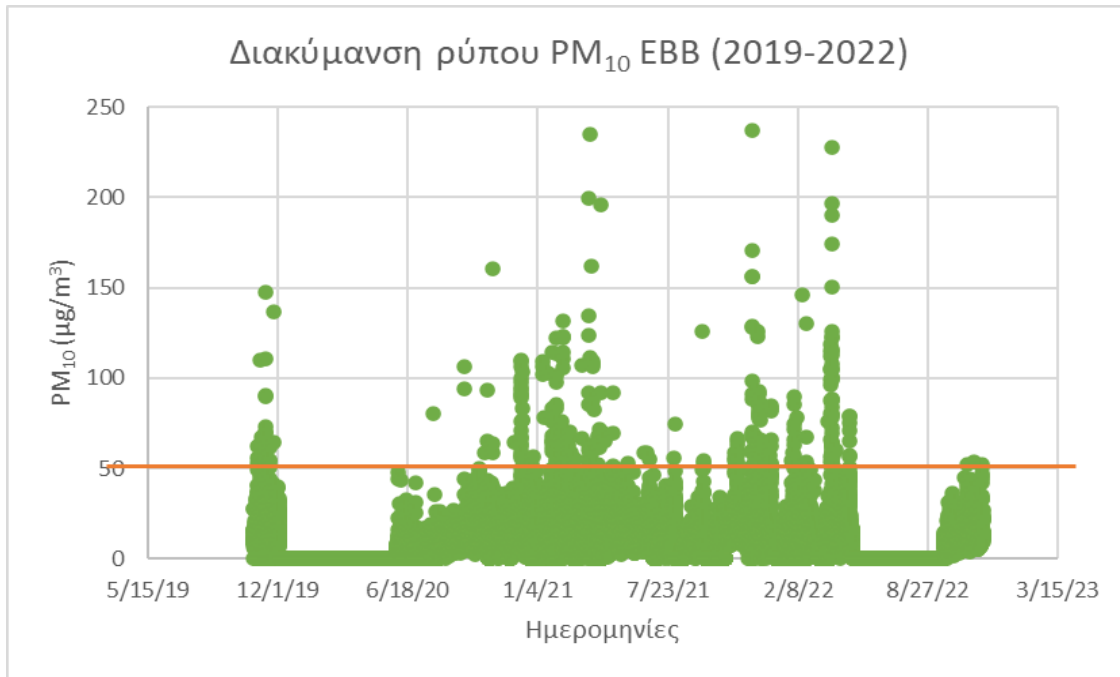


Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

**Σχήμα 5.6α:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου  $PM_{2.5}$  σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο EBB

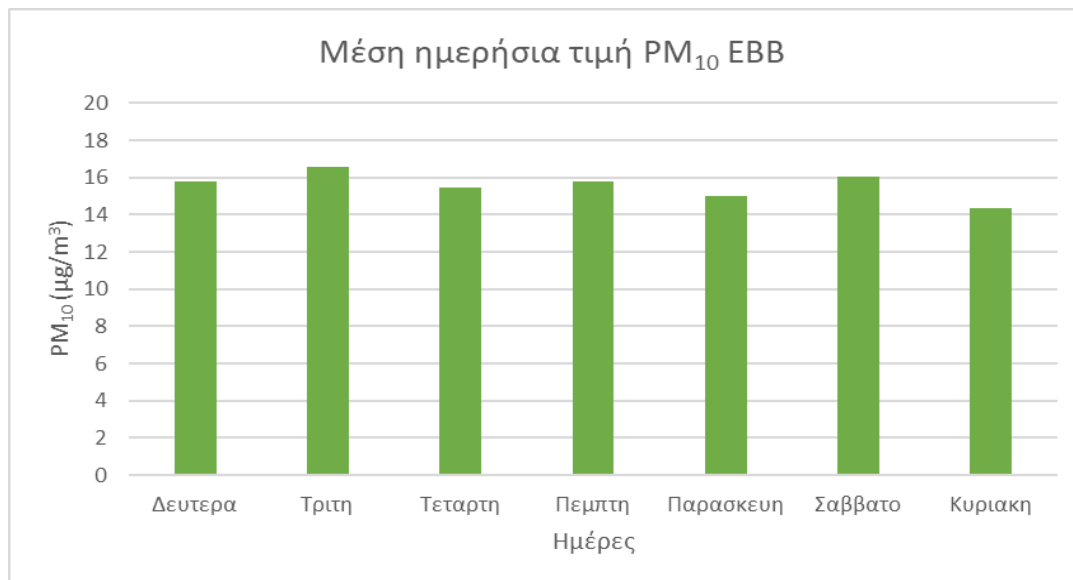
### 5.2.3 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο EBB

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.7α για τη συνολική χρονοσειρά, παρατηρούμε κατά κύριο λόγο μια ομαλή μεταβολή του ρύπου με μεγαλύτερη αυξητική τάση κατά τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο.



**Σχήμα 5.7α:** Διάγραμμα μέσης διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  την περίοδο 2019-2022 για το όργανο EBB

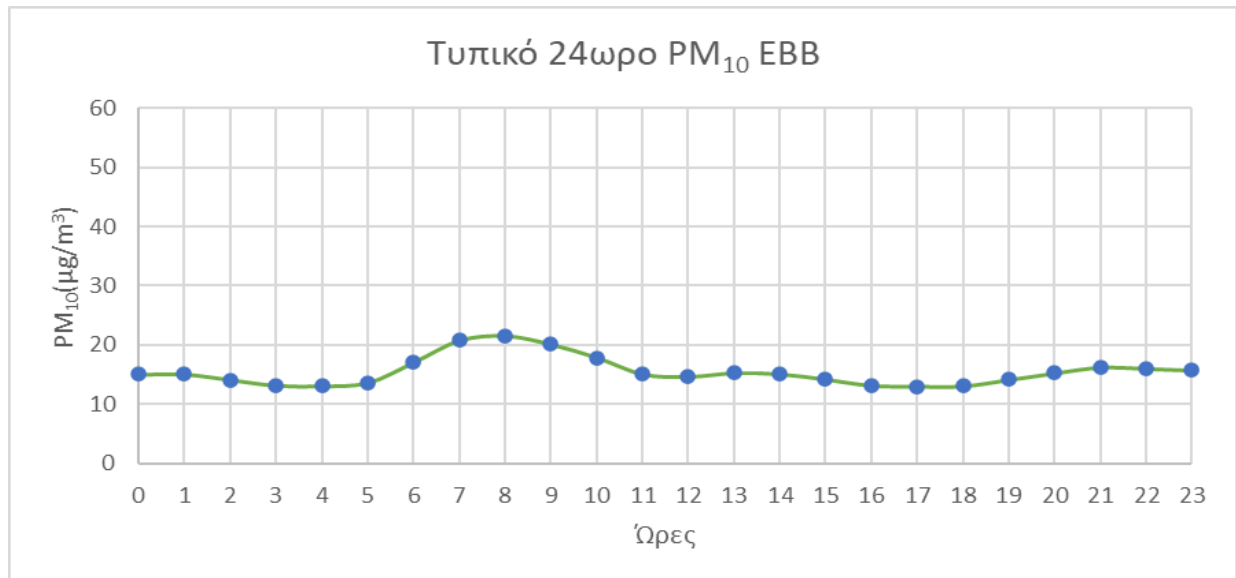
Σε ημερήσια βάση μέσω του διαγράμματος 5.7β, οι αποκλίσεις στην μέση συγκέντρωση του ρύπου είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα μεταξύ 14.5- 16.5  $\mu g/m^3$



**Σχήμα 5.7β:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  για το όργανο EBB

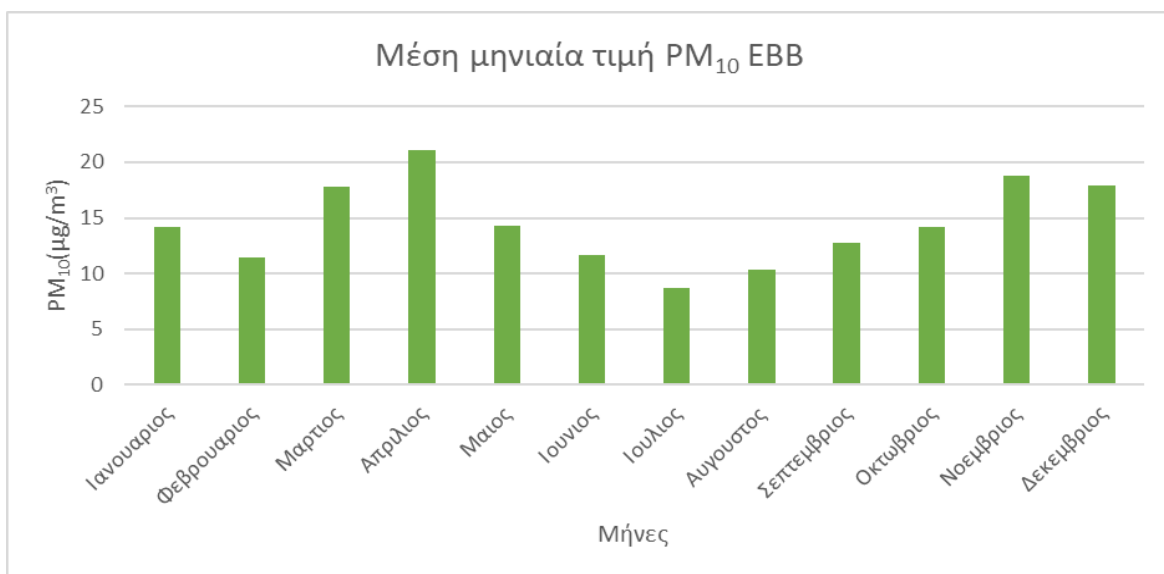
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Αναλύοντας το διάγραμμα 5.7 $\gamma$  του τυπικού 24ωρου παρατηρούμε μια ομαλή διακύμανση του ρύπου καθόλη τη μέρα χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις παρά μόνο μια μικρή αυξητική τάση τις πρωινές ώρες μεταξύ (6-10 π.μ) όπου και η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ (17-21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Κατά την υπόλοιπη διάρκεια της μέρας οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ (13-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Σχήμα 5.7 $\gamma$ :** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο EBB

Στο διάγραμμα 5.7 $\delta$  το οποίο αφορά την μηνιαία διακύμανση παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση τον μήνα Απρίλιο με συγκέντρωση 21.12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  καθώς και τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο Δεκέμβριο Ιανουάριο, το οποίο για άλλη μια φορά φανερώνει την εποχικότητα του ρύπου.



**Σχήμα 5.7 $\delta$ :** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub>για το όργανο EBB



Ολοκληρώνοντας τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων για το όργανο EBB Libelium εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα.

- Παρατηρούμε την εποχικότητα που εμφανίζουν τα σωματίδια καθώς συμπεραίνουμε ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κυρίως εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο καθώς και στις αρχές της άνοιξης (Μάρτιο, Απρίλιο)
- Παρατηρούμε από το διάγραμμα του τυπικού 24ωρου και για τα  $PM_{10}$  και για τα  $PM_{2.5}$  ένα κοινό μοτίβο στο πως κυμαίνεται ο ρύπος μέσα στην ημέρα, με την μέγιστη συγκέντρωση να εμφανίζεται στις 2 τα ξημερώματα, όπου στη συνέχεια υπάρχουν κάποια σκαμπανεβάσματα και μετά η διακύμανση είναι ομαλή. Λόγω ότι το όργανο βρίσκεται σε δρόμο όπου ακριβώς δίπλα υπάρχει ψησταριά όπου μπορεί να επηρεάζει τα αποτελέσματα του οργάνου, το λογικό θα ήταν κατά τις βραδινές ώρες όπου κυκλοφορεί και ο περισσότερος κόσμος να είναι το peak του ρύπου, αυτό παρόλα αυτά θα αξιολογηθεί εάν στέκει όταν γίνει η σύγκριση του με άλλο όργανο.
- Σε ημερήσια βάση επίσης παρατηρούμε ένα παρόμοιο μοτίβο για τους ρύπους  $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  με τις μέγιστες συγκεντρώσεις των ρύπων να εμφανίζονται την Πέμπτη και την Κυριακή.
- Όσον αφορά τα  $PM_{10}$  παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ομαλή μεταβολή και ημερήσια καθώς και στο τυπικό 24ωρο

#### 5.2.4 Διακύμανση ρύπων CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> από το Όργανο EBB

Η αξιολόγηση του οργάνου για τους συγκεκριμένους ρύπους δεν ήταν εφικτή καθώς το όργανο για όλη την χρονοσειρά έδινε συγκεντρώσεις μηδέν και για τους τρεις ρύπους μηδέν.

### 5.3 Αξιολόγηση Οργάνων Purple Air

#### 5.3.1 Έλεγχος Οργάνου Envicare 0

Το πρώτο βήμα για τα όργανα Purple air που πρέπει να κάνουμε είναι να ελέγξουμε αν οι 2 αισθητήρες λειτουργούν σωστά.

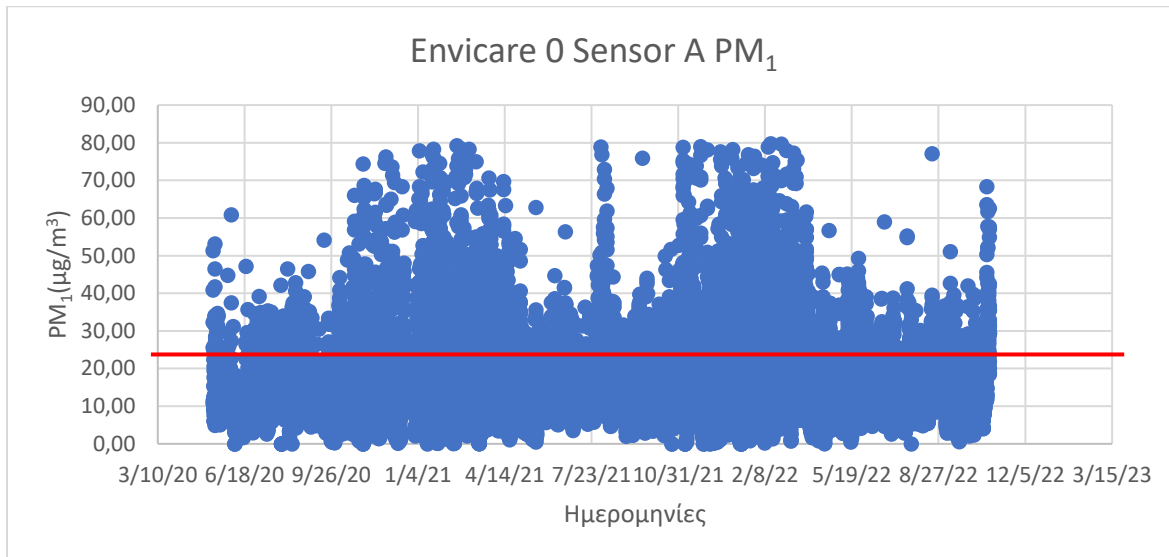
Envicare 0			
Average Pm1.0	18.69	Average PM1.0	53.8
Average PM2.5	25.66	Average PM 2.5	41.07
Average PM10	31.1	Average PM10	63.7
Primary A		Primary B	

Πίνακας 5.1: Έλεγχος αισθητήρων οργάνου Envicare 0

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των 2 αισθητήρων, και όπως αναφέραμε στην ενότητα 4 εάν η απόκλιση είναι μεγαλύτερη από  $\pm 5\mu\text{g}/\text{m}^3$  σημαίνει ότι ο ένας από τους 2 αισθητήρες δεν λειτουργεί σωστά οπότε θα πρέπει να επεξεργαστούμε τα δεδομένα μόνο του ενός. Όπως παρατηρούμε λοιπόν ο αισθητήρας B έχει μέσο όρο τιμών για κάθε ρύπο αρκετά μεγαλύτερο από το όριο συναγερμού κάτι το οποίο δεν επιβεβαιώνεται και από τη χρήση των οργάνων libelium που έγινε προηγουμένων, οπότε η επεξεργασία των δεδομένων έγινε μόνο για τον αισθητήρα A.

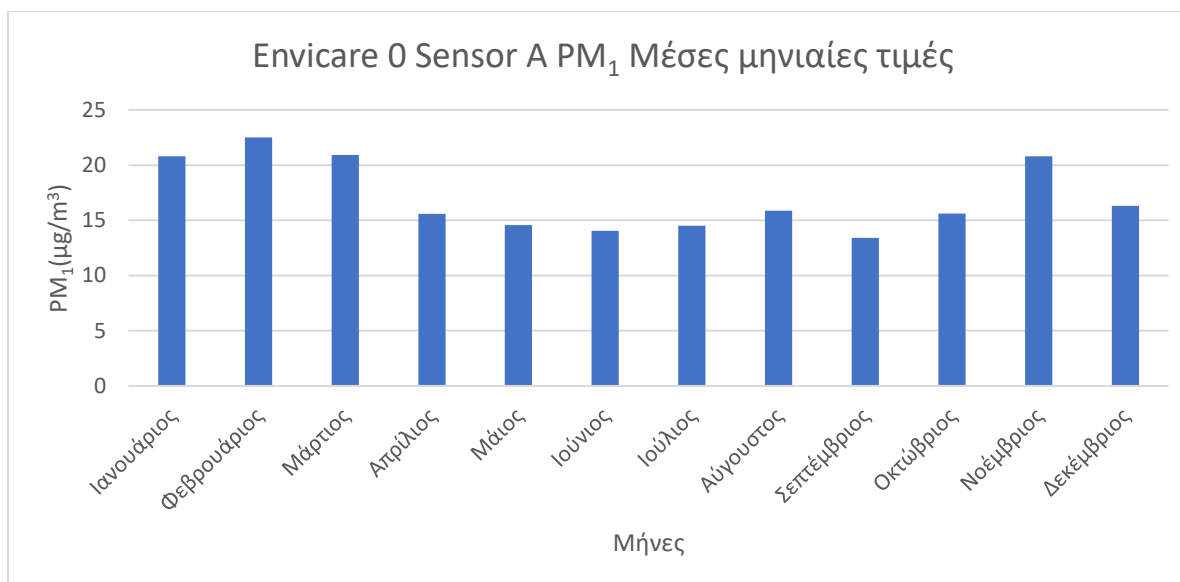
### 5.3.2 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο Envicare 0

Παρατηρούμε από το διάγραμμα 5.8α της συνολικής διακύμανσης του ρύπου υπάρχει μια μεγάλη έξαρση του ρύπου, καθώς και ότι παραβιάζεται το όριο συναγερμού και μάλιστα σε μεγάλο βαθμό, μελετώντας την περιοχή αυτό μπορεί να οφείλεται στη κινητικότητα των πολιτών καθώς το σημείο στο οποίο βρίσκεται το όργανο είναι πολυσύχναστο και είναι τουριστική περιοχή καθώς μπορεί να οφείλεται και από την ψησταριά που βρίσκεται ακριβώς δίπλα από το όργανο.



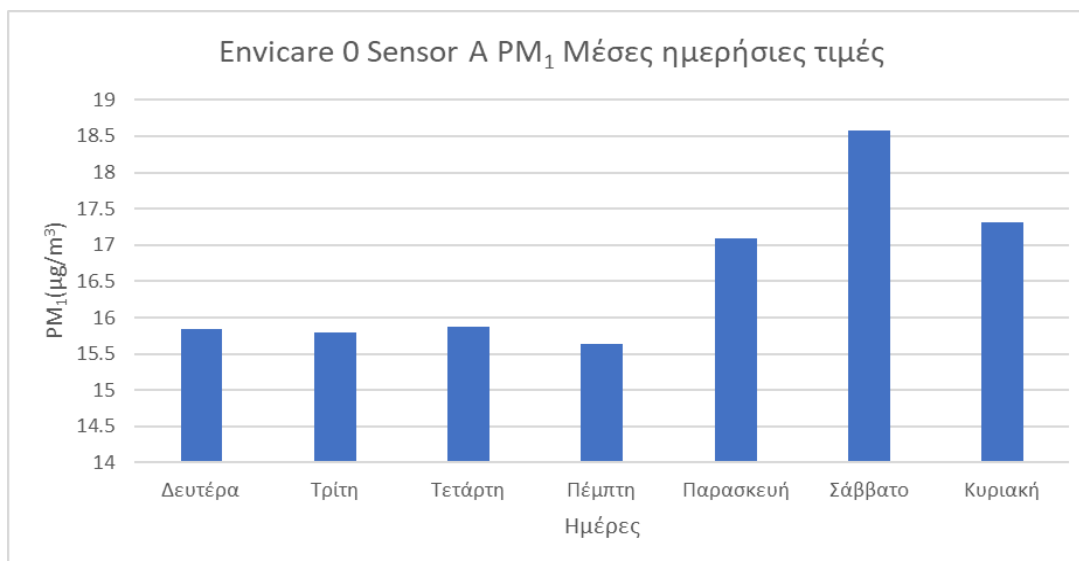
**Σχήμα 5.8α :** Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{10}$  την περίοδο 2020-2022 από το όργανο Envicare 0

Βάση την μηνιαία βάση και το διάγραμμα 5.8β παρατηρούμε μια σχετική εποχικότητα να εμφανίζει ο ρύπος καθώς βλέπουμε ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις του ρύπου εμφανίζονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες και τον πρώτο μήνα της άνοιξης (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος Φεβρουάριος, Μάρτιος) και στη συνέχεια η διακύμανση να είναι ομαλή.



**Σχήμα 5.8β:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 0

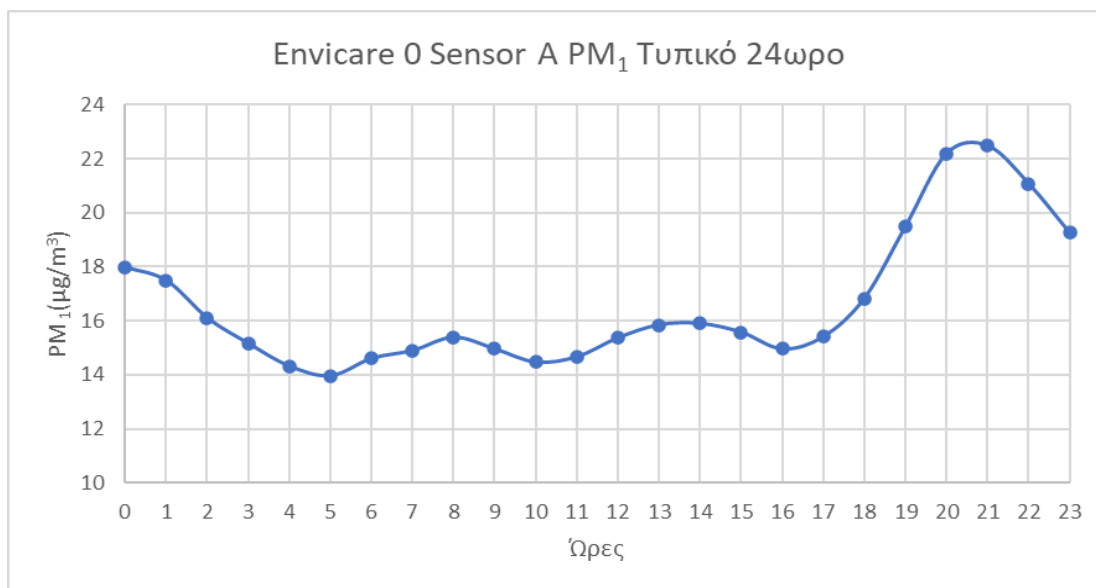
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.8γ της ημερήσιας διακύμανσης συμπεραίνουμε ότι τις μέρες Παρασκευή – Σάββατο – Κυριακή έχουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις όπου κυμαίνονται μεταξύ (17-18.5 µg/m<sup>3</sup>). Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι εκείνες τις μέρες ο περισσότερος κόσμος δεν δουλεύει και λόγω ότι το σημείο είναι κεντρικό, ο πολύς κόσμος που περνάει καθώς και οι ψησταριές που θα δουλεύουν σε μεγαλύτερο βαθμό παίζουν ρόλο σε αυτά τα αποτελέσματα.



**Σχήμα 5.8γ:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 0

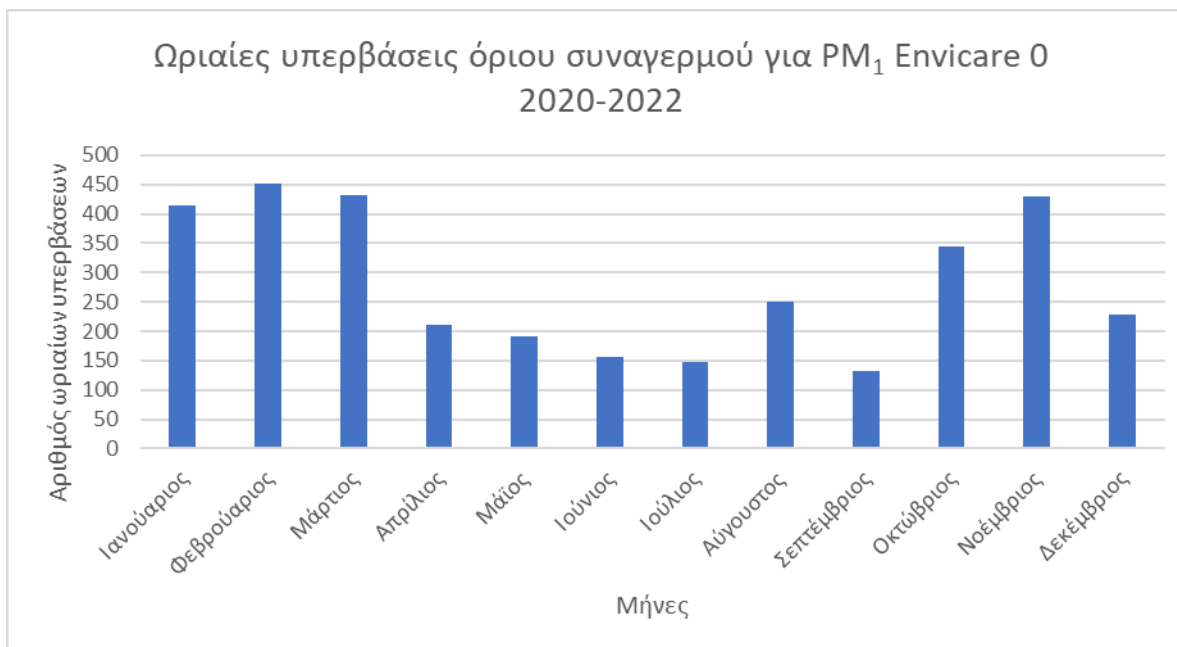
Στο διάγραμμα 5.8δ του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε το 1<sup>ο</sup> Peak τις μεταμεσονύχτιες ώρες (24:00-02:00), μετέπειτα παρατηρούμε την 1<sup>η</sup> πτώση όπου και η διακύμανση είναι ομαλή όπου και στις 17:00 εμφανίζεται το 2<sup>ο</sup> peak όπου ανά 1 ώρα όλο και αυξάνεται η συγκέντρωση όπου τις ώρες 20:00- 21:00 εμφανίζονται οι υψηλότερες τις τάξης των 22 µg/m<sup>3</sup>.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Σχήμα 5.8α:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 0

Στο διάγραμμα 5.8<sub>ε</sub> παρατηρούμε τις ωριαίες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού για τον ρύπο PM<sub>1</sub> για όλη τη χρονοσερά των μετρήσεων.



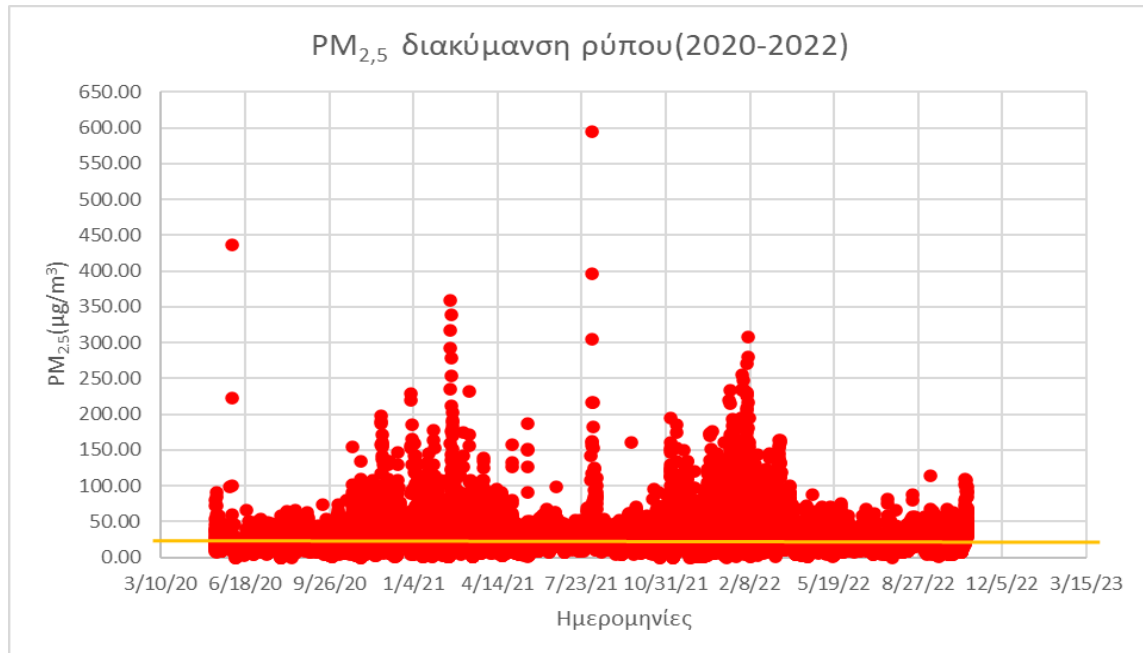
**Σχήμα 5.8ε :** Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού για τα σωματίδια PM<sub>1</sub> του οργάνου Envicare 0 την περίοδο 2020-2022

### 5.3.3 Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 0

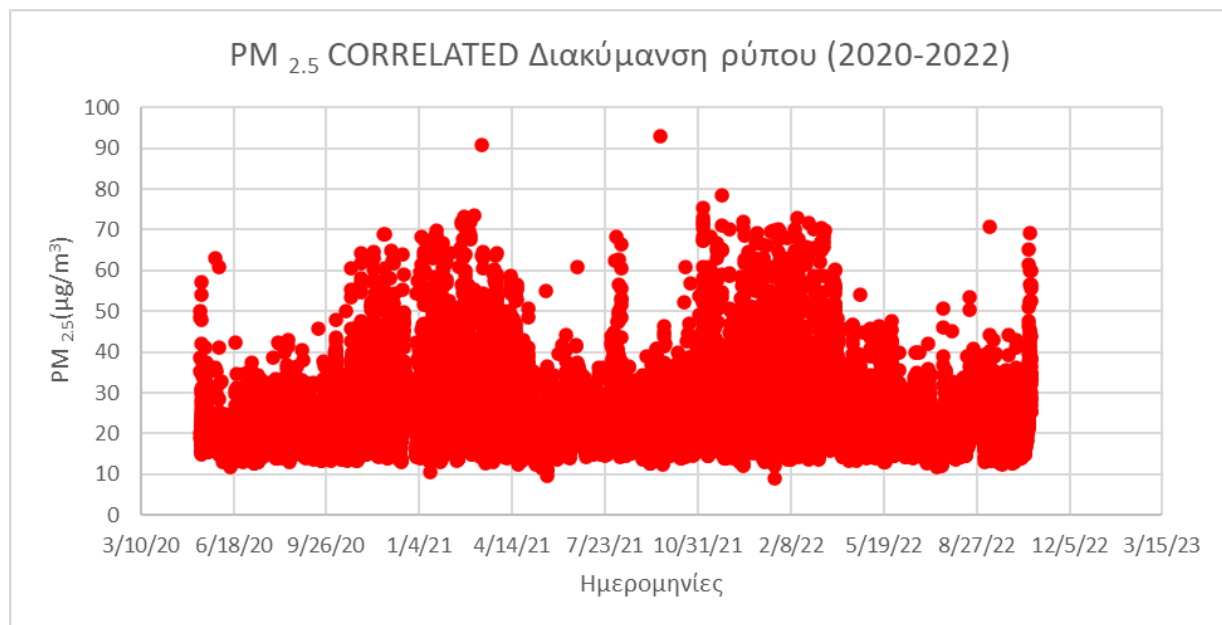
Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.9<sub>α</sub> και 5.9<sub>β</sub> μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι εξισώσεις διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα raw

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

data, παρόλα αυτά παρατηρούμε ότι η μελέτη περιοχής έχει αρκετές παραβιάσεις του ορίου συναγερμού το οποίο οφείλεται από τις ψησταριές.

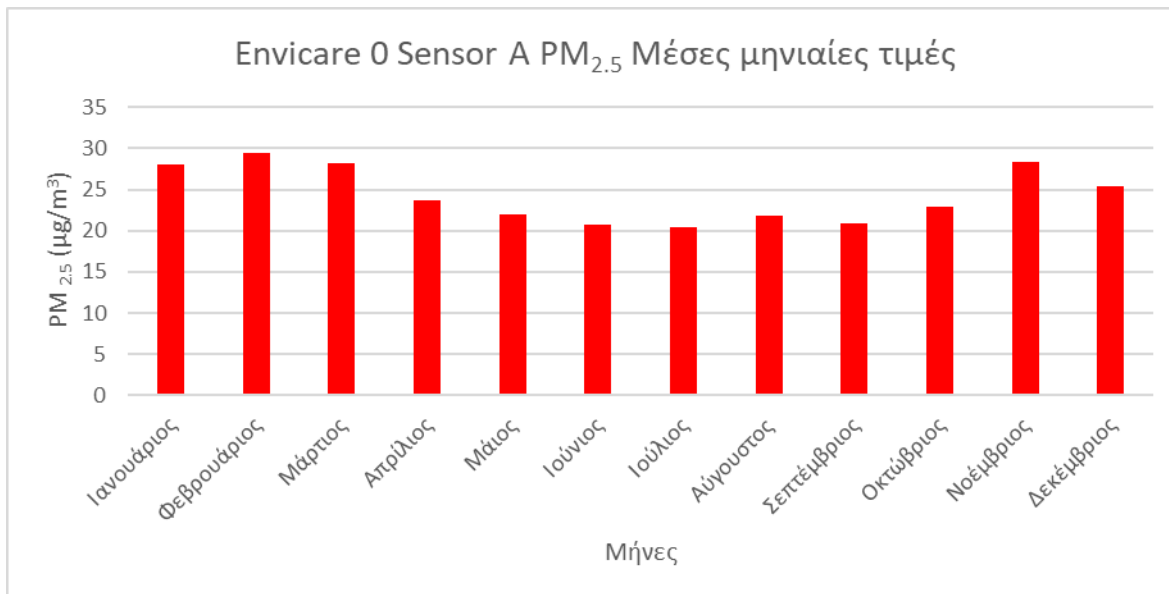


**Σχήμα 5.9α :** Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{2.5}$  την περίοδο 2020-2022 από το όργανο Envicare 0



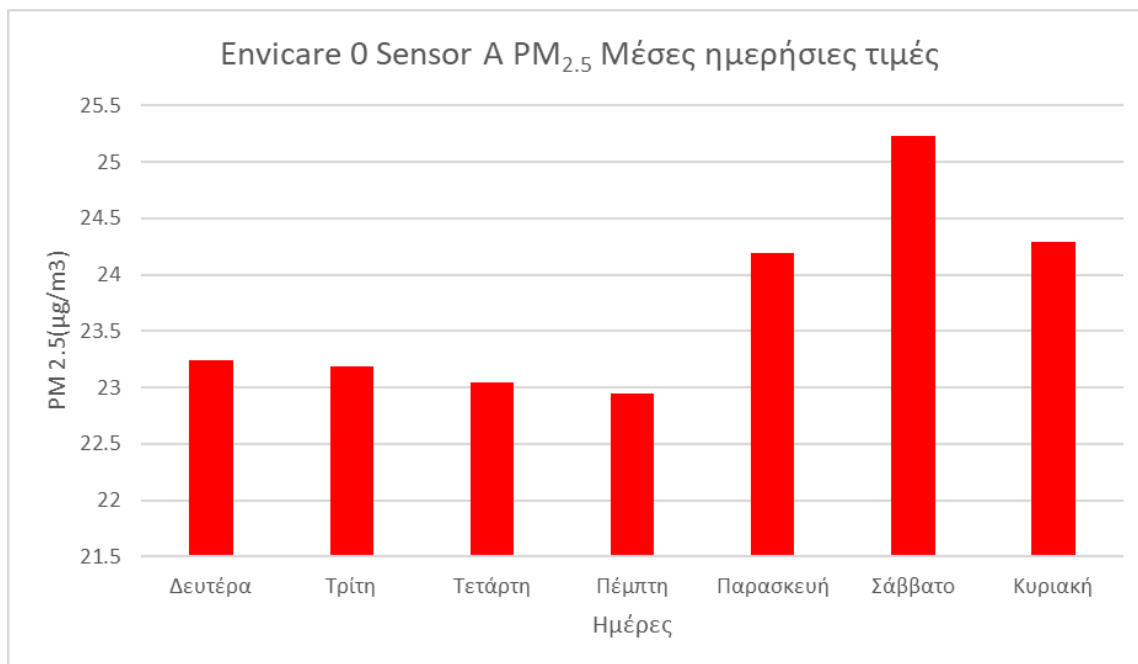
**Σχήμα 5.9β :** Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{2.5}$  για τις διορθωμένες τιμές την περίοδο 2020-2022 από το όργανο Envicare 0

Στην μηνιαία βάση από το διάγραμμα 5.9γ παρατηρούμε την εποχικότητα που εμφανίζεται άλλη μια φορά καθώς τους χειμερινούς μήνες εντοπίζουμε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεταξύ (25-29.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) με τους υπόλοιπους μήνες η μεταβολή να είναι ομαλή.



**Σχήμα 5.9γ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 0

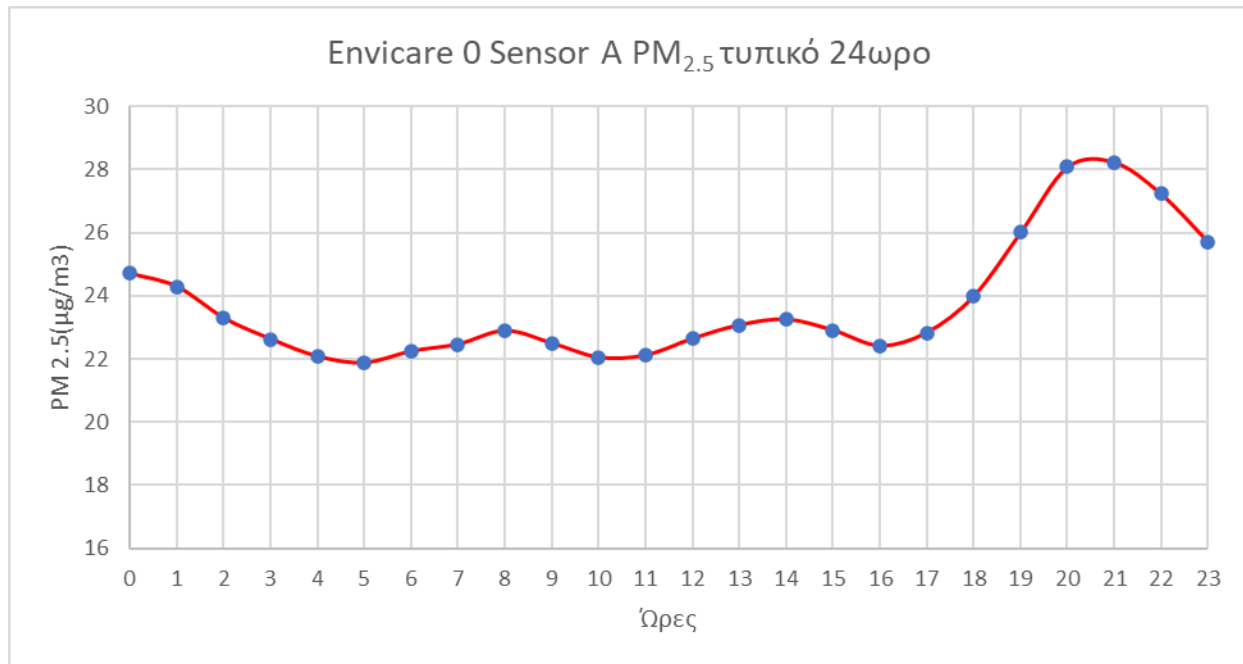
Παρατηρώντας το διάγραμμα της ημερήσιας μεταβολής 5.9δ παρατηρούμε ότι εμφανίζεται ένα μοτίβο σε σχέση με τον ρύπο PM<sub>1</sub> και εντοπίζουμε τις μέγιστες συγκεντρώσεις του ρύπου τις μέρες Παρασκευή, Σάββατο και Κυριακή, όπου συνήθως είναι και οι μέρες που ο περισσότερος κόσμος κυκλοφορεί έξω. Τις υπόλοιπες μέρες η συγκεντρώσεις ανά ημέρα δεν διαφέρουν κατά πολύ.



**Σχήμα 5.9δ:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 0

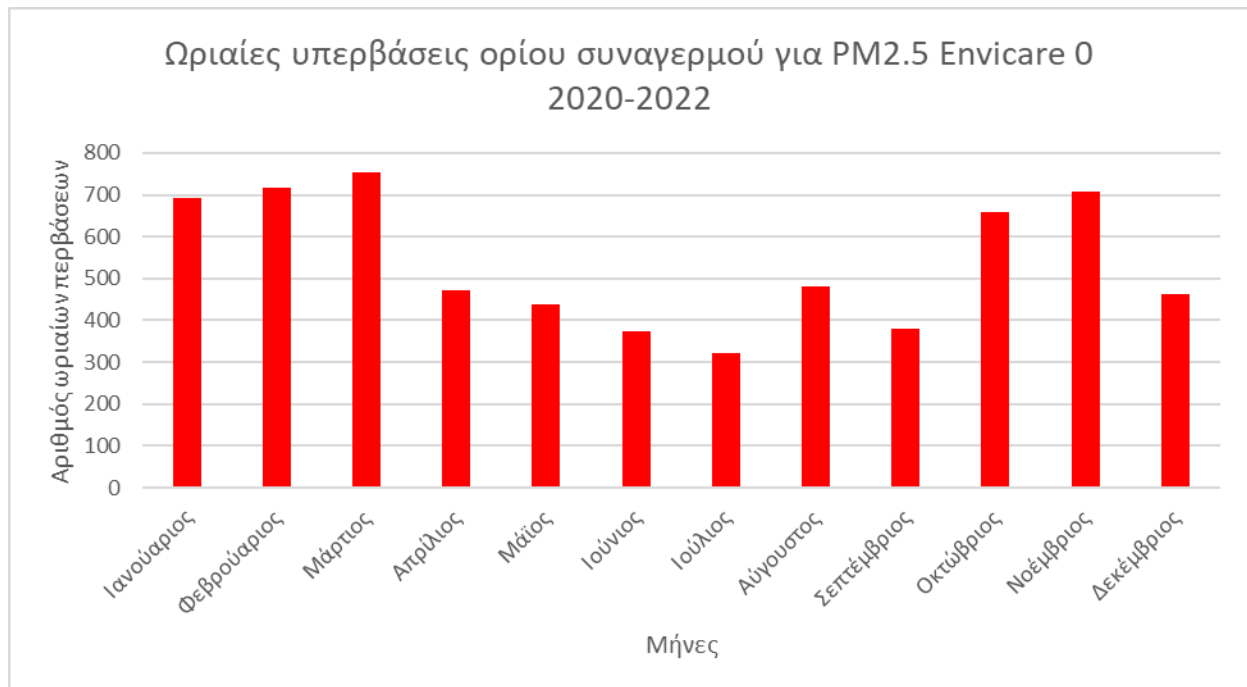
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.9<sub>ε</sub> του κυλιόμενου 24ώρου εντοπίζουμε το 1<sup>ο</sup> peak τις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες μεταξύ (24:00-01:00) με μέση συγκέντρωση τα 24.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , μετέπειτα παρατηρούμε μια πτώση η οποία καταλήγει σε μια ομαλή μεταβολή μέχρι και της 17:00. Στη συνέχεια παρατηρούμε το 2<sup>ο</sup> peak μέσα στην ημέρα όπου κατά της ώρες (20:00-21:00) παρατηρούμε και την μέγιστη συγκέντρωση μέσα στη μέρα (28.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Σχήμα 5.9<sub>ε</sub>:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 0

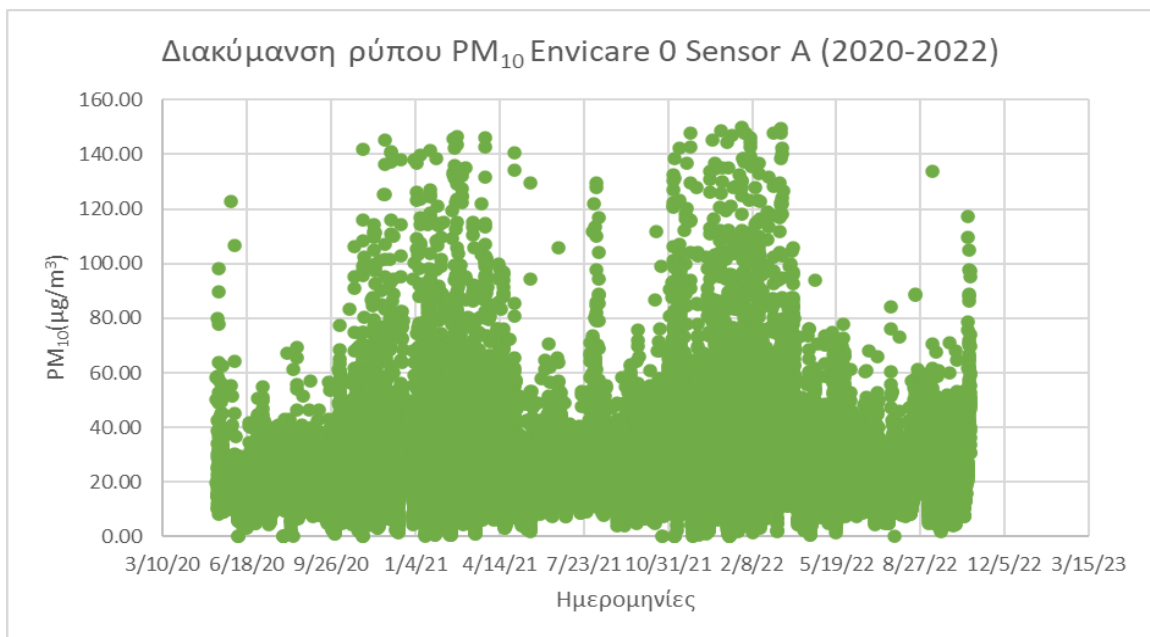
Στο διάγραμμα 5.10<sub>στ</sub> παρατηρούμε τις ωριαίες υπερβάσεις του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για όλη τη χρονοσειρά των μετρήσεων.



Σχήμα 5.10στ : Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού για τα σωματίδια PM<sub>2.5</sub> του οργάνου Envicare 0 την περίοδο 2020-2022

### 5.3.4 Διακύμανση Ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο Envicare 0

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.10α της συνολική μεταβολής, συμπεραίνουμε ότι η μεταβολή του ρύπου είναι ομαλή παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετές υπερβάσεις του ορίου, οι οποίες βέβαια είναι λιγότερες σε σχέση με τους υπόλοιπους 2 ρύπους.

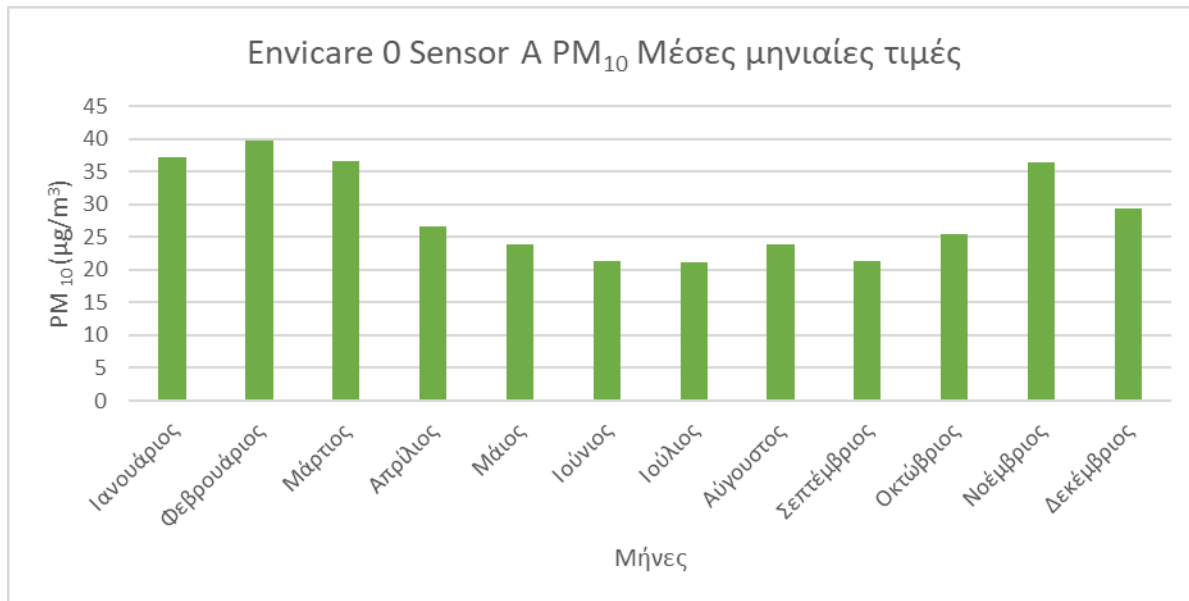


Σχήμα 5.10α : Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> την περίοδο 2020-2022 από το όργανο Envicare 0



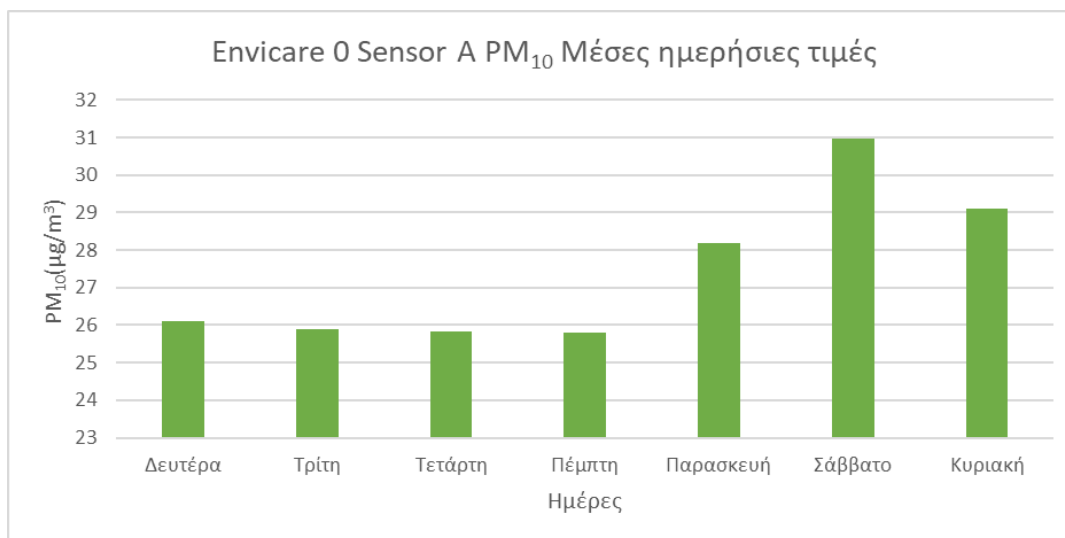
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Στην μηνιαία βάση από το διάγραμμα 5.10β παρατηρούμε την εποχικότητα του ρύπου όπου ήδη συναντήσαμε και στα διαγράμματα των  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  με την μέγιστη συγκέντρωση να εντοπίζεται τους μήνες (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος) με μέγιστη συγκέντρωση  $39.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  τον μήνα Φεβρουάριο, με τους υπόλοιπους μήνες να κινούνται σε παρόμοιο επίπεδο



**Σχήμα 5.10β:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  για το όργανο Envicare 0

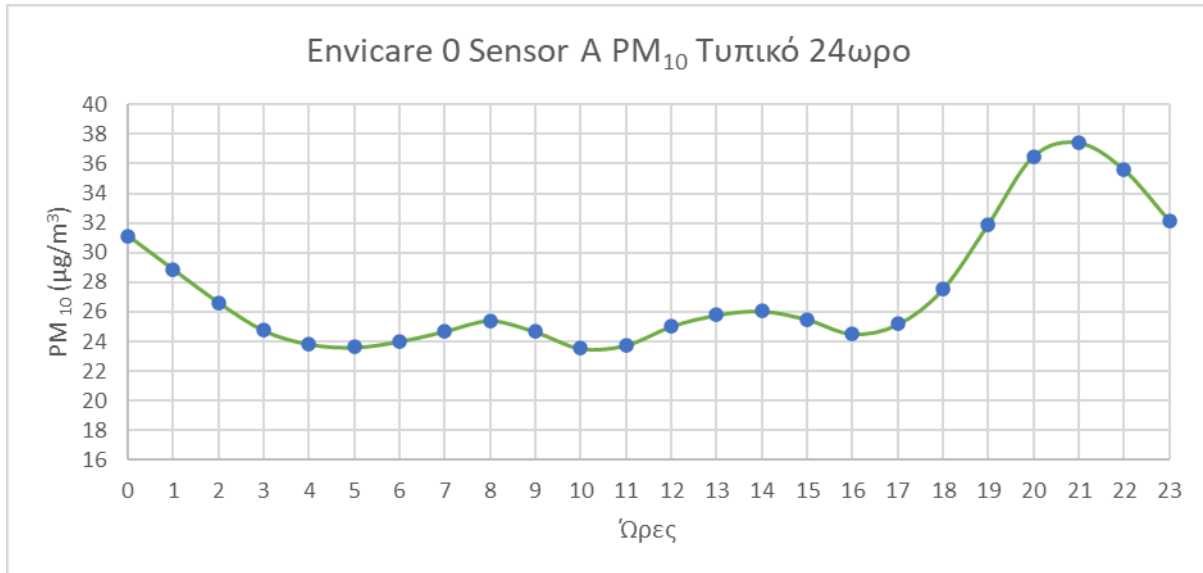
Στο διάγραμμα 5.10γ για την ημερήσια μεταβολή παρατηρούμε το μοτίβο όπου υπήρχε και στους άλλους δυο ρύπους, όπου η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται τις ημέρες Παρασκευή-Σάββατο – Κυριακή, με υψηλότερη συγκέντρωση το Σάββατο με  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ενώ τις υπόλοιπες μέρες κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα



**Σχήμα 5.10γ:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  για το όργανο Envicare 0

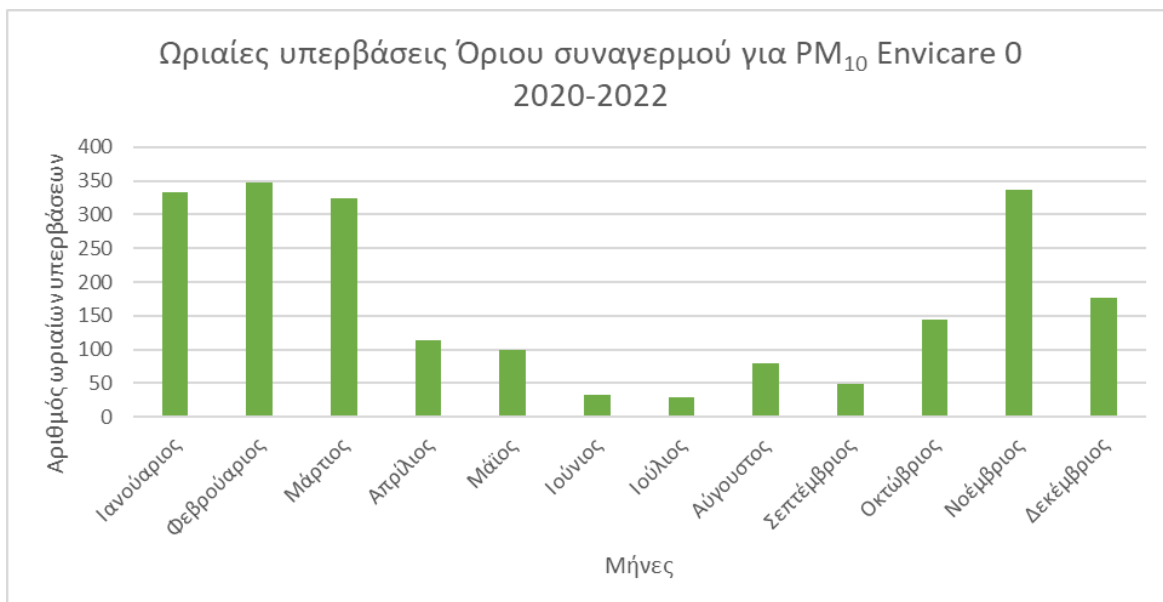
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Μελετώντας το διάγραμμα 5.10δ παρατηρούμε το ίδιο μοτίβο με τα δυο προηγούμενα σωματίδια όπου, το 1<sup>ο</sup> peak εμφανίζεται τα μεσάνυχτα, μετέπειτα υπάρχει μια πτώση η οποία καταλήγει σε ομαλή μεταβολή μέχρι και της 17:00 και στο τέλος παρατηρούμε πάλι την ανοδική τάση με αποκορύφωμα στις 21:00 με συγκέντρωση 37.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Σχήμα 5.10δ:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 0

Μέσω του διαγράμματος 5.10ε παρατηρούμε τις ωριαίες υπερβάσεις του ρύπου PM<sub>10</sub> για όλη τη χρονοσειρά των μετρήσεων



**Σχήμα 5.10ε :** Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού για τα σωματίδια PM<sub>10</sub> του οργάνου Envicare 0 την περίοδο 2020-2022

Ολοκληρώνοντας τον έλεγχο του οργάνου Envicare 0 για τα αιωρούμενα σωματίδια καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα.

- Αρχικά παρατηρήσαμε ότι ο ένας αισθητήρας του οργάνου δεν λειτουργούσε σωστά καθώς υπερεκτιμούσε τα αποτελέσματα και για αυτό χρησιμοποιήσαμε μόνο τον αισθητήρα Α
- Επίσης παρατηρούμε ότι και οι τρεις ρύποι ακολουθούν ένα παρόμοιο μοτίβο όπου στο οποίο τις ημέρες Παρασκευή, Σάββατο και Κυριακή εμφανίζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ρύπων μέσα στην εβδομάδα το οποίο συμβαίνει πιθανότατα λόγω ότι εκείνες τις ημέρες ο περισσότερος κόσμος κυκλοφορεί έξω για την διασκέδαση του με αποτέλεσμα και οι ψησταριές που υπάρχουν τριγύρω να δουλεύουν σε μεγαλύτερο ρυθμό και έτσι να επηρεάζει το όργανο.
- Παρόμοιο μοτίβο παρατηρούμε επίσης και στο γεγονός ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις των σωματιδίων εμφανίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο, το οποίο φανερώνει την εποχικότητα του ρύπου.
- Όσον αφορά τις υπερβάσεις του ορίου συναγερμού παρατηρούμε ότι οι περισσότερες υπερβάσεις για όλη την χρονοσειρά εμφανίστηκαν τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο όπου είναι και οι μήνες με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά μέσο όρο.
- Από τους τρεις ρύπους, αυτός που είχε τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου είναι τα σωματίδια PM<sub>2.5</sub> , καθώς στο χρονικό διάστημα των δυο χρόνων (2020-2022) τον μήνα μάρτιο υπήρχαν 755 υπερβάσεις, κάτι το οποίο είναι ανησυχητικό.

## 5.4 Αξιολόγηση Οργάνου Envicare 1

Το πρώτο βήμα που έγινε ήταν ο έλεγχος των δυο αισθητήρων αν λειτουργούν σωστά (πίνακα 5.2).

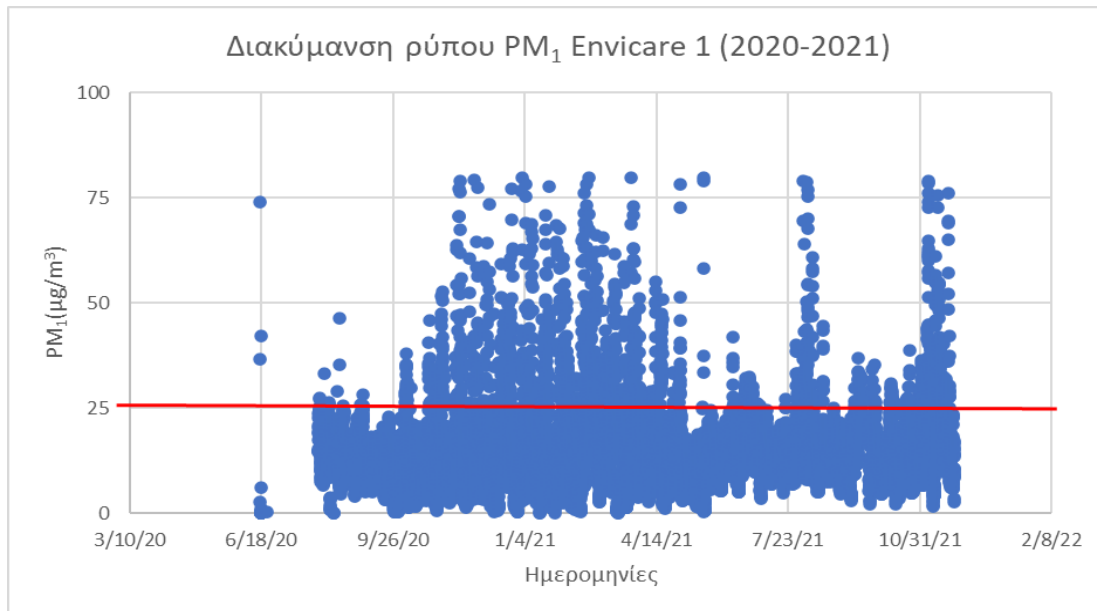
ATH ENVICARE 1			
SENSOR A		SENSOR B	
PM 1	15.87	PM 1	15.67
PM 2.5	24.12	PM 2.5	23.28
PM 10	25.11	PM 10	24.25

**Πίνακας 5.2: Έλεγχος αισθητήρων οργάνου ENVICARE 1**

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση μεταξύ των 2 αισθητήρων, είναι μικρότερη από  $\pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  το οποίο σημαίνει ότι και οι 2 αισθητήρες λειτουργούν σωστά, οπότε το επόμενο βήμα θα είναι η επεξεργασία των μετρήσεων.

#### 5.4.1 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο Envicare 1

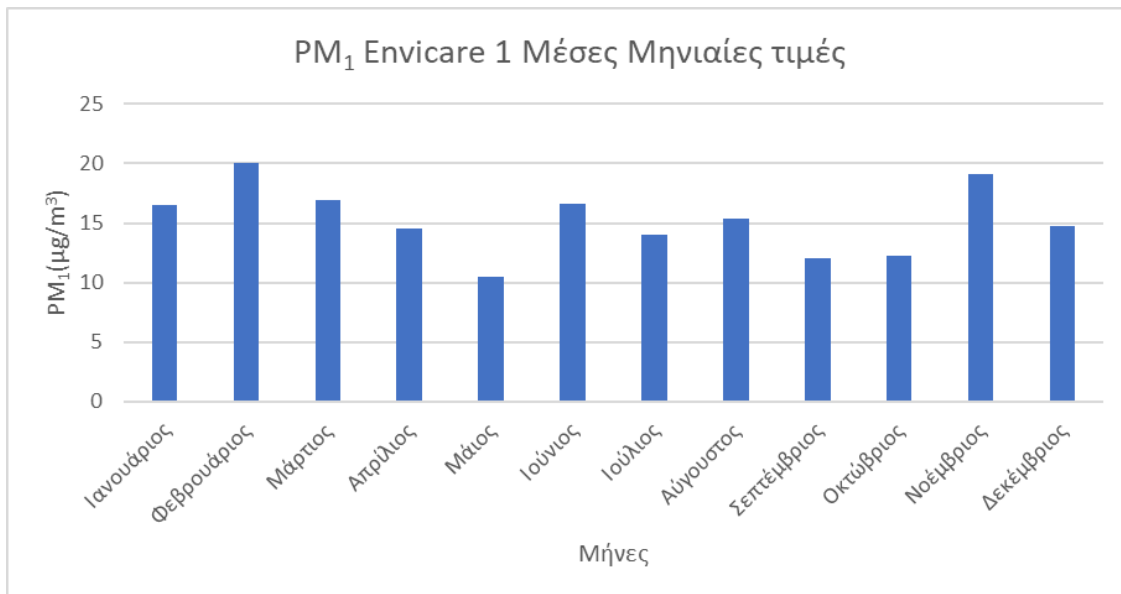
Παρατηρούμε από το διάγραμμα 5.11<sub>α</sub> της διακύμανσης του ρύπου για την χρονοσειρά ότι κατά κύριο λόγο η μεταβολή είναι ομαλή, υπάρχουν υπερβάσεις οι οποίες δεν είναι ιδιαίτερα υψηλής έντασης και εμφανίζονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες.



**Σχήμα 5.11<sub>α</sub>** : Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{10}$  την περίοδο 2020-2021 από το όργανο Envicare 1

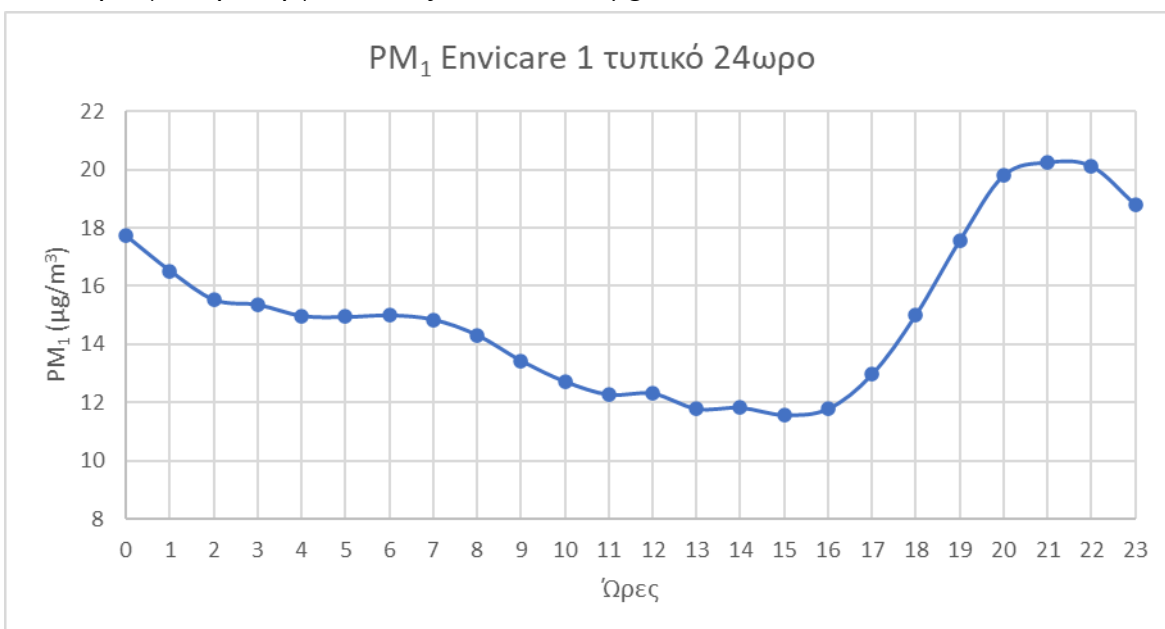
Μέσω του διαγράμματος 5.11<sub>β</sub> για της μηνιαίες τιμές, παρατηρούμε για άλλη μια φορά ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κυρίως τους μήνες (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος αλλά και τον Ιούνιο) με συγκεντρώσεις της τάξης ( $14.73 - 20.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Διακρίνουμε λοιπόν την εποχικότητα του ρύπου καθώς τους χειμερινούς μήνες που εμφανίζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις, γίνεται μεγαλύτερη χρήση καυσίμων για την θέρμανση των σπιτιών.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Σχήμα 5.11β:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 1

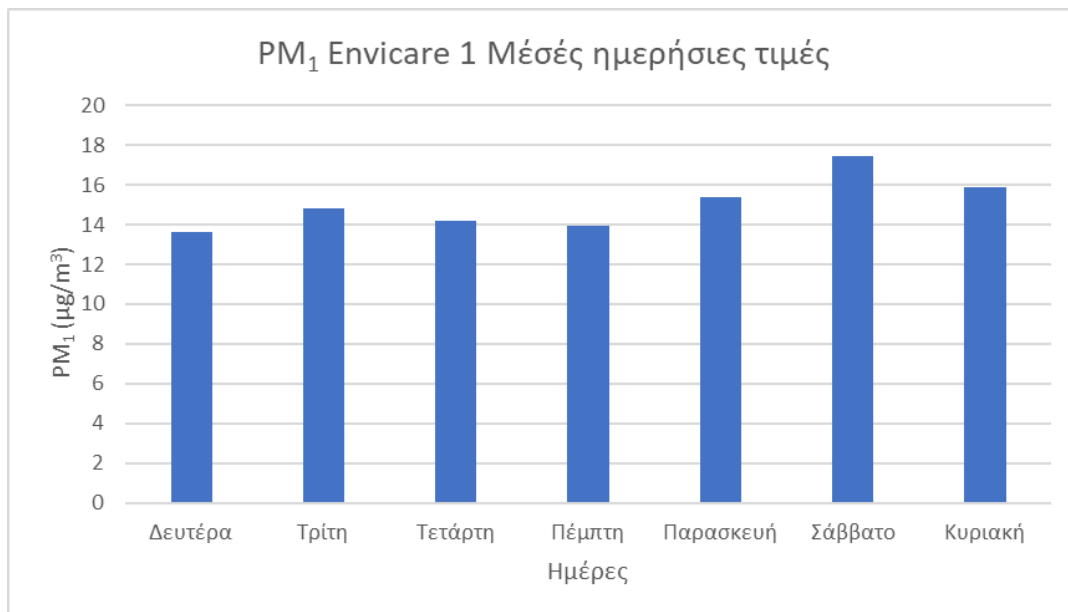
Από το διάγραμμα 5.11<sub>γ</sub> του τυπικού 24ώρου, παρατηρούμε καθόλη τη διάρκεια της μέρας υπάρχει μια πτωτική τάση σε εξαίρεση με το απόγευμα που εμφανίζεται το 1<sup>ο</sup> Peak στις 5 μ.μ όπου και η συγκέντρωση φτάνει έως και τα 20.24 µg/m<sup>3</sup>.



**Σχήμα 5.11γ:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 1

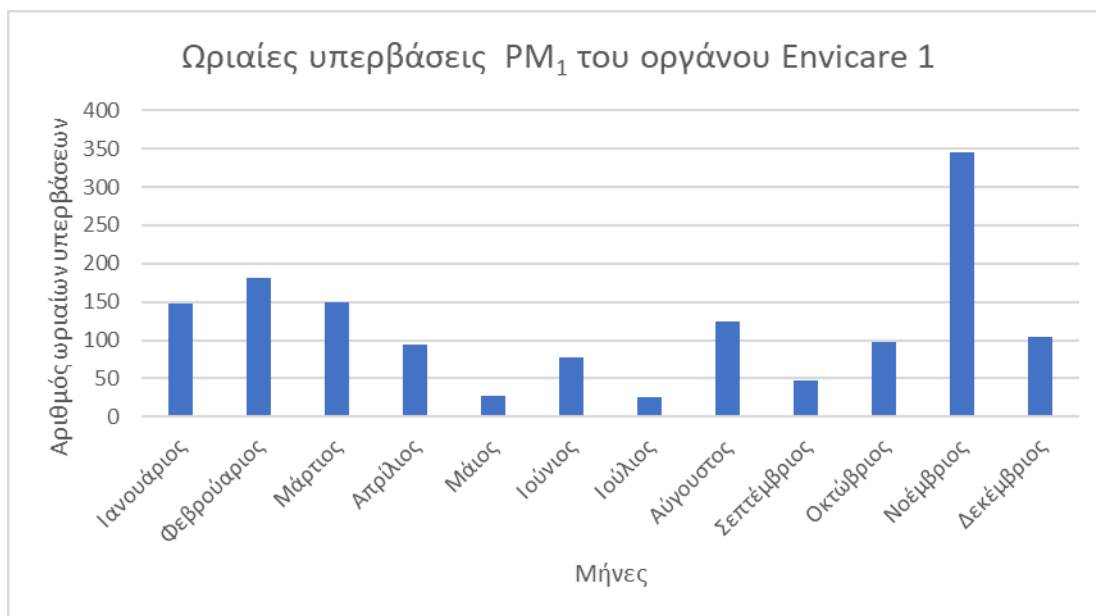
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Όσον αφορά το διάγραμμα 5.11δ της ημερήσιας μεταβολής παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη μεταβολή μεταξύ των ημερών, παρόλα αυτά το Σάββατο παρατηρούμε ότι εμφανίζεται η μέγιστη συγκέντρωση όπου είναι της τάξης των 17.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Σχήμα 5.11δ: Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 1

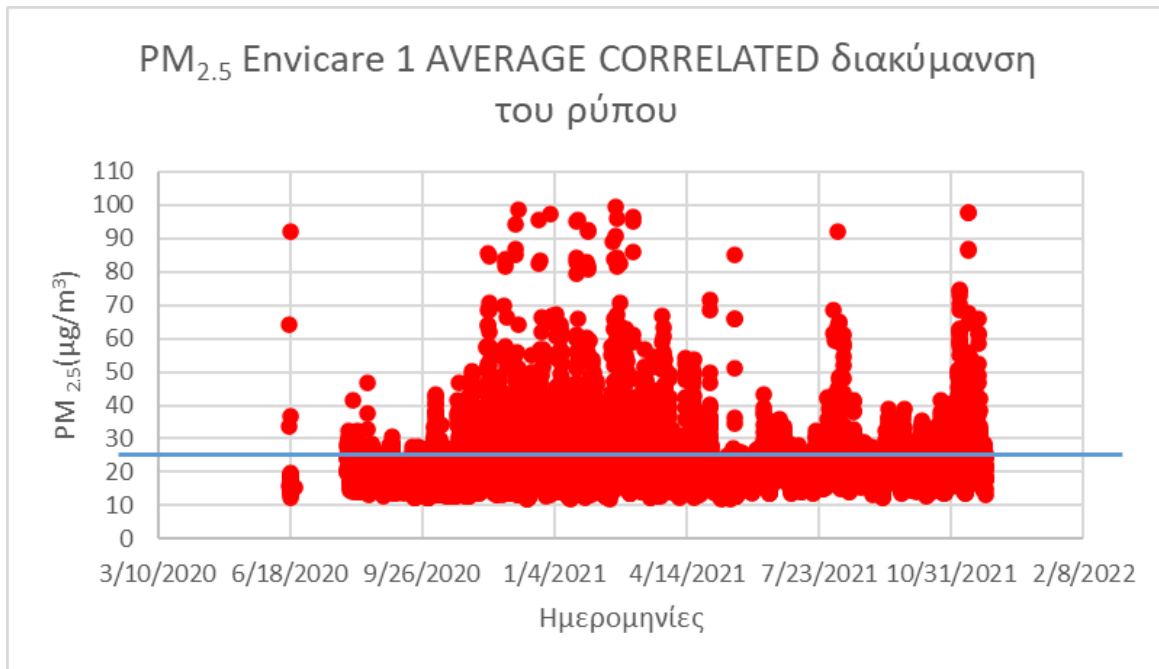
Από το διάγραμμα 5.11.ε παρατηρούμε ότι ο μήνας με τις περισσότερες υπερβάσεις είναι ο Νοέμβριος και μάλιστα με τεράστια διαφορά καθώς έχουμε 346 υπερβάσεις τον Νοέμβριο και ακολουθεί ο Φεβρουάριος με 182.



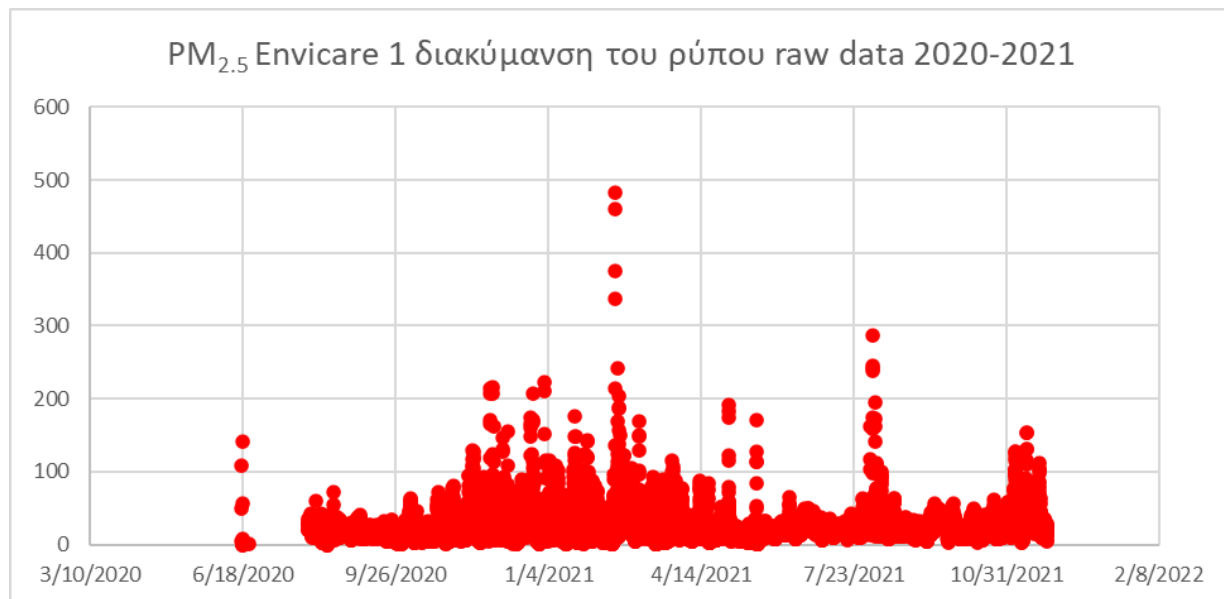
Σχήμα 5.11ε : Διάγραμμα συνολικών ωριαίων υπερβάσεων για τον ρύπο PM<sub>1</sub> του οργάνου Envicare 1

### 5.4.2 Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 1

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.12<sub>α</sub> και 5.12<sub>β</sub> της συνολικής διακύμανσης του ρύπου, το πρώτο πράγμα που συμπεραίνουμε είναι την διαφορά στο μέγεθος των μετρήσεων πριν και μετά την διόρθωση μέσω των εξισώσεων. Παρόλα αυτά παρατηρούμε ότι όγκος των μετρήσεων που ξεπερνάνε το όριο συναγερμού είναι σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό από τον ρύπο PM<sub>1</sub>.



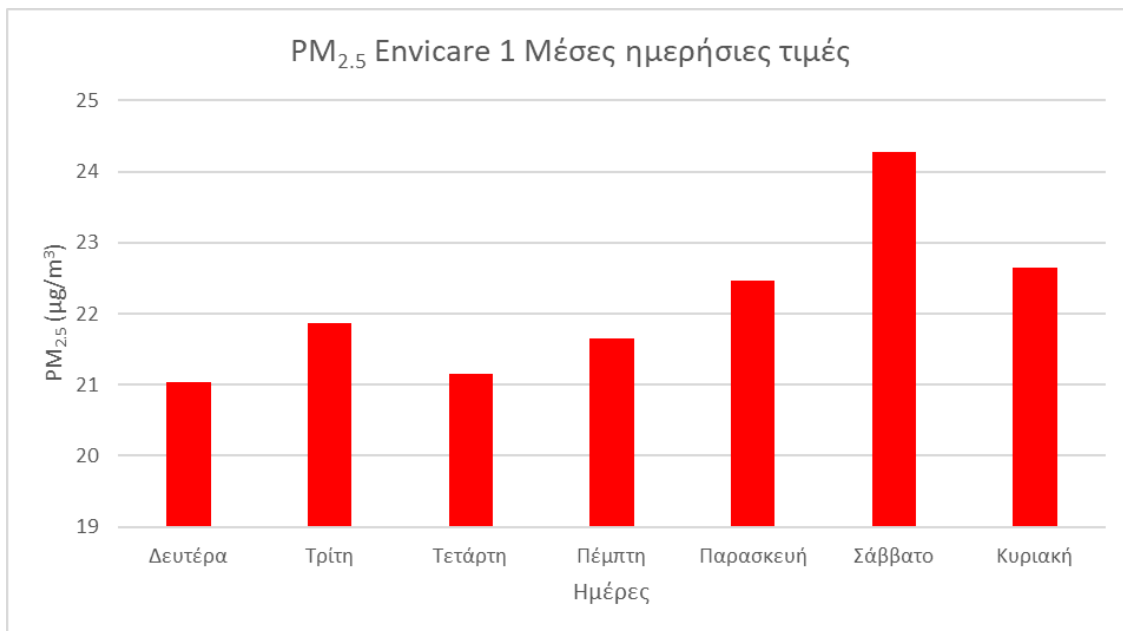
**Σχήμα 5.12<sub>α</sub>** : Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> την περίοδο 2020-2021 από το όργανο Envicare 1



**Σχήμα 5.12<sub>β</sub>** : Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> την περίοδο 2020-2021 από το όργανο Envicare 1 για raw data

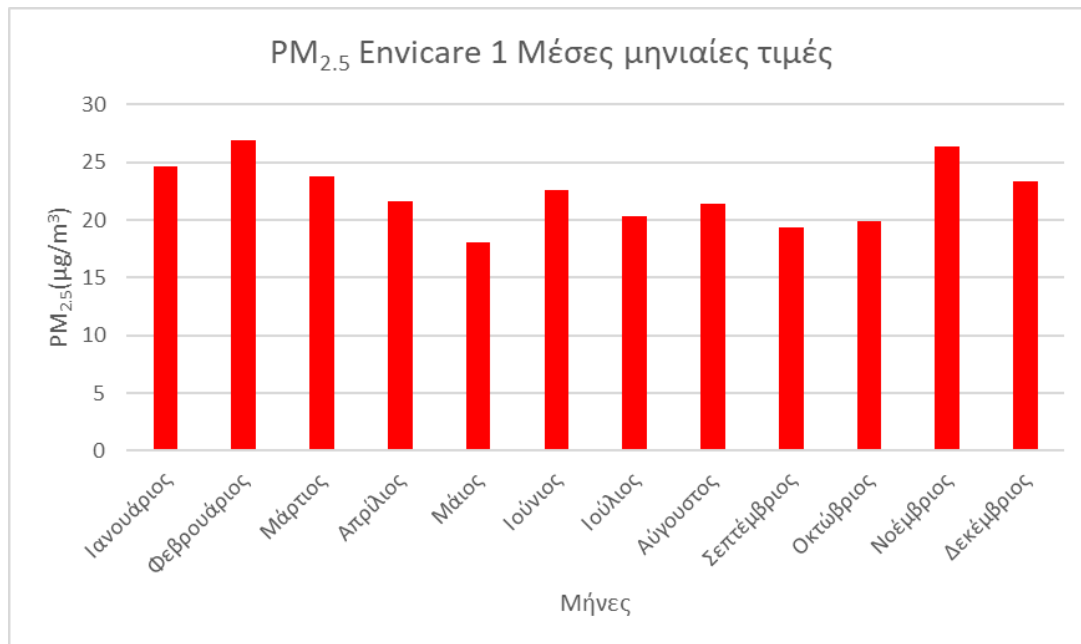
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Σε ημερήσια βάση μέσω του διαγράμματος 5.12 $\gamma$  παρατηρούμε ότι δεν προκύπτει κάποια ιδιαίτερη διάκριση σε μέρες της εβδομάδας, παρόλα αυτά και πάλι παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση τη μέρα του Σαββάτου όπου φτάνει μέχρι και τα 24.28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Σχήμα 5.12 $\gamma$ :** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 1

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.12 $\delta$  συμπεραίνουμε ότι οι χειμερινοί μήνες κατά κύριο λόγο εμφανίζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, όπου ο Φεβρουάριος κυριαρχεί με συγκέντρωση τα 26.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και ο Μάιος με την χαμηλότερη συγκέντρωση στα 18.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

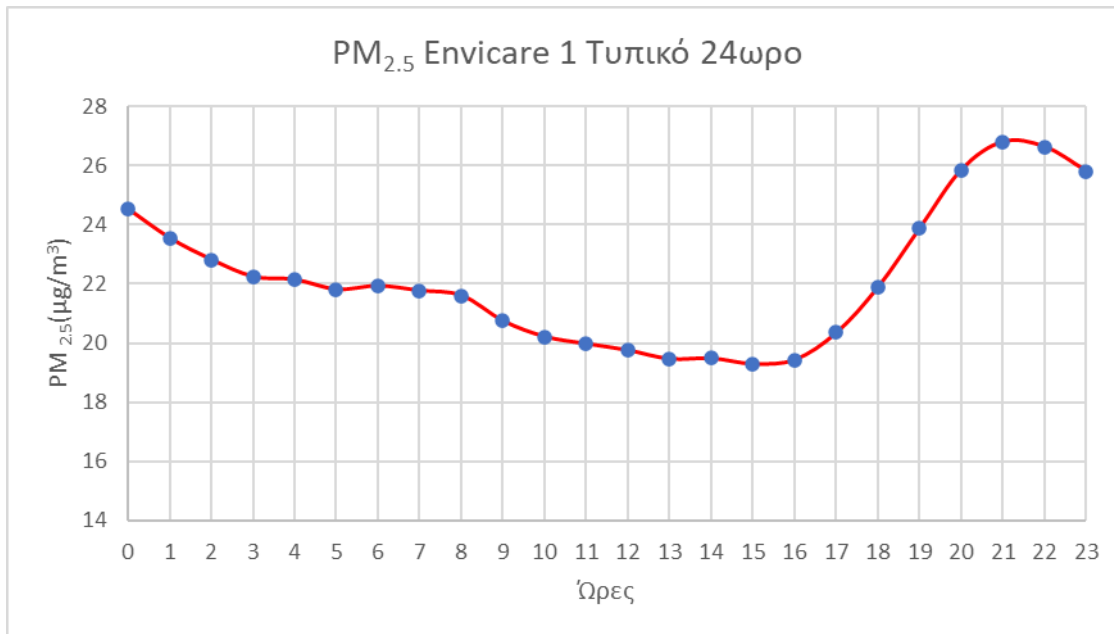


**Σχήμα 5.12 $\delta$ :** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 1



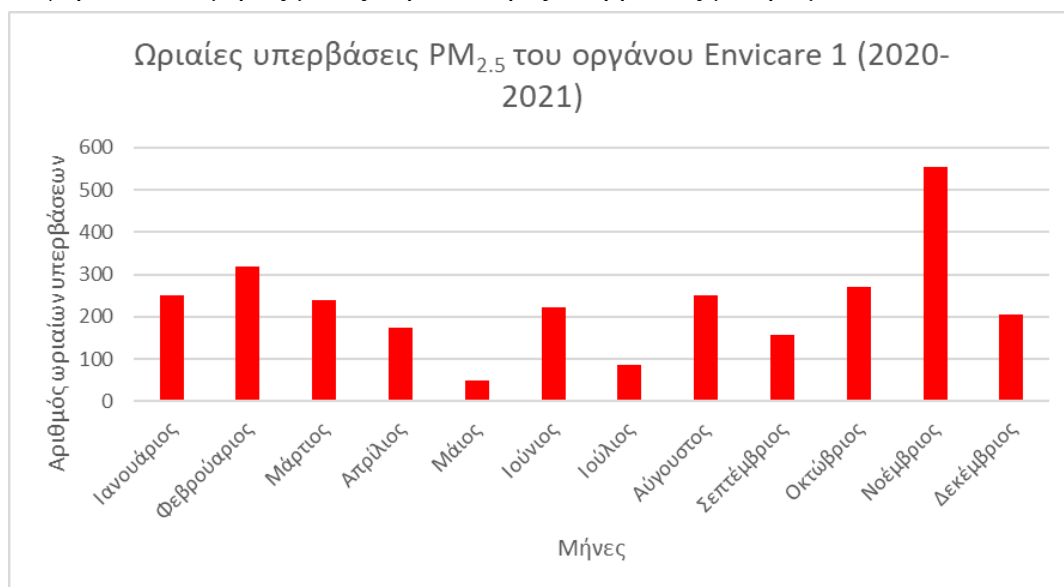
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Μέσω του διαγράμματος 5.12<sub>ε</sub> του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε παρόμοιο μοτίβο με τα PM<sub>1</sub> καθώς καθόλη την διάρκεια της ημέρας παρατηρείται αρχικά μια σταθερά ομαλή διακύμανση όπου καταλήγει τις πρωινές ώρες σε πτωτική και στη συνέχεια 5 μ.μ παρατηρείται η πρώτη ανωδική τάση με αποκορύφωμα της 9 μ.μ όπου και η συγκέντρωση φτάνει τα 26.8 μg/m<sup>3</sup>.



**Σχήμα 5.12<sub>ε</sub>:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 1

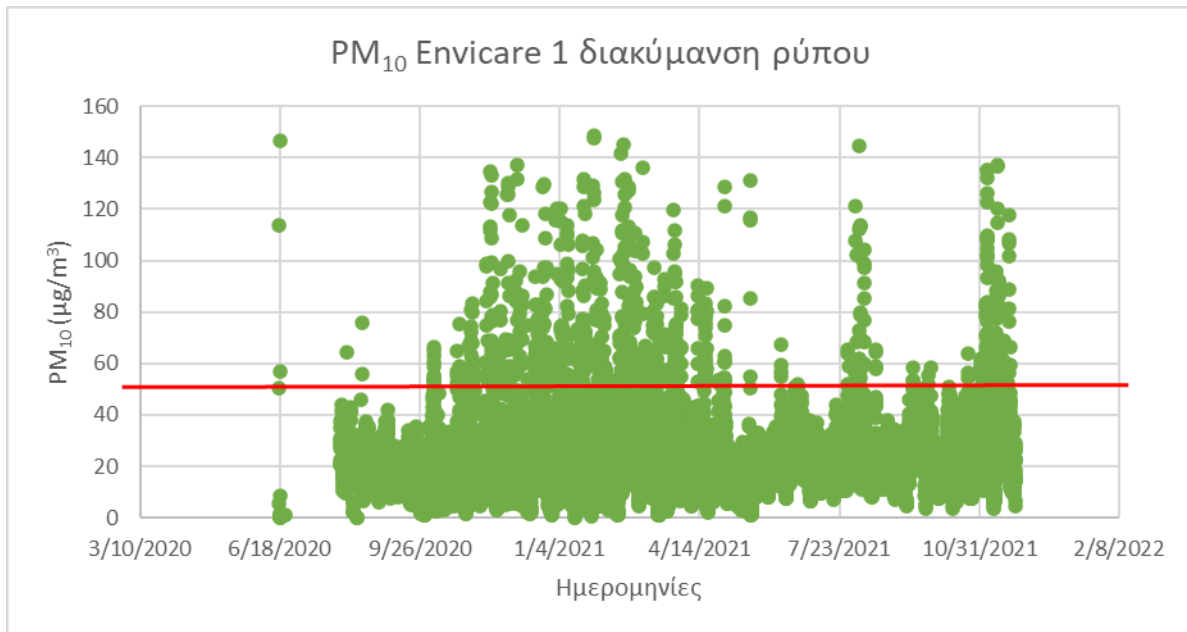
Από το διάγραμμα 5.12<sub>στ</sub> υπερβάσεων της οριακής τιμής παρατηρούμε ότι ο μήνας Νοέμβριος για άλλη μια φορά είναι ο μήνας με τις περισσότερες υπερβάσεις με αριθμό 553.



**Σχήμα 5.12<sub>στ</sub> :** Διάγραμμα συνολικών υπερβάσεων για τον ρύπο PM<sub>2.5</sub> του οργάνου Envicare 1

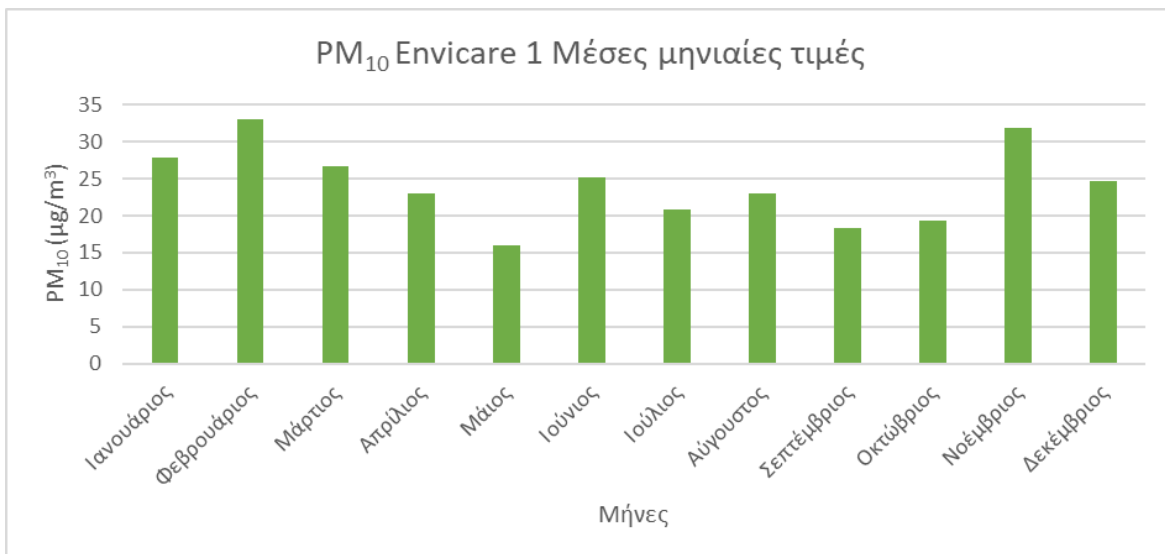
### 5.4.3 Διακύμανση ρύπου $PM_{10}$ από το όργανο Envicare 1

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.13<sub>α</sub> της συνολικής διακύμανσης του ρύπου  $PM_{10}$  συμπεραίνουμε ότι όποιες εξάρσεις υπάρχουν εντοπίζονται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, και είναι χαμηλής έντασης.



Σχήμα 5.13<sub>α</sub> : Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{10}$  την περίοδο 2020-2021 από το όργανο Envicare 1

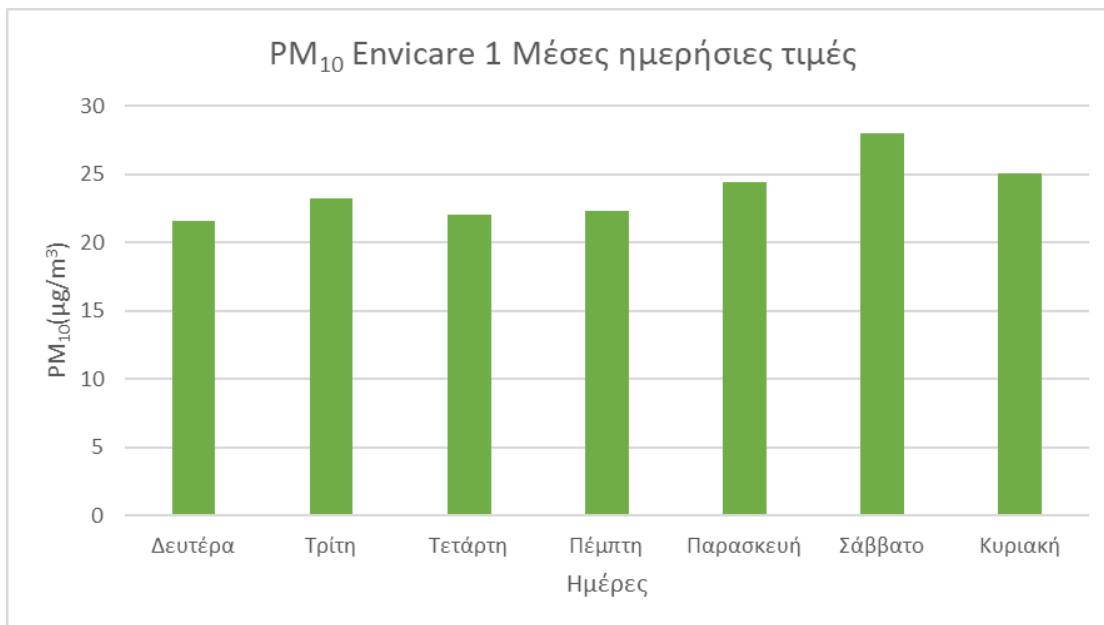
Μέσω του διαγράμματος 5.13<sub>β</sub> της μηνιαίας μεταβολής του ρύπου παρατηρούμε ξανά την εποχικότητα που εμφανίζεται με τους μήνες (Νοέμβριο και Φεβρουάριο να έχουμε την υψηλότερη συγκέντρωση).



Σχήμα 5.13<sub>β</sub>: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου  $PM_{10}$  για το όργανο Envicare 1

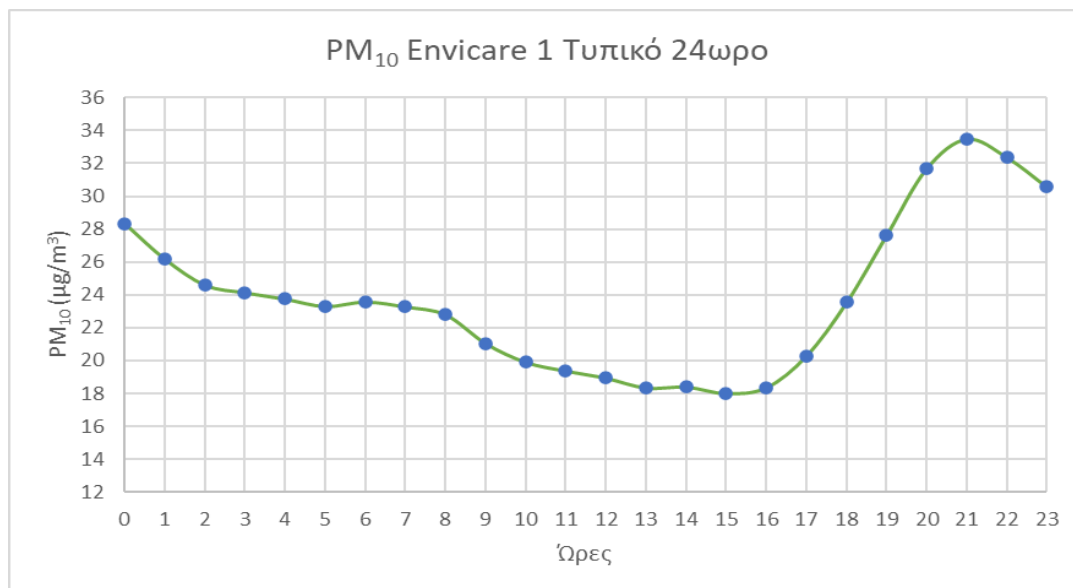
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα της ημερήσιας μεταβολής 5.13<sub>γ</sub> παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη μεταβολή μεταξύ των ημερών με το Σάββατο παρόλα αυτά να είναι η μέρα όπου εμφανίζει την μέγιστη συγκέντρωση με  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Κάτι το οποίο επίσης συνέβη στους προηγούμενους ρύπους.



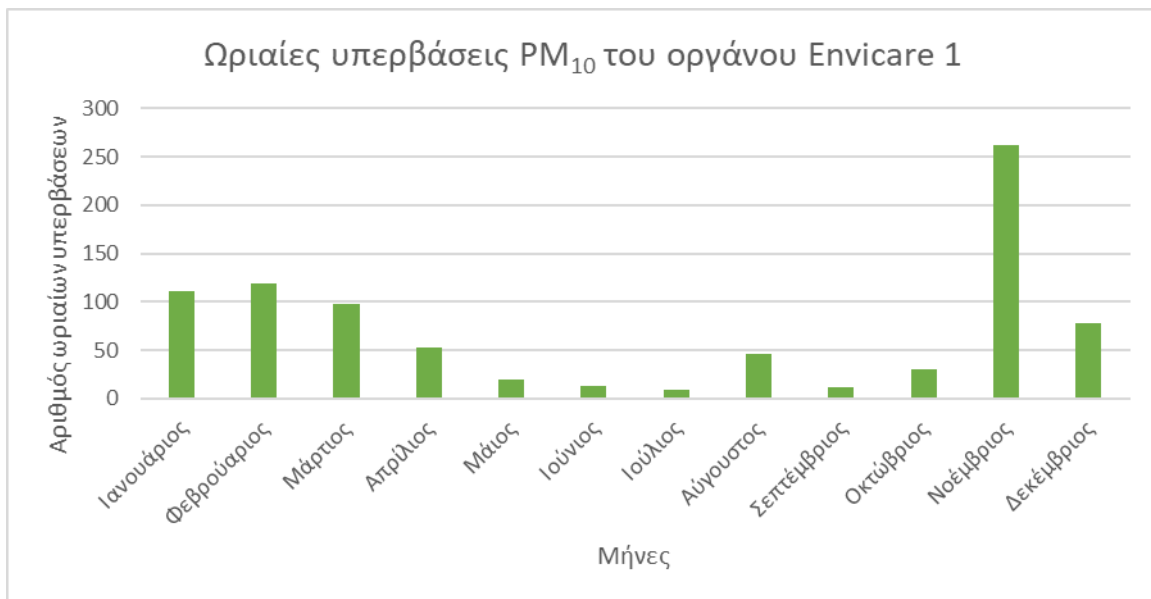
**Σχήμα 5.13<sub>γ</sub>:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο Envicare 1

Μέσω του διαγράμματος 5.13<sub>δ</sub> παρατηρούμε ξανά ότι καθόλη τη διάρκεια της ημέρας υπάρχει μια πτωτική τάση, το οποίο αλλάζει στις 5 µ.μ όπου εμφανίζεται το 1<sup>ο</sup> peak και υπάρχει συνεχώς μια ανοδική τάση με αποκορύφωμα της 9 µ.μ όπου η συγκέντρωση φτάνει τα  $33.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Σχήμα 5.13<sub>δ</sub>:** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 1

Από το διάγραμμα 5.13ε παρατηρούμε ότι ο μήνας Νοέμβριος για άλλη μια φορά έχει τις περισσότερες υπερβάσεις μέσα στον χρόνο με αριθμό 262 όπου ακολουθεί ο Φεβρουάριος με 119.



**Σχήμα 5.13ε:** Διάγραμμα συνολικών ωριαίων υπερβάσεων για τον ρύπο PM<sub>10</sub> του οργάνου Envicare 1

Ολοκληρώνοντας λοιπόν τον έλεγχο του οργάνου Envicare 1 διαπιστώσαμε τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά το όργανο αλλά και την περιοχή μελέτης.

- Παρατηρούμε ότι τα σωματίδια ακολουθούν ένα παρόμοιο μοτίβο για όλα τα διαγράμματα και παρατηρούνται ήπιες μεταβολές στην συγκέντρωσή τους.
- Παρατηρήσαμε ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις και για τους 3 ρύπους εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες, το οποίο οφείλεται κυρίως στην θέρμανση των σπιτιών
- Όσον αφορά την ημερήσια μεταβολή δεν μπόρεσε να προκύψει κάποια διάκριση μεταξύ των ημερών καθώς η μεταφορά σκόνης σχετίζεται με μετεωρολογικές συνθήκες, παρόλα αυτά και για τους τρεις ρύπους το Σάββατο ήταν η μέρα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση
- Για την μεταβολή των σωματιδίων μέσω του διαγράμματος του τυπικού 24ώρου συμπεραίνουμε αρχικά το μοτίβο όπου εμφανίζεται κατά το οποίο τις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες υπάρχει η ανοδική τάση από το βραδύ η οποία σιγά σιγά πέφτει ομαλά μέχρι και το μεσημέρι, και το απόγευμα στις 5 μ.μ αρχίζει και αυξάνεται με αποκορύφωμα της 9 μ.μ το οποίο μπορεί να οφείλεται στην επιστροφή των οδηγών στα σπίτια τους από τις δουλειές τους και ότι εκείνη την ώρα έχουμε την ενεργοποίηση των συστημάτων θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες.
- Όσον αφορά τις υπερβάσεις παρατηρήσαμε ότι και για τους τρεις ρύπους ο Νοέμβριος ήταν ο μήνας που εμφάνισε τις περισσότερες υπερβάσεις και μάλιστα με μεγάλη διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες.
- Αυτό που μπορεί να σχολιαστεί για την περιοχή είναι ότι από τα διαγράμματα συμπεράναμε ότι από τους τρεις ρύπους τα PM<sub>2.5</sub> είναι αυτά που εμφάνισαν τις

περισσότερες υπερβάσεις καθώς και ότι οι συγκεντρώσεις ήταν γενικά υψηλές είτε αφορούσαν μηνιαίους μέσους όρους είτε ωριαίες. Αντιθέτως τα  $PM_{10}$  ήταν αυτά που εμφάνισαν τις λιγότερες υπερβάσεις και οι συγκεντρώσεις των μέσων όρων ήταν αρκετά ικανοποιητικές για την ατμόσφαιρα.

## 5.5 Αξιολόγηση οργάνου Purple Air Envicare 18

Αρχικά έγινε ο έλεγχος των αισθητήρων του οργάνου

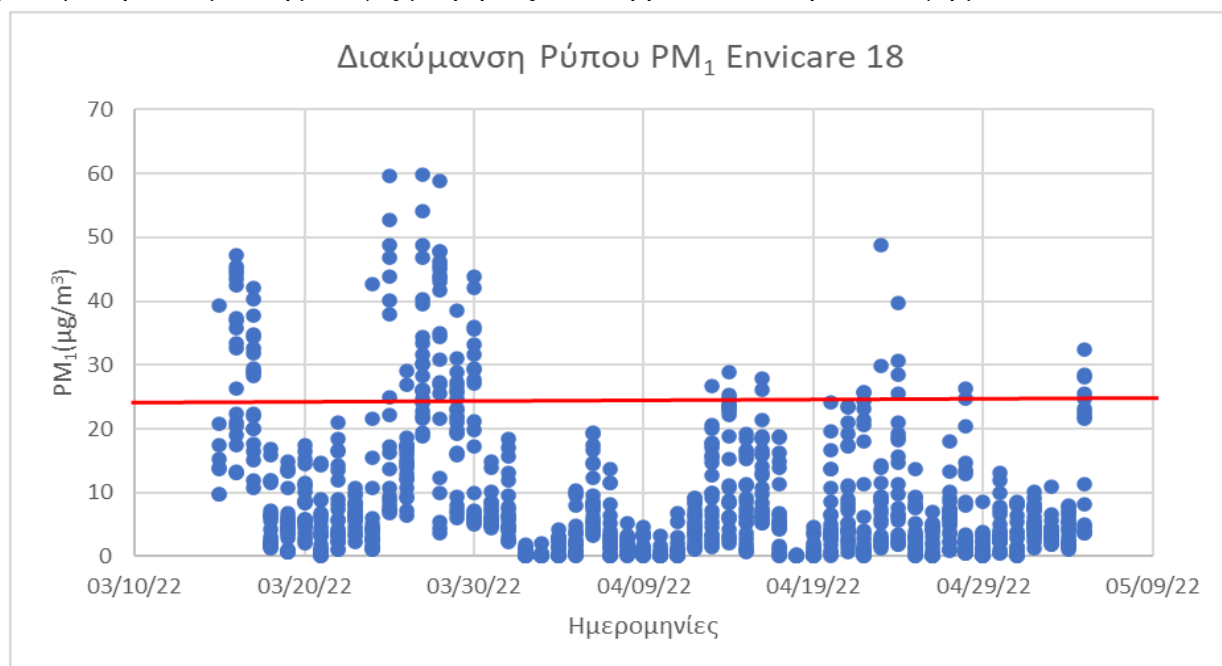
ATH Envicare 18			
Average PM 1	10.23	Average PM 1	9.74
Average PM 2.5	16.85	Average PM 2.5	16.18
Average PM 10	19.18	Average PM 10	17.65
Primary A		Primary B	

Πίνακας 5.3: Έλεγχος αισθητήρων οργάνου Envicare 18

Παρατηρούμε ότι η απόκλιση μεταξύ των 2 αισθητήρων, είναι μικρότερη από  $\pm 5\mu\text{g}/\text{m}^3$  το οποίο σημαίνει ότι και οι 2 αισθητήρες λειτουργούν σωστά, οπότε το επόμενο βήμα θα είναι η επεξεργασία των μετρήσεων.

### 5.5.1 Διακύμανση ρύπου $PM_1$ από το όργανο Envicare 18

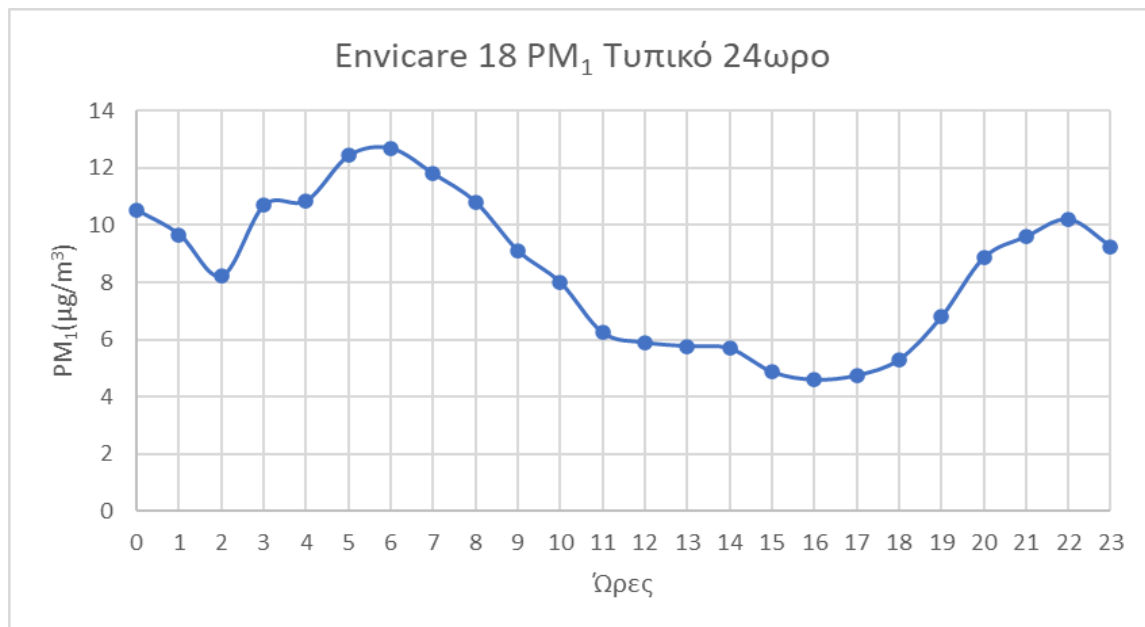
Μέσω του διαγράμματος 5.14<sub>α</sub> όπου αποτυπώνεται η συνολική διακύμανση, όπου παρατηρούμε μια ομαλή διακύμανση με λίγες μετρήσεις να υπερβαίνουν το όριο συναγερμού



Σχήμα 5.14<sub>α</sub>: Διακύμανση ρύπου  $PM_1$  από το όργανο Envicare 18

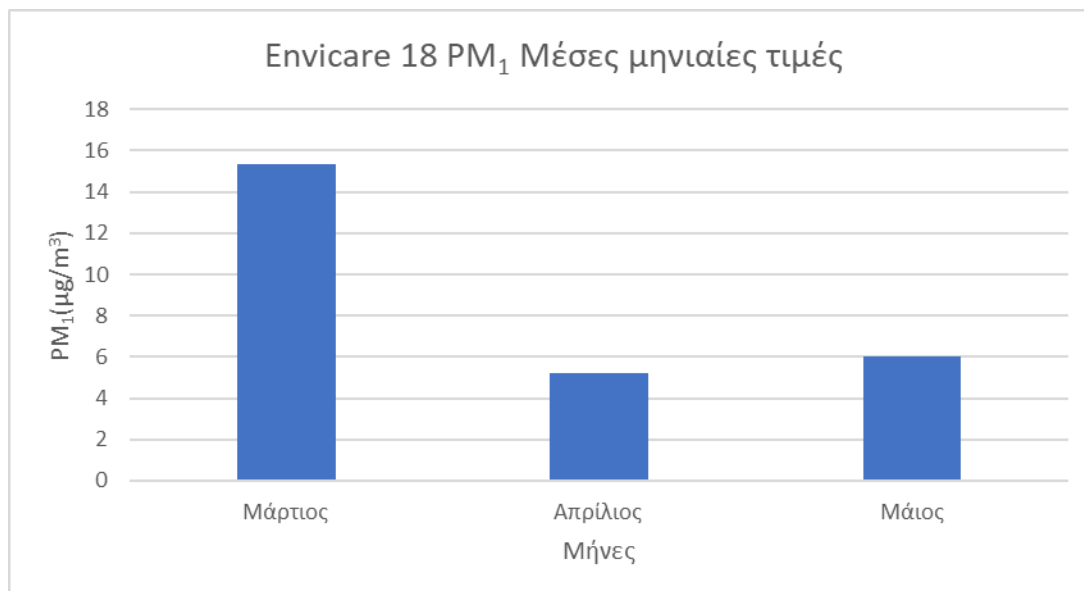
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα 5.14β του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε τις πρώτες πρωινές ώρες να εμφανίζεται το 1<sup>ο</sup> peak με την μέγιστη συγκέντρωση της τάξης  $12.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Έπειτα παρατηρούμε μια πτωτική τάση έως και της 4μ.μ και μετέπειτα η ανοδική τάση και το 2<sup>ο</sup> peak επανέρχεται.



**Σχήμα 5.14β:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 18

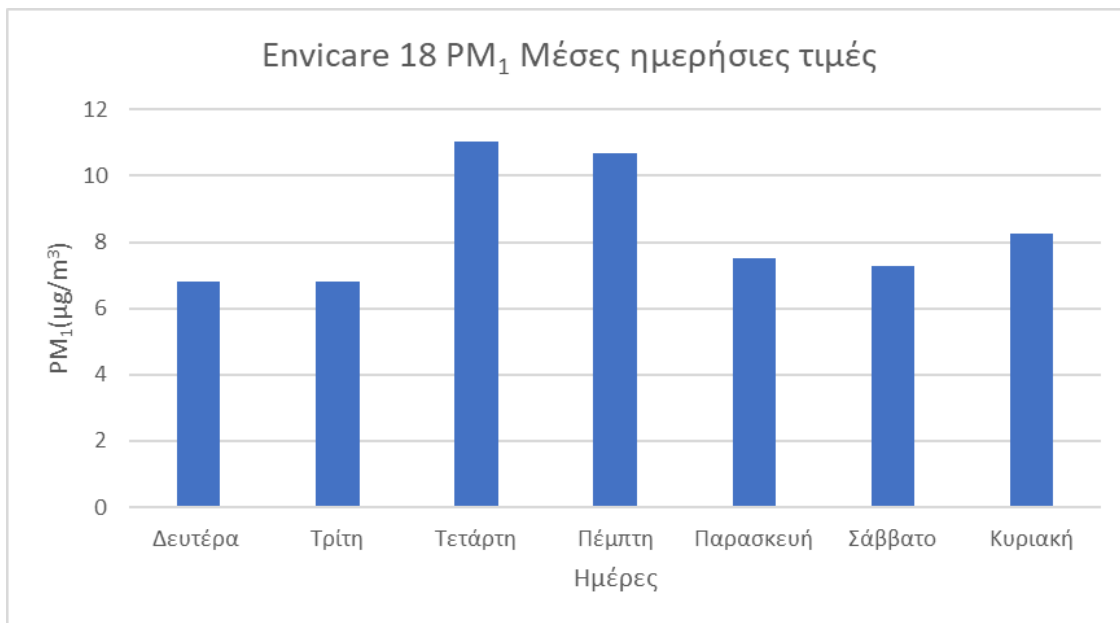
Το διαγράμμα 5.14γ της μέσης μηνιαίας διακύμανσης δεν είναι εφικτό να σχολιαστούν καθώς δεν υπάρχει μέτρο σύγκρισης μεταξύ των μηνών, εφόσον η πληρότητα μετρήσεων για τους μήνες Μάρτιο και Μάιο δεν είναι επαρκή.



**Σχήμα 5.14γ:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 18

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

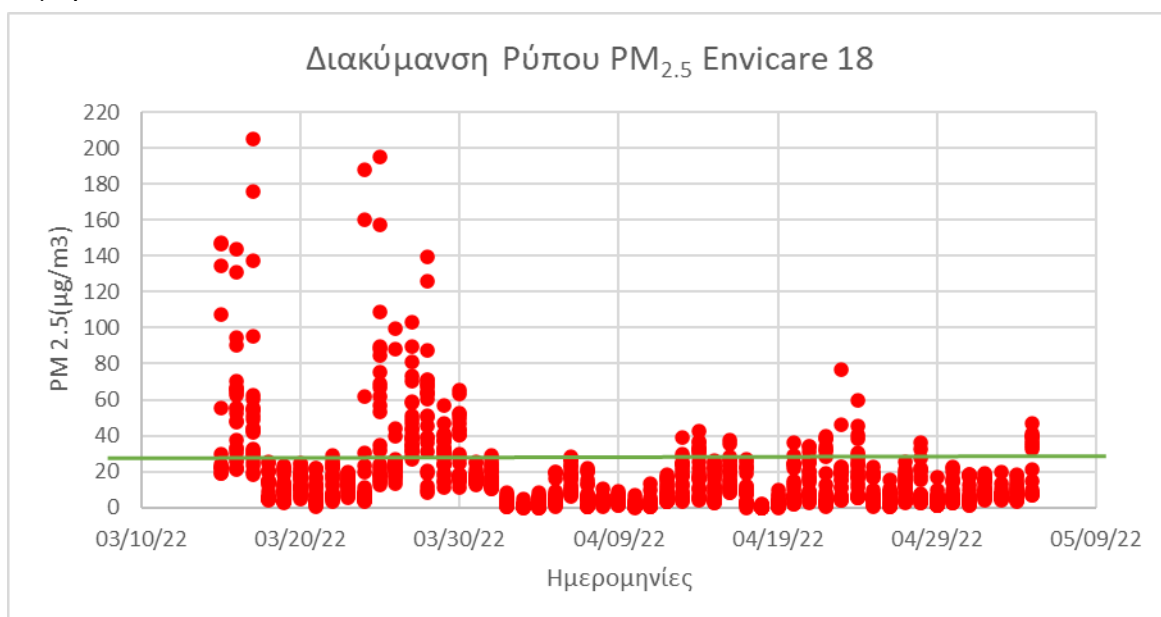
Μέσω του διαγράμματος 5.14δ παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση να εμφανίζεται κυρίως κατά τις ημέρες Τετάρτη Πέμπτη με συγκέντρωση μεταξύ 10-11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Σχήμα 5.14δ: Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο Envicare 1

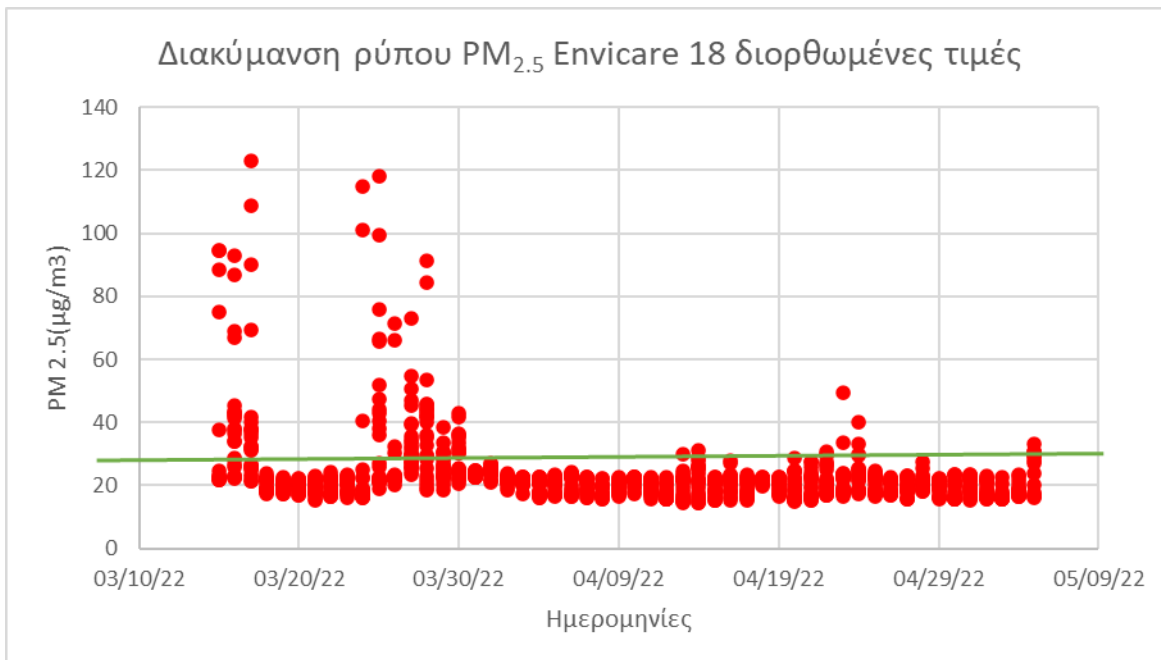
### 5.5.2 Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 18

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.15<sub>α</sub> και 5.15<sub>β</sub> συμπεραίνουμε ότι σχεδόν υποδιπλασιάζονται οι μετρήσεις μετά την επεξεργασία μέσω των διορθωτικών εξισώσεων. Η διακύμανση είναι ομαλή με την πλειοψηφία των μετρήσεων όπου υπερβαίνουν το όριο συναγερμού να εμφανίζονται το μήνα Μάρτιο



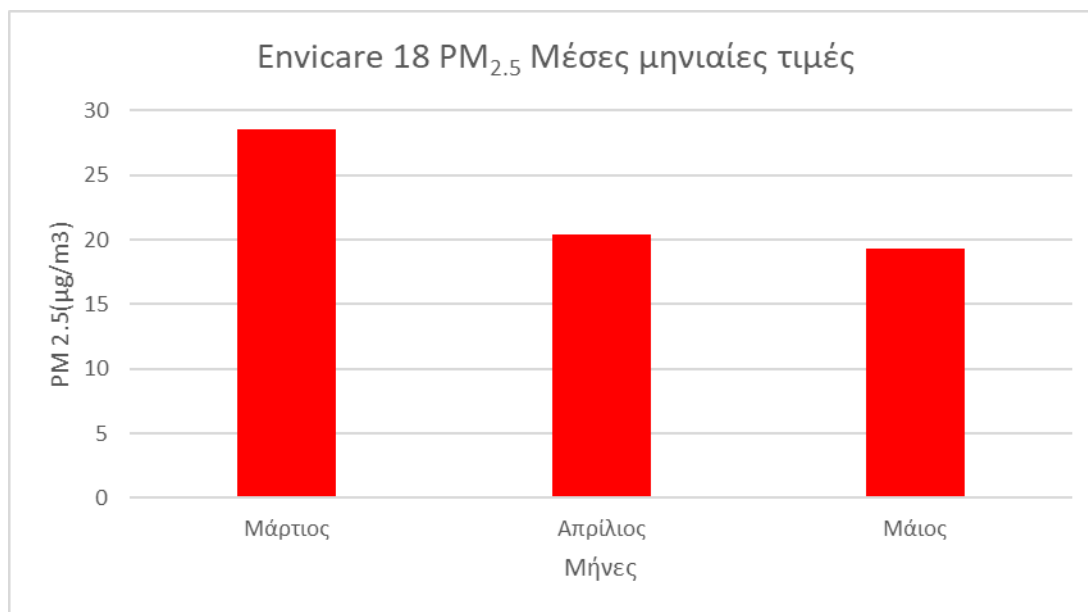
Σχήμα 15<sub>α</sub>: Διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> από το όργανο Envicare 18

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 15β: Διακύμανση Ρύπου  $PM_{2.5}$  διορθωμένες τιμές από το όργανο Envicare 18

Το διάγραμμα 5.15γ δεν είναι εφικτό να σχολιαστεί για τους ίδιους λόγους καθώς η πληρότητα των μετρήσεων δεν είναι επαρκή.

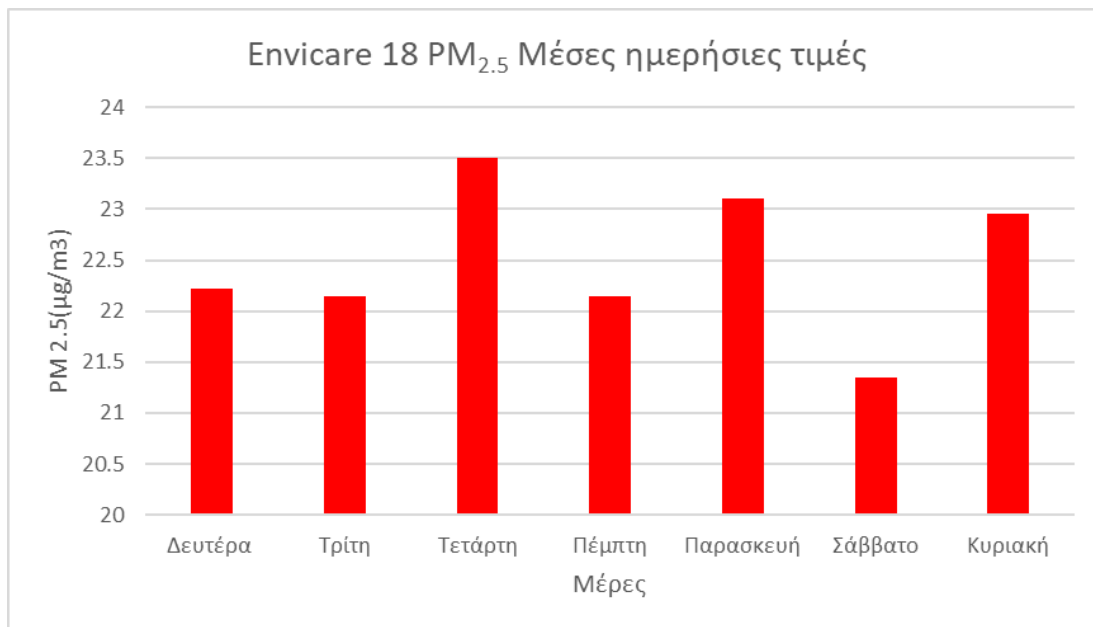


Σχήμα 5.15γ: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου  $PM_{2.5}$  για το όργανο Envicare 18



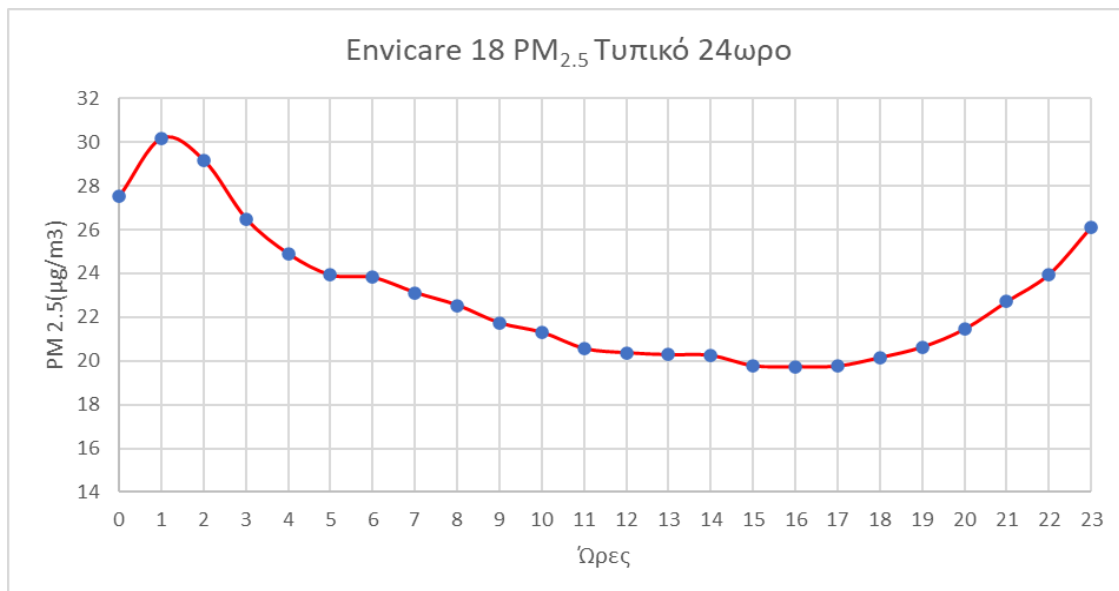
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα 5.15<sub>δ</sub> της μέσης ημερήσιας διακύμανσης παρατηρούμε ότι οι μέρες Τετάρτη Παρασκευή και Κυριακή είναι αυτές όπου εμφανίζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις με μέση συγκέντρωση τα 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Δεν υπάρχει παρόλα αυτά μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες μέρες.



**Σχήμα 5.15<sub>δ</sub>:** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 1

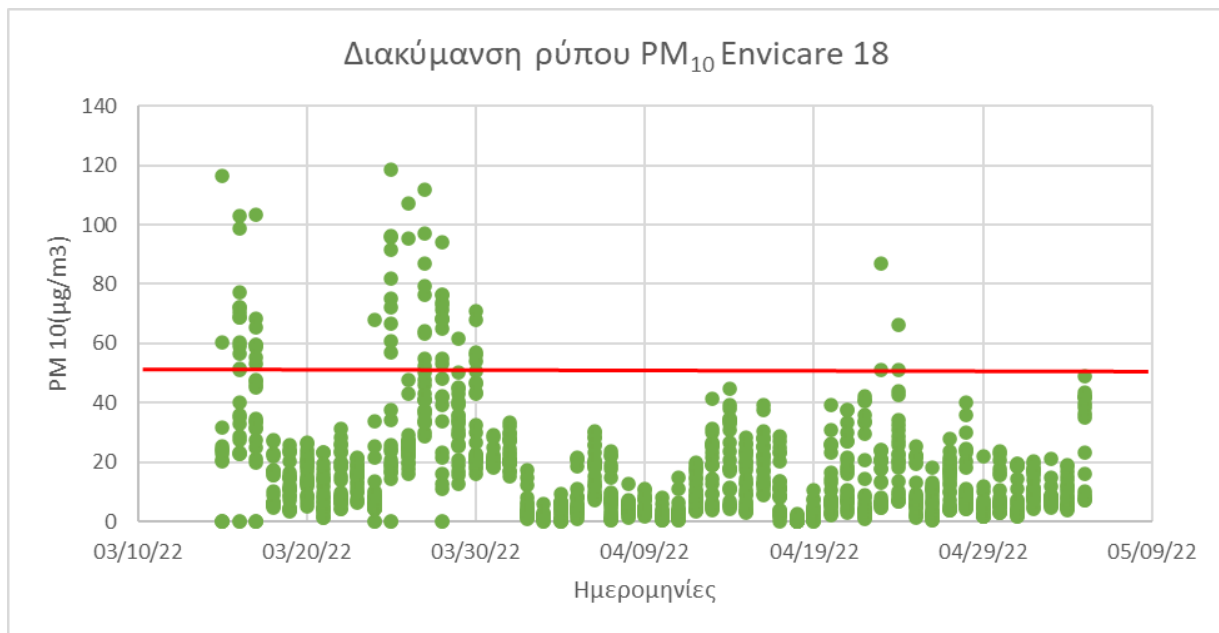
Μέσω του διαγράμματος 5.15<sub>ε</sub> του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε ότι το 1<sup>ο</sup> peak εμφανίζεται κατά τις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες όπου στις 1π.μ παρατηρούμε μέγιστη συγκέντρωση στα 30.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , κατά το υπόλοιπο της ημέρας η συγκέντρωση εμφανίζει μια πτωτική τάση ομαλά, μέχρι και της 6μ.μ όπου εμφανίζεται και το 2<sup>ο</sup> peak της ημέρας.



**Σχήμα 5.15<sub>ε</sub>:** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 18

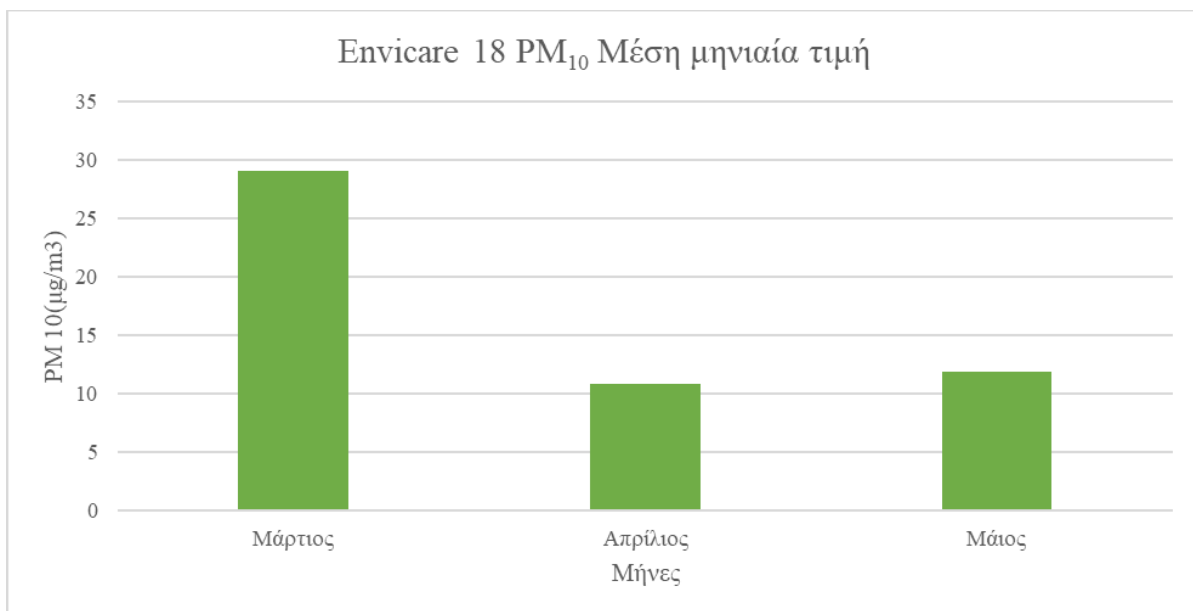
### 5.5.3 Διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο Envicare 18

Παρατηρούμε από το διάγραμμα 5.16<sub>α</sub> μια ομαλή μεταβολή του ρύπου, με ελάχιστες μετρήσεις να υπερβαίνουν το όριο συναγερμού, οι οποίες είναι και χαμηλής έντασης.



Σχήμα 16α: Διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο Envicare 18

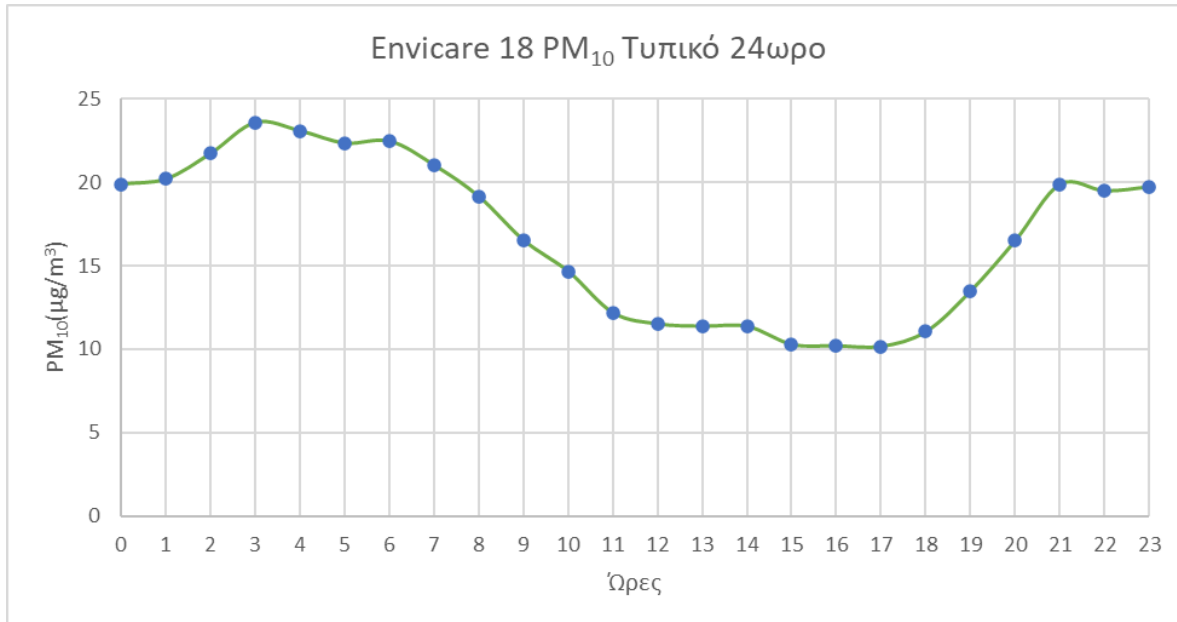
Το διάγραμμα 5.16<sub>β</sub> δεν είναι εφικτό να σχολιαστεί για τους ίδιους λόγους καθώς η πληρότητα των μετρήσεων δεν είναι επαρκή.



Σχήμα 5.16β: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο Envicare 18

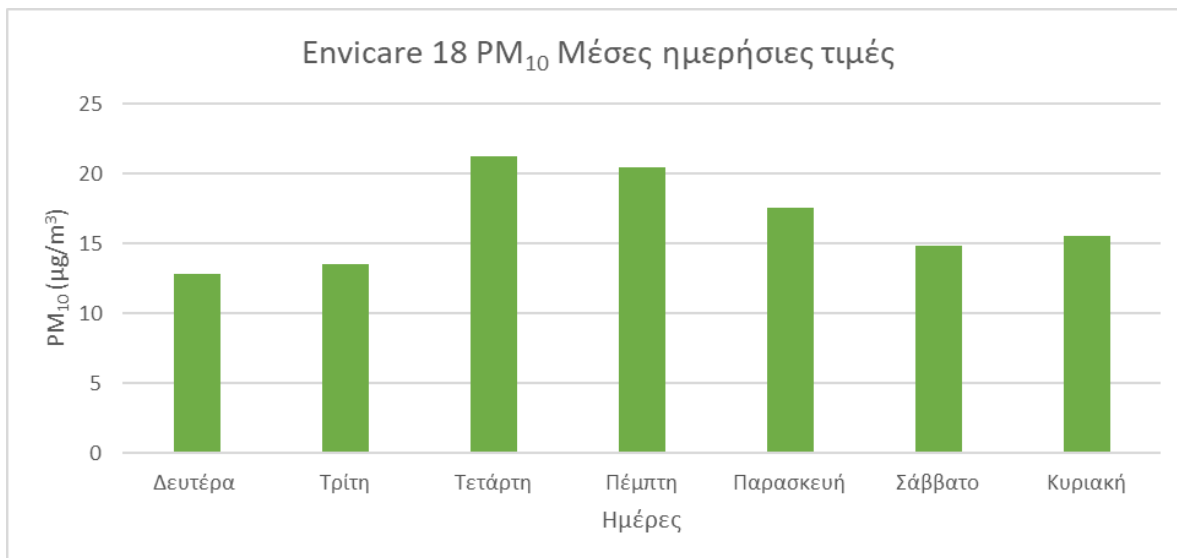
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα 5.16 $\gamma$  του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε παρόμοιο μοτίβο με τα δυο προηγούμενα σωματίδια καθώς τις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες παρατηρούμε τις μέγιστες συγκεντρώσεις και έπειτα στη συνέχεια έχουν την πτωτική τάση μέχρι και της 5μ.μ όπου αρχίζει ομαλά η συγκέντρωση να αυξάνεται.



**Σχήμα 5.16 $\gamma$ :** Διάγραμμα μέσης ωριαίας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> σε ένα τυπικό 24ωρο για το όργανο Envicare 18

Στο διάγραμμα 5.15 $\delta$  της ημερήσιας διακύμανσης παρατηρούμε την μέγιστη συγκέντρωση τις ημέρες Τετάρτη Πέμπτη και Παρασκευή με τις συγκεντρώσεις να κυμαίνονται μεταξύ 17.5- 21.2 µg/m<sup>3</sup> ενώ τις υπόλοιπες ημέρες η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 12.8- 15.5 µg/m<sup>3</sup>.



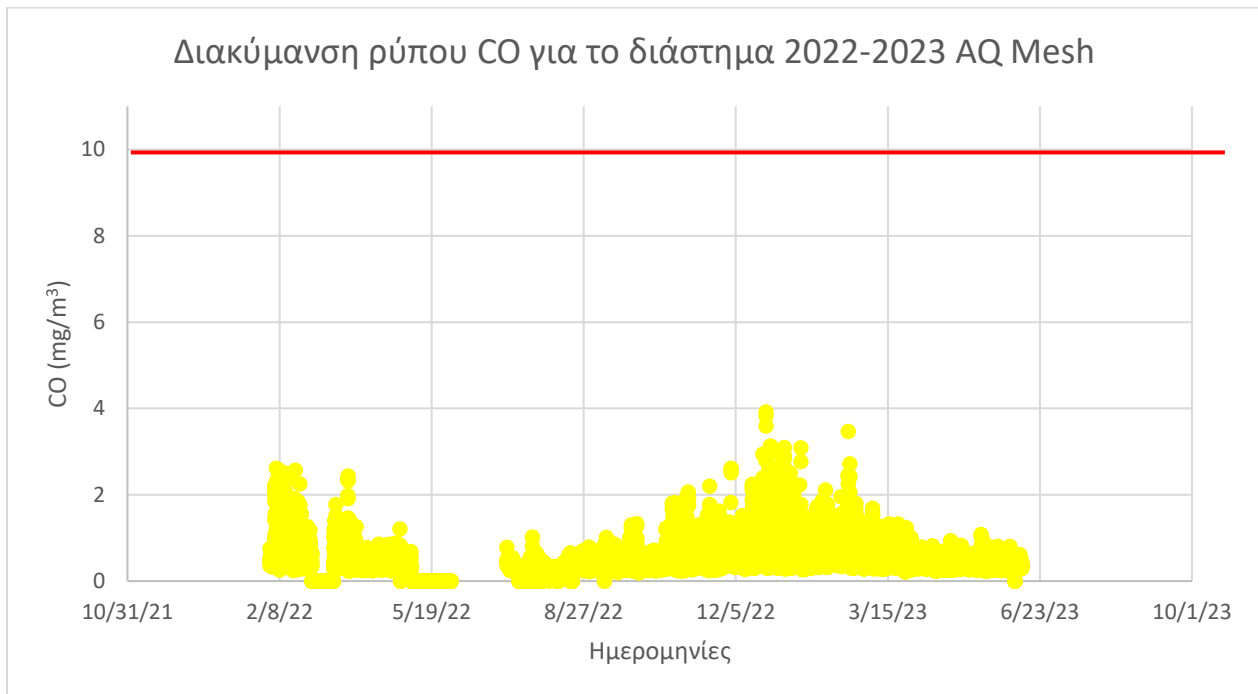
**Σχήμα 5.15 $\delta$ :** Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο Envicare 1

Ολοκληρώνοντας λοιπόν τον έλεγχο του οργάνου Envicare 18 διαπιστώσαμε τα εξής συμπεράσματα όσον αφορά το όργανο αλλά και την περιοχή μελέτης.

- Παρατηρήσαμε ότι και στα 3 διαγράμματα της ολικής μεταβολής του ρύπου η διακύμανση ήταν ομαλές χωρίς ιδιαίτερες εξάρσεις
- Όσον αφορά την ημερήσια μεταβολή δεν μπόρεσε να προκύψει κάποια διάκριση μεταξύ των ημερών καθώς η μεταφορά σκόνης σχετίζεται με μετεωρολογικές συνθήκες, ούτε εμφανίζεται κάποιο μοτίβο, όπου κάποια μέρα να εμφανίζει και στους τρεις ρύπους την μέγιστη συγκέντρωση
- Σε σχέση με τις υπόλοιπες μετρήσεις που λάβαμε από τα υπόλοιπα όργανα, το όργανο λειτούργησε για πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, οπότε το δείγμα των μετρήσεων που έχουμε δεν είναι άκρως αντιπροσωπευτικό της ποιότητας της ατμόσφαιρας της περιοχής.

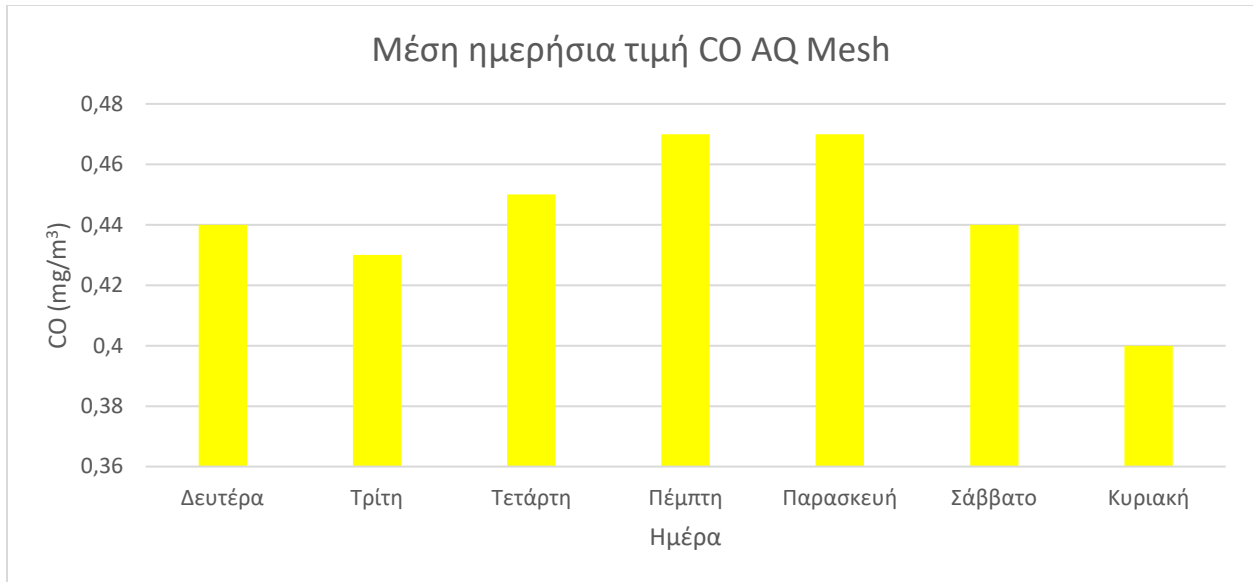
## 5.6 Αξιολόγηση οργάνου AQ Mesh

### 5.6.1 Διακύμανση ρύπου CO από το όργανο AQ Mesh

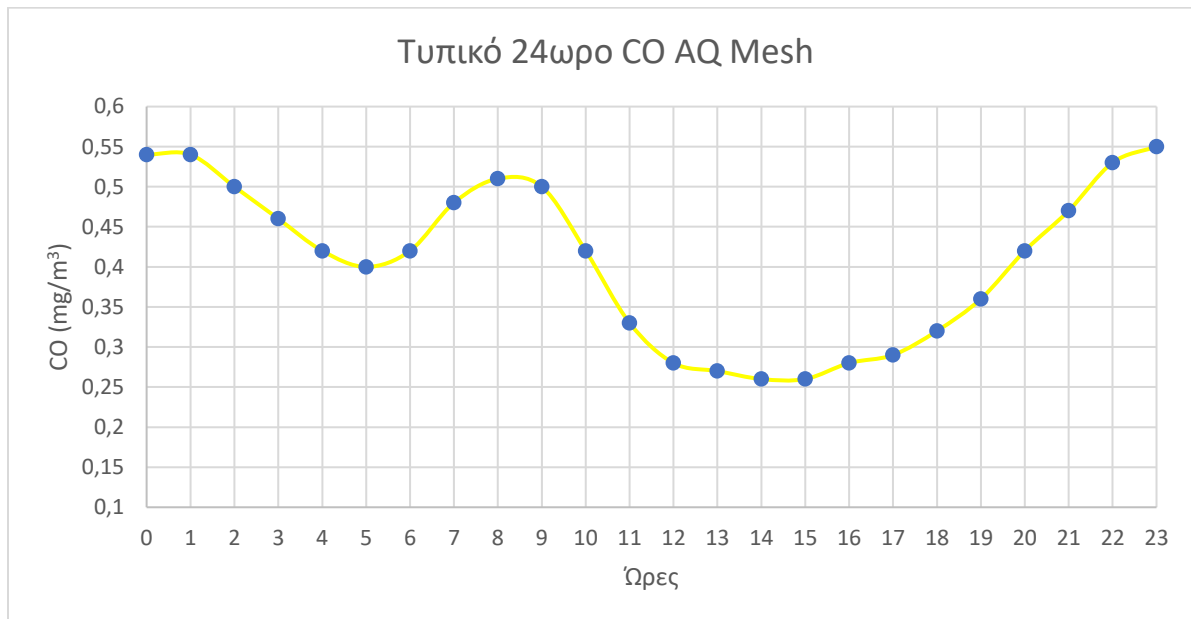


**Σχήμα 5.16α:** Συνολική διακύμανση ρύπου CO για το διάστημα 2022-2023 από το όργανο AQ Mesh

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

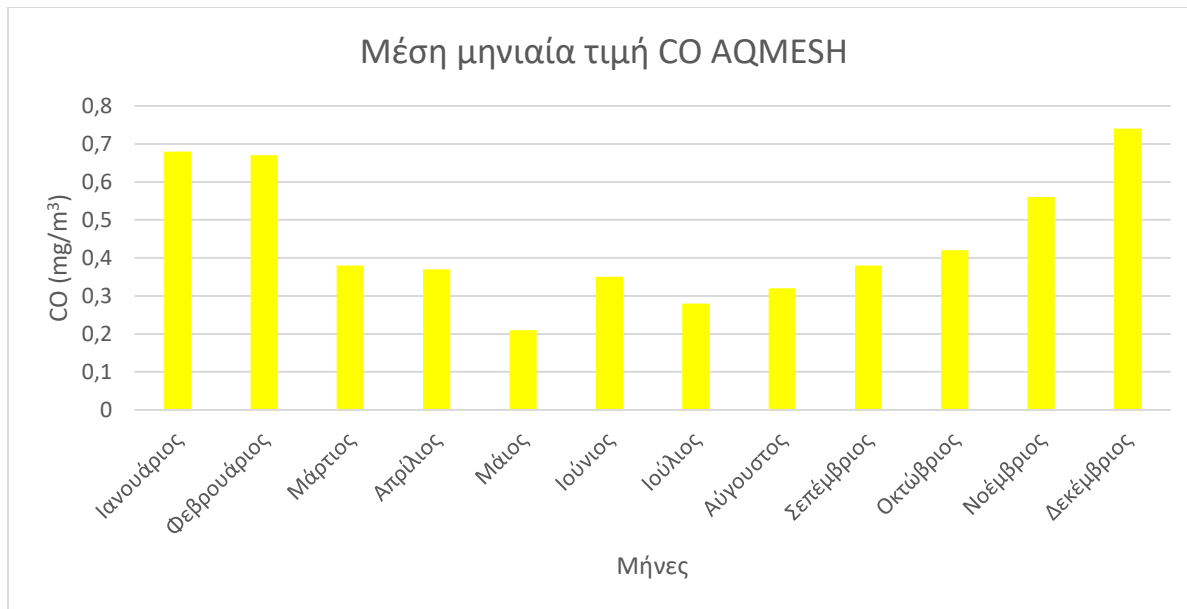


Σχήμα 5.16β: Ημερήσια μεταβολή ρύπου CO για το διάστημα 2022-2023 από το όργανο Aq Mesh



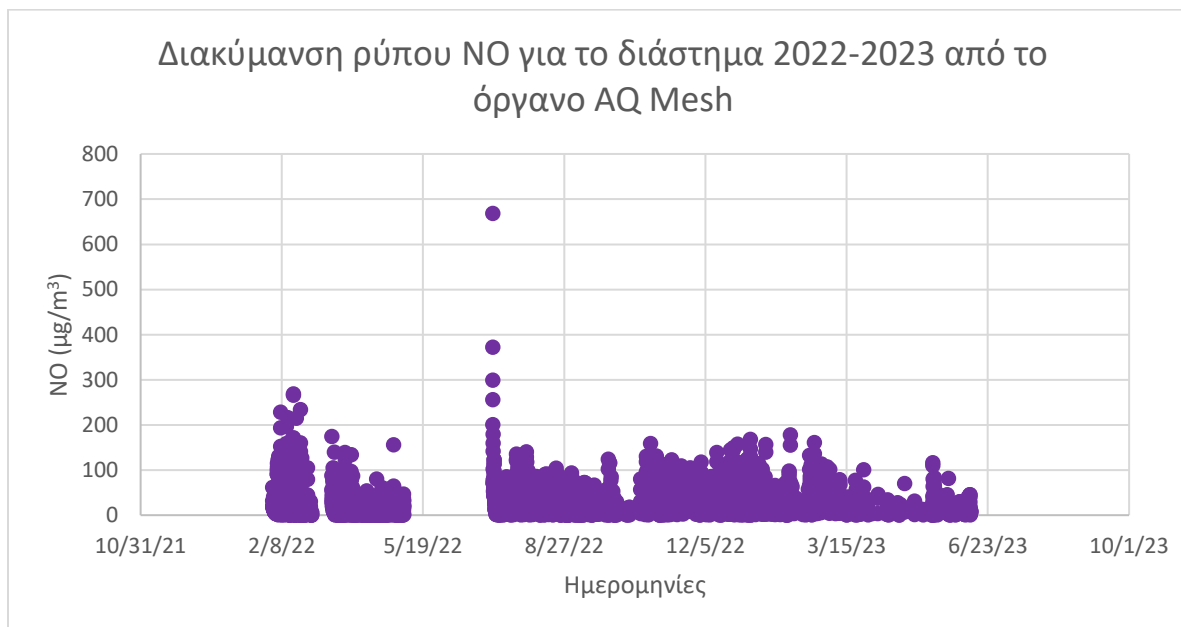
Σχήμα 5.16γ: Διάγραμμα τυπικού 24ώρου του ρύπου CO από το όργανο AQ Mesh

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



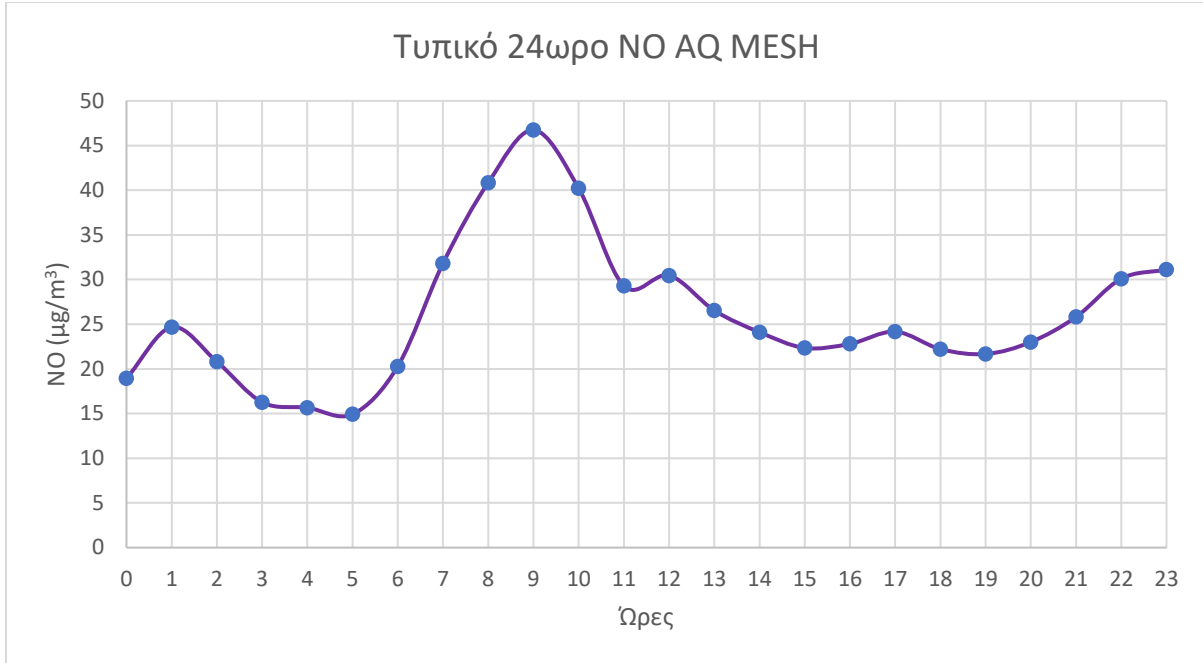
Σχήμα 5.16δ : Διάγραμμα μέσης μηνιαίας μεταβολής ρύπου CO από όργανο AQ Mesh

### 5.6.2 Διακύμανση ρύπου NO από το όργανο AQ Mesh

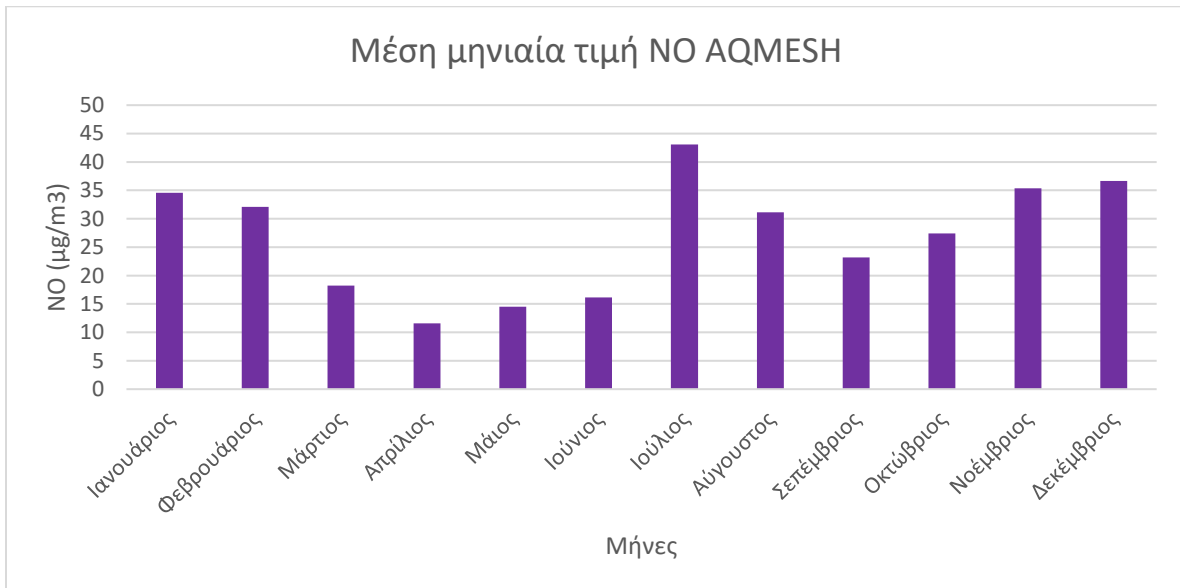


Σχήμα 5.17α: Συνολική διακύμανση ρύπου NO για το διάστημα 2022-2023 από το όργανο AQ Mesh

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

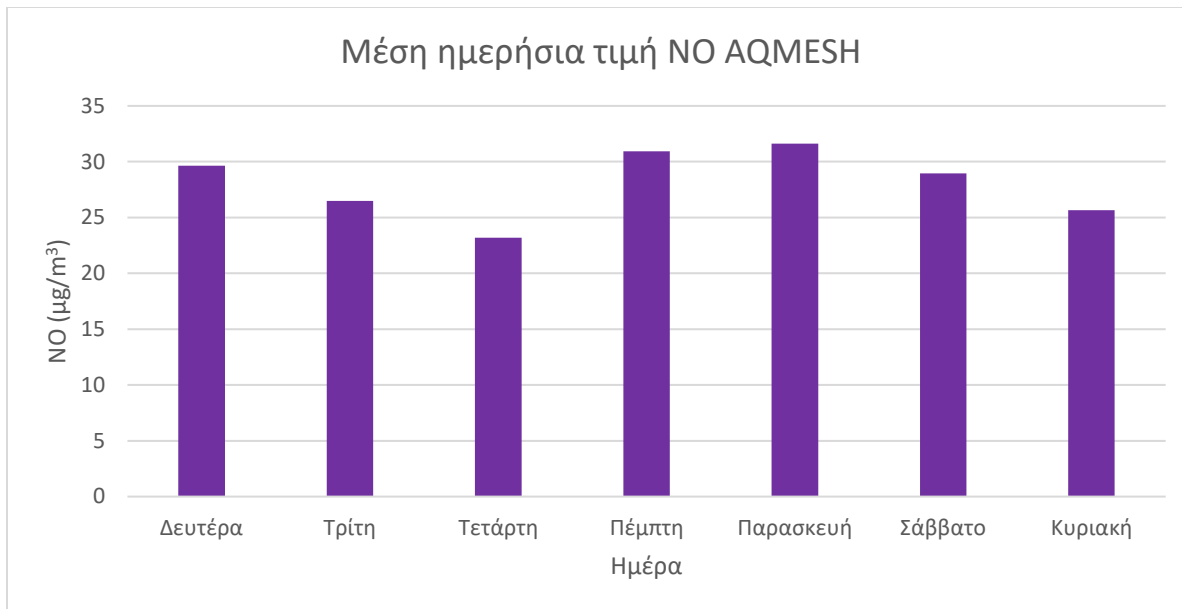


Σχήμα 5.17β: Διάγραμμα τυπικού 24ώρου του ρύπου NO για το όργανο AQ Mesh



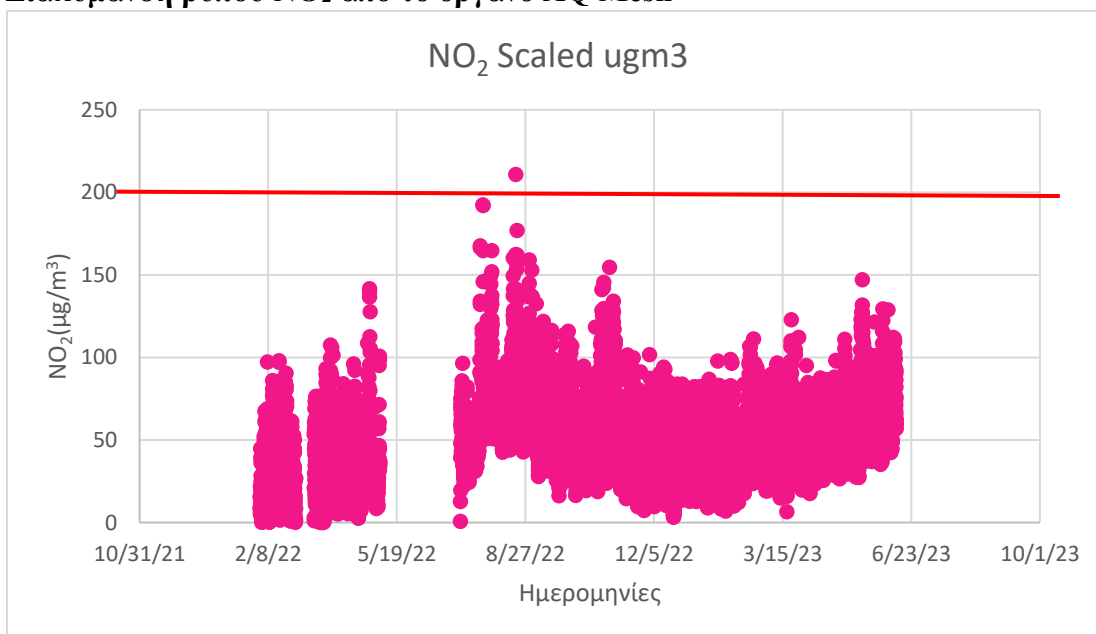
Σχήμα 5.17γ: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας μεταβολής ρύπου NO για το όργανο AQ Mesh

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 5.17δ: Διάγραμμα μέσης ημερήσιας μεταβολής ρύπου NO για το όργανο AQ Mesh

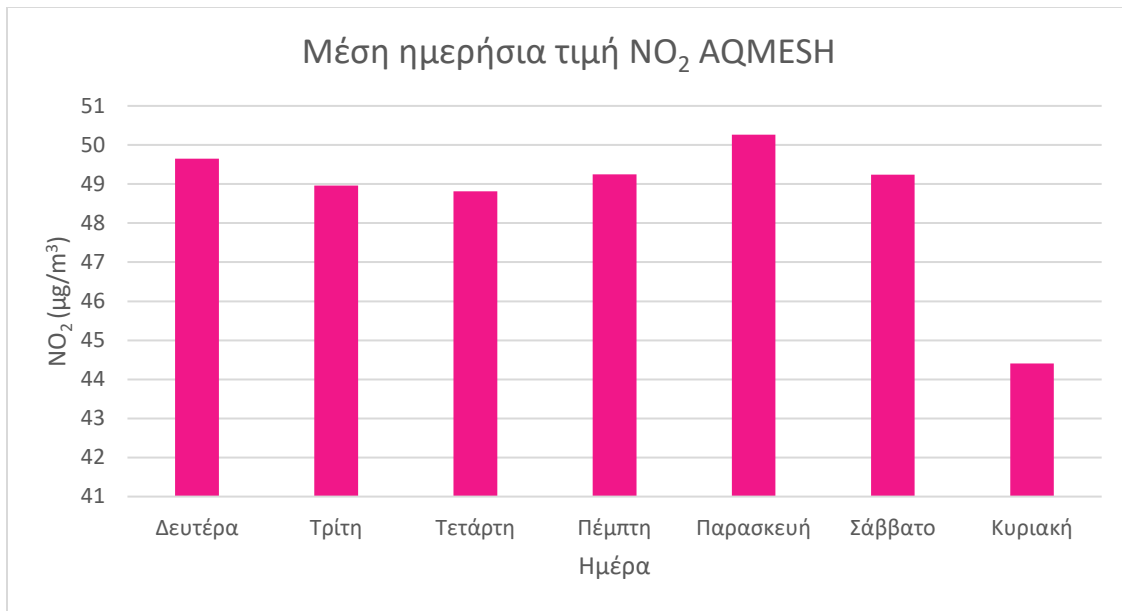
### 5.6.3 Διακύμανση ρύπου NO<sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh



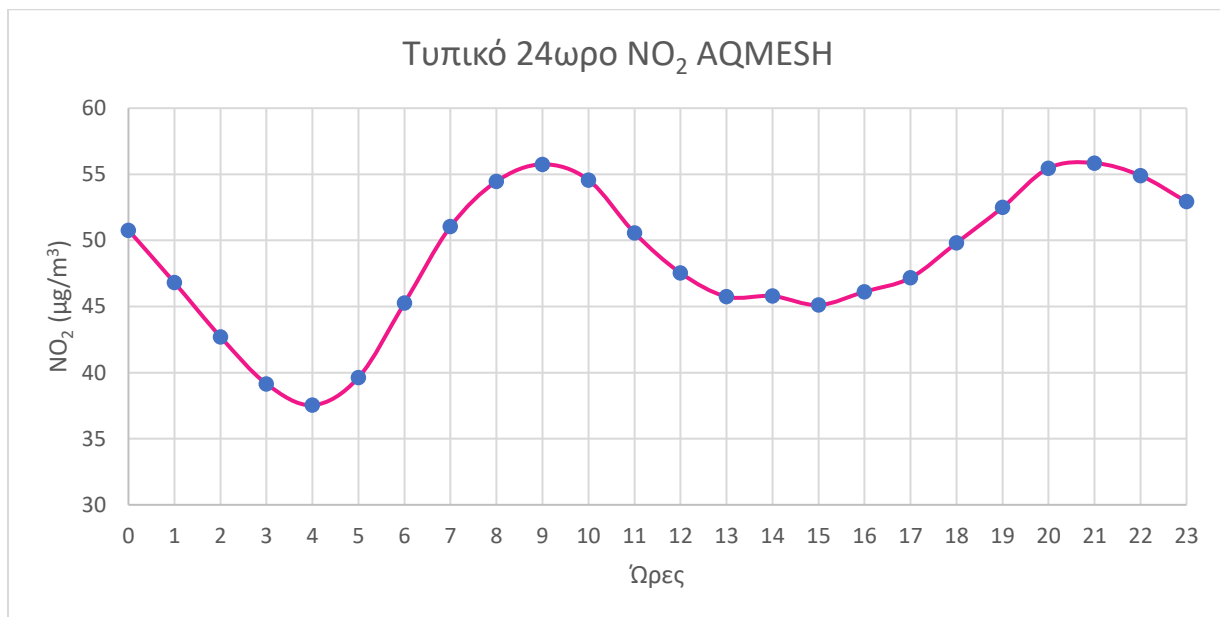
Σχήμα 5.18α: Συνολική διακύμανση ρύπου NO<sub>2</sub> για το διάστημα 2022-2023 από το όργανο AQ Mesh



Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

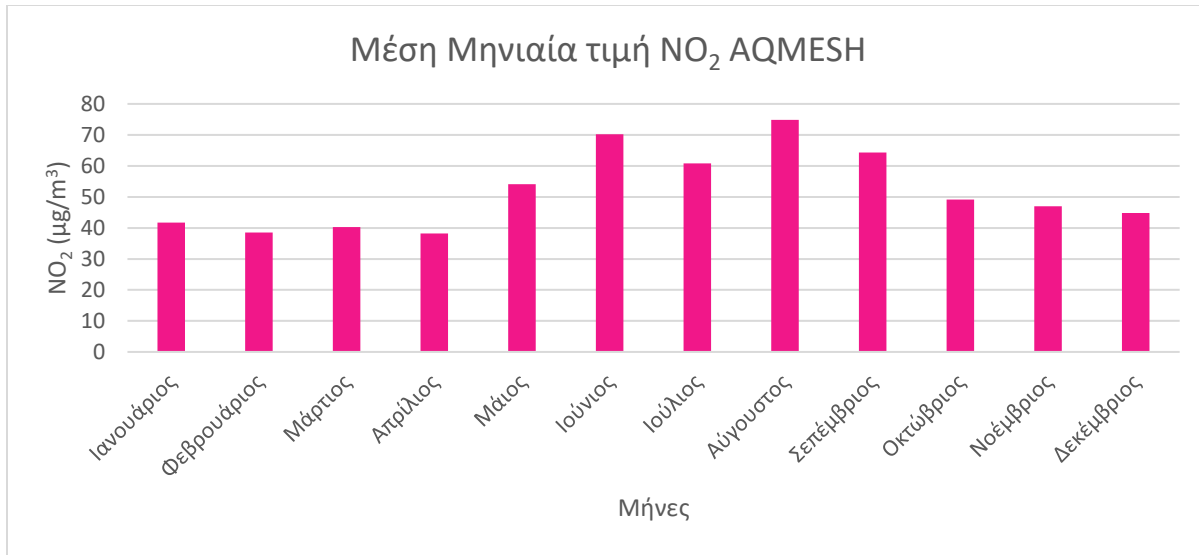


Σχήμα 5.18β: Μέση ημερήσια μεταβολή ρύπου NO<sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh



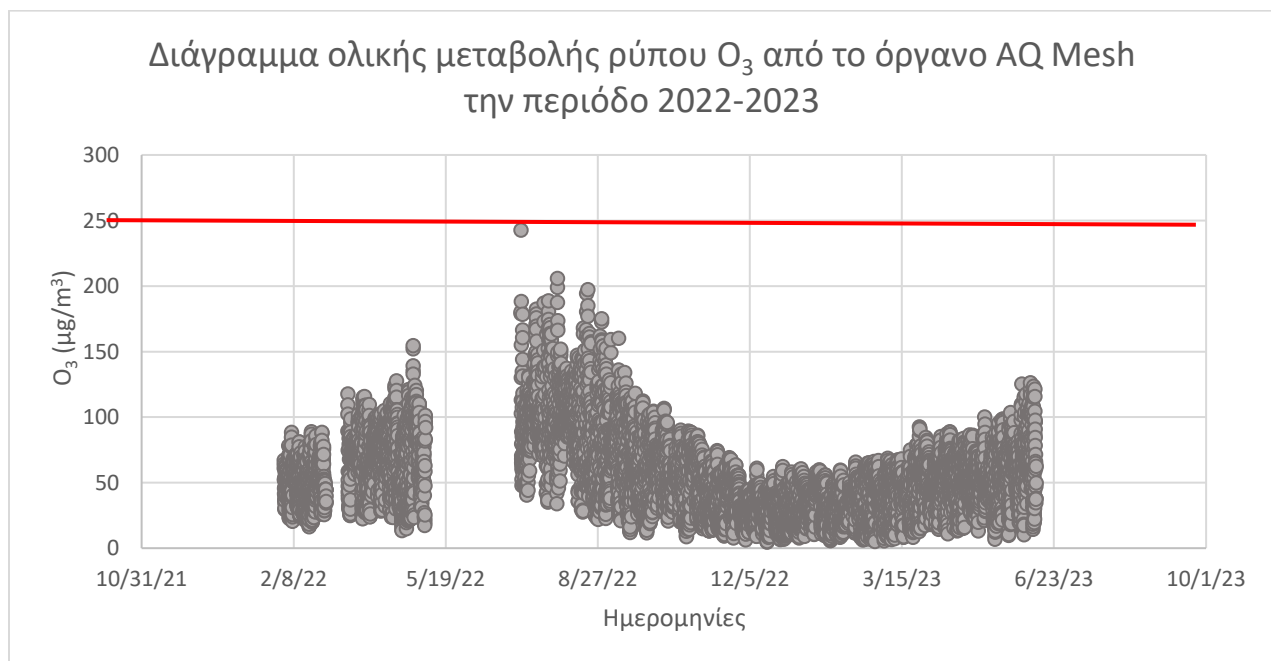
Σχήμα 5.18γ: Διάγραμμα τυπικού 24ώρου οργάνου AQ Mesh για τον ρύπο NO<sub>2</sub>

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

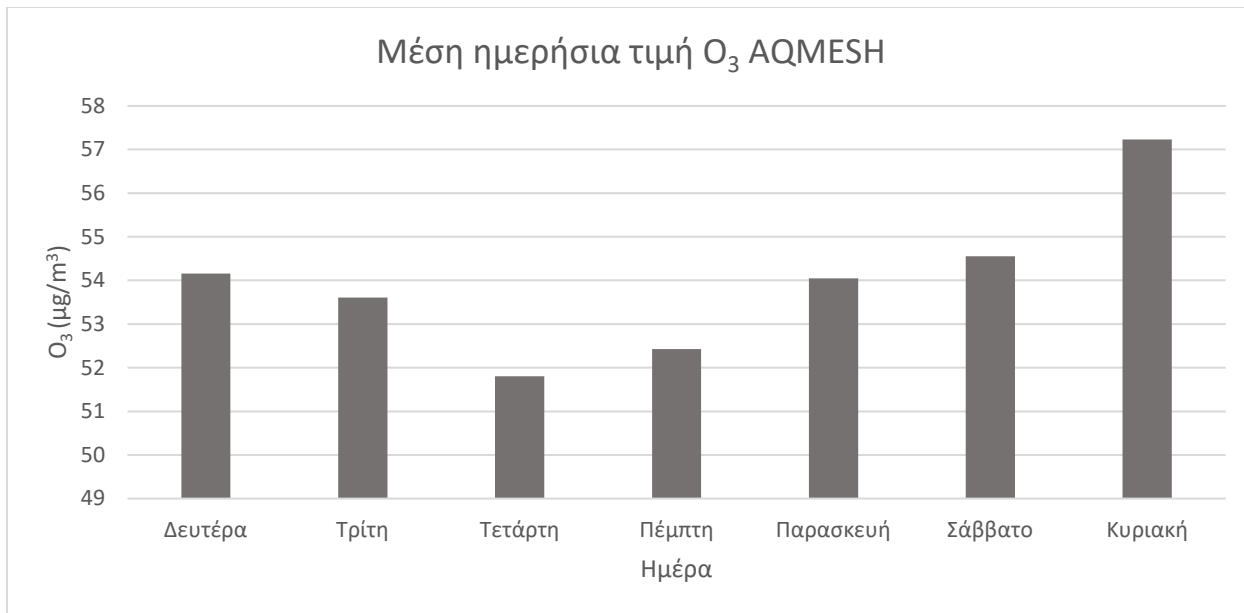


Σχήμα 5.18δ: Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής ρύπου NO<sub>2</sub> για το όργανο AQ Mesh

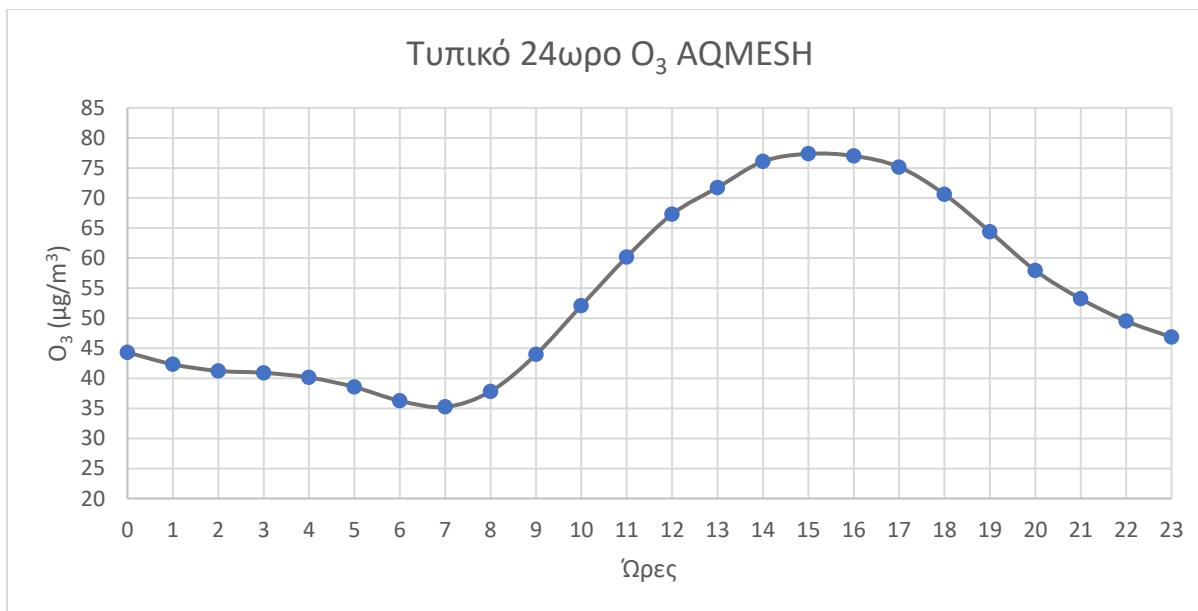
#### 5.6.4 Διακύμανση ρύπου O<sub>3</sub> από το όργανο AQ Mesh



Σχήμα 5.19α: Συνολική διακύμανση ρύπου O<sub>3</sub> του οργάνου AQ Mesh για την περίοδο 2022-2023

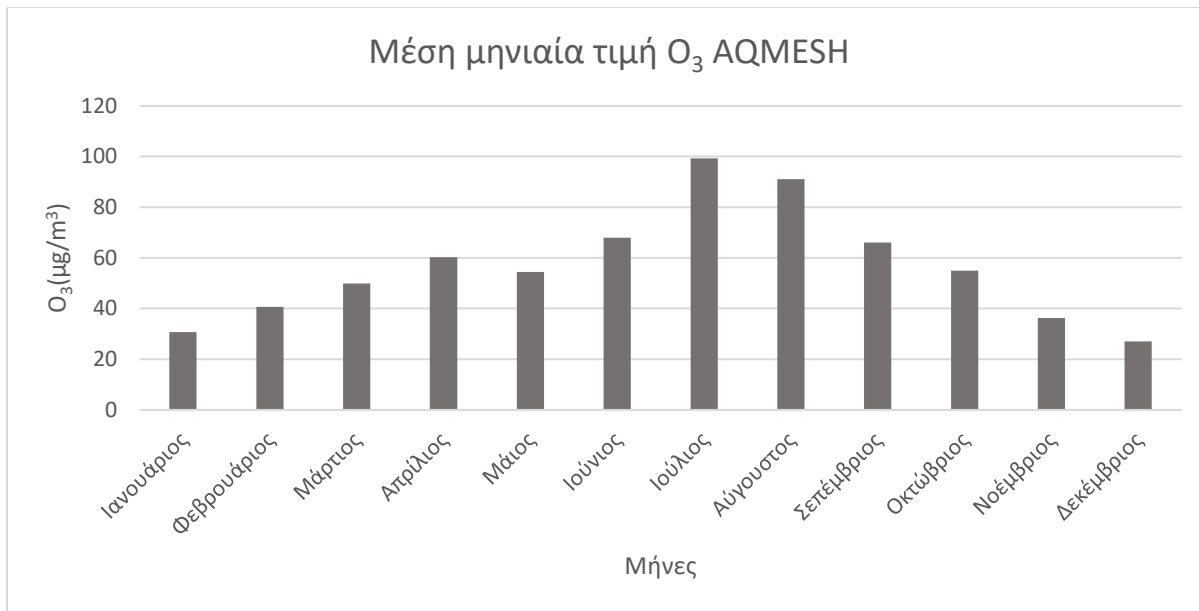


Σχήμα 5.19β : Διάγραμμα μέσης ημερήσιας διακύμανσης του ρύπου O<sub>3</sub> από το όργανο AQ Mesh



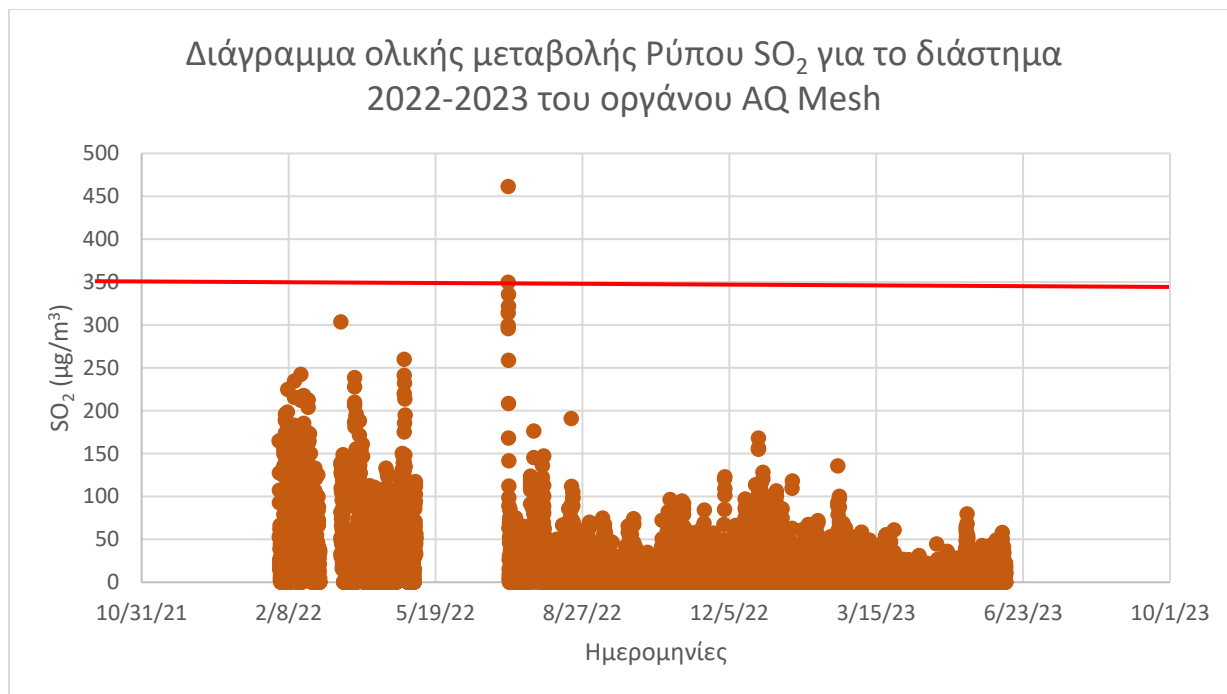
Σχήμα 5.19γ: Διάγραμμα τυπικού 24ώρου του ρύπου O<sub>3</sub> για το όργανο AQ Mesh

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



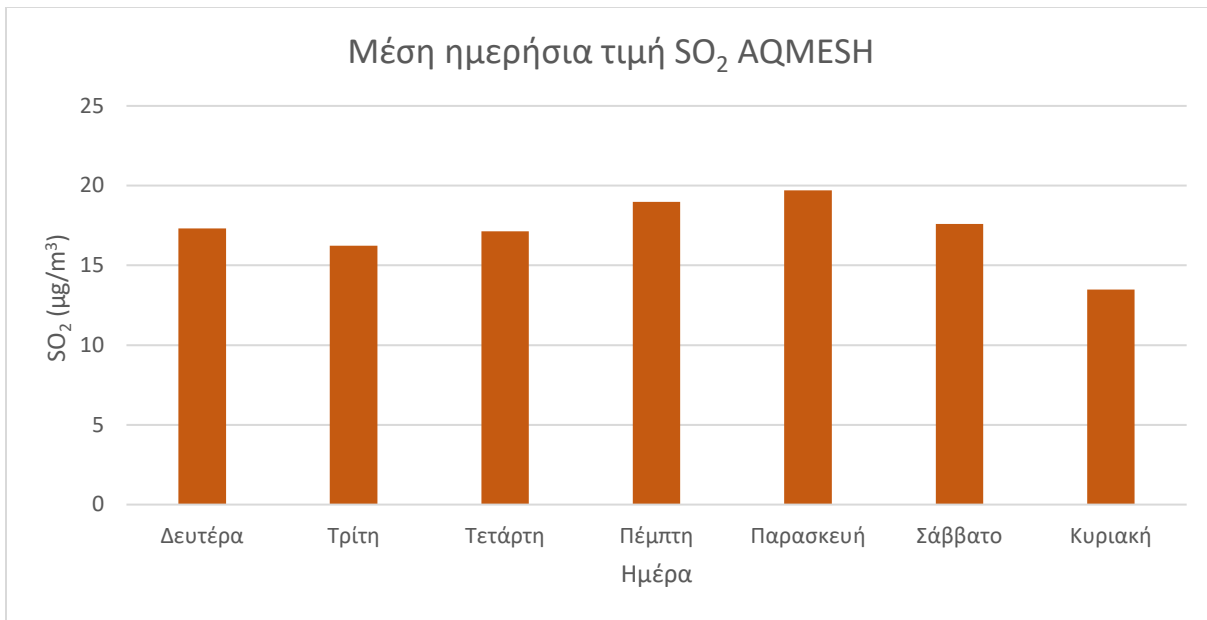
Σχήμα 5.19δ: Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής ρύπου O<sub>3</sub> για το όργανο AQ Mesh

### 5.6.5 Διακύμανση ρύπου SO<sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh

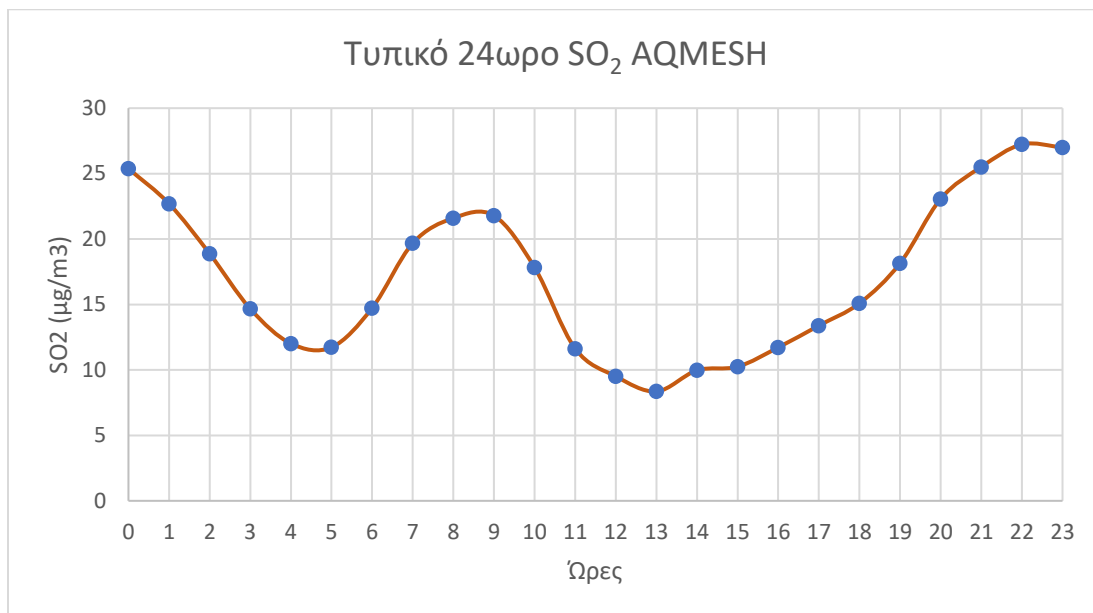


Σχήμα 5.20α: Διάγραμμα ολικής μεταβολής ρύπου SO<sub>2</sub> του οργάνου AQ Mesh για το διάστημα 2022-2023

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

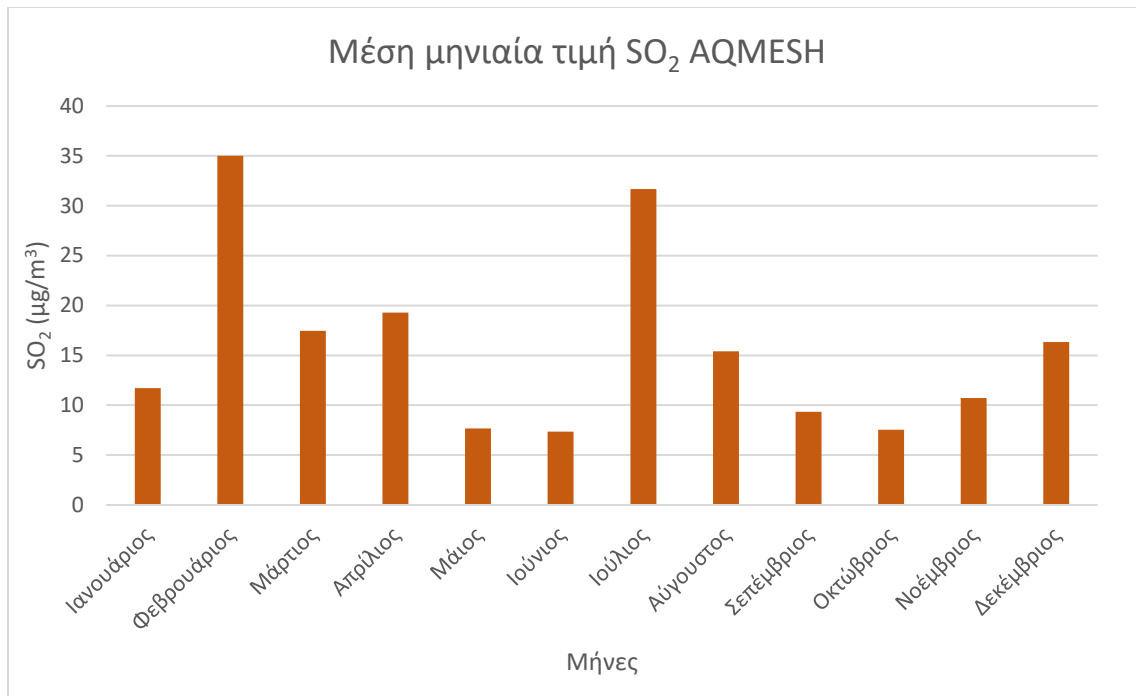


Σχήμα 5.20β : Διάγραμμα μέσης ημερήσιας μεταβολής του ρύπου SO<sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh



Σχήμα 5.20γ : Διάγραμμα τυπικού 24ώρου του ρύπου SO<sub>2</sub> για το όργανο AQ Mesh

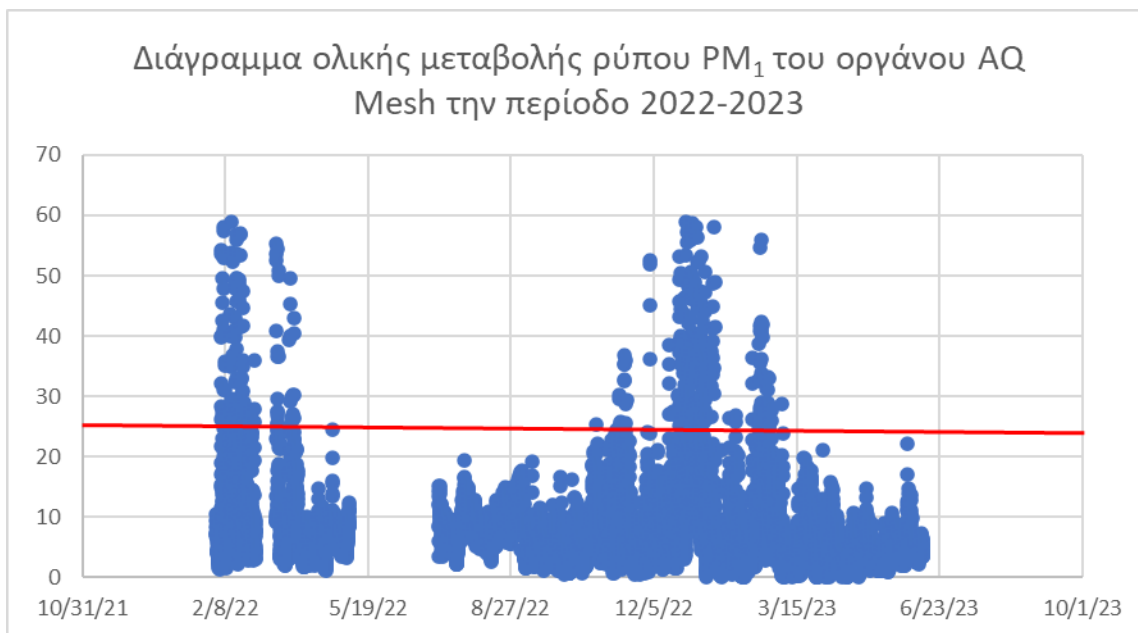
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 5.20α : Διάγραμμα μέσης μηνιαίας μεταβολής ρύπου SO<sub>2</sub> από το όργανο AQ Mesh

### 5.6.6 Διακύμανση ρύπου PM<sub>1</sub> από το όργανο AQ Mesh

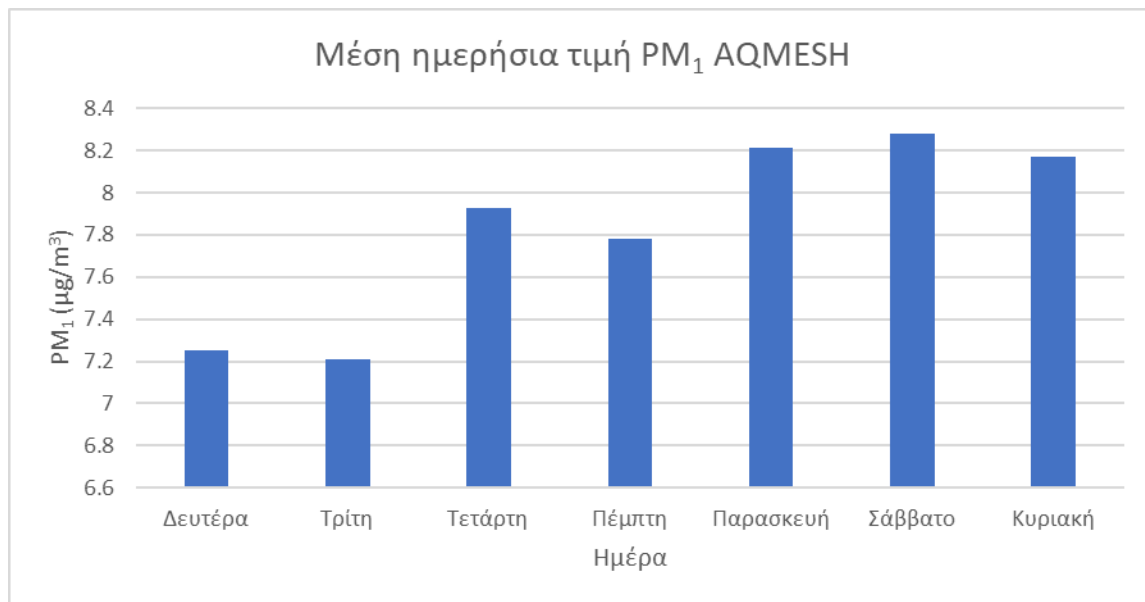
Παρατηρούμε από το διάγραμμα 5.21<sub>α</sub> ότι η μεταβολή του ρύπου καθόλη τη διάρκεια του χρόνου είναι ομαλή, με τις μετρήσεις όπου υπερβαίνουν το όριο συναγερμού να είναι τους χειμερινούς μήνες.



Σχήμα 5.21α: Διάγραμμα ολικής μεταβολής ρύπου PM<sub>1</sub> του οργάνου AQ Mesh την περίοδο 2022-2023

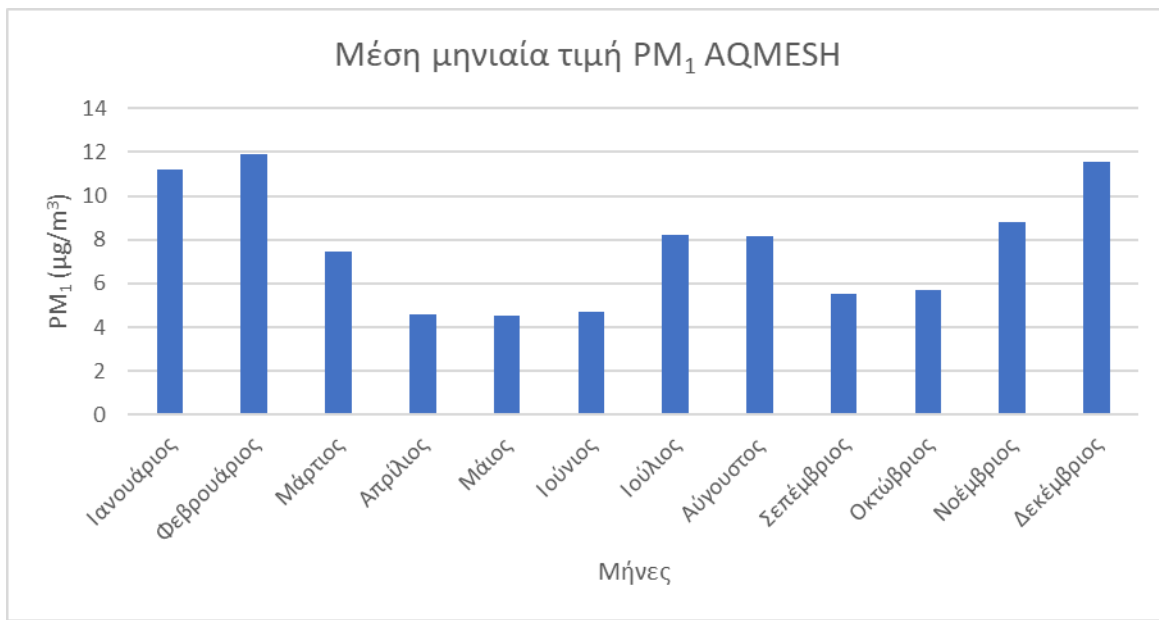
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Κατά την μελέτη της ημερήσια διακύμανσης μέσω του σχήματος 5.21β παρατηρούμε ότι δεν μπορεί να προκύψει κάποιο συμπέρασμα καθώς οι συγκεντρώσεις του ρύπου μεταξύ των ημερών είναι σε παρόμοια επίπεδα.



Σχήμα 5.21β : Διάγραμμα μέση ημερήσιας συγκέντρωσης ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο AQ Mesh

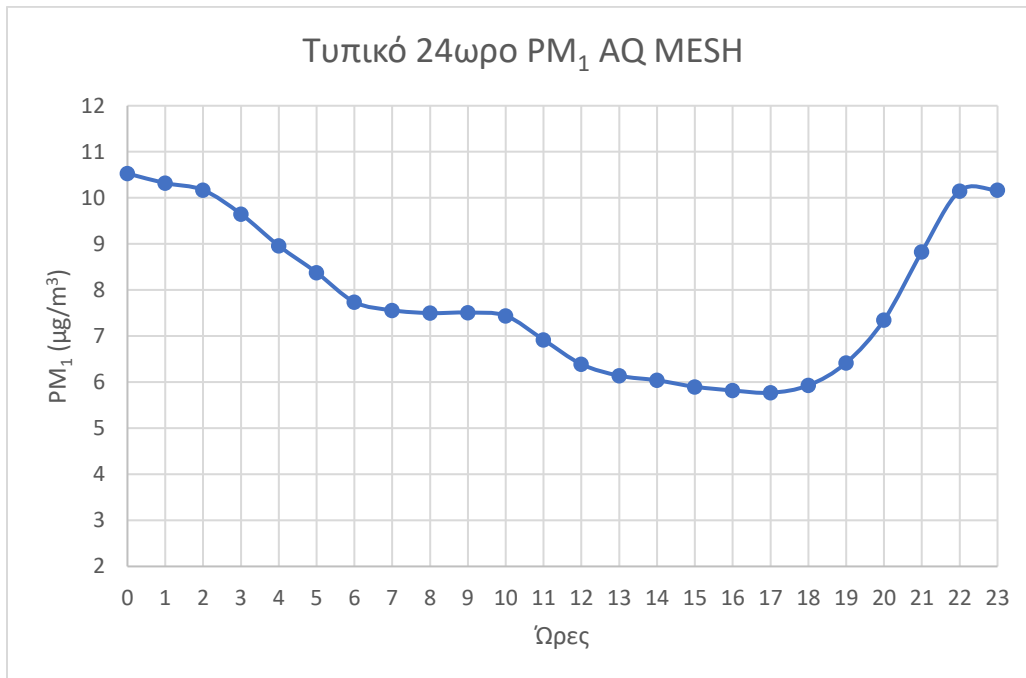
Από το διάγραμμα της μηνιαίας διακύμανσης 5.21γ παρατηρούμε για άλλη μια φορά την εποχικότητα του ρύπου καθώς οι μέγιστες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο.



Σχήμα 5.21γ: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας μεταβολής ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο AQ Mesh

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Κατά το σχολιασμό του διαγράμματος 5.21δ του τυπικού 24ωρου παρατηρούμε ότι κατά τις πρώτες μεταμεσονύχτιες ώρες η συγκέντρωση του ρύπου είναι σε υψηλά επίπεδα και μετά 2π.μ παρατηρούμε μια πτωτική τάση ομαλή έως και της 5μ.μ, καθώς στη συνέχεια αυξάνεται ομαλά ξανά η συγκέντρωση του ρύπου.



**Σχήμα 5.21δ :** Διάγραμμα τυπικού 24ώρου ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο AQ Mesh

Από το διάγραμμα 5.21ε παρατηρούμε ότι οι μήνες με τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού είναι και αυτοί όπου εμφανίζουν τις μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις, δηλαδή οι μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Δεκέμβριος.

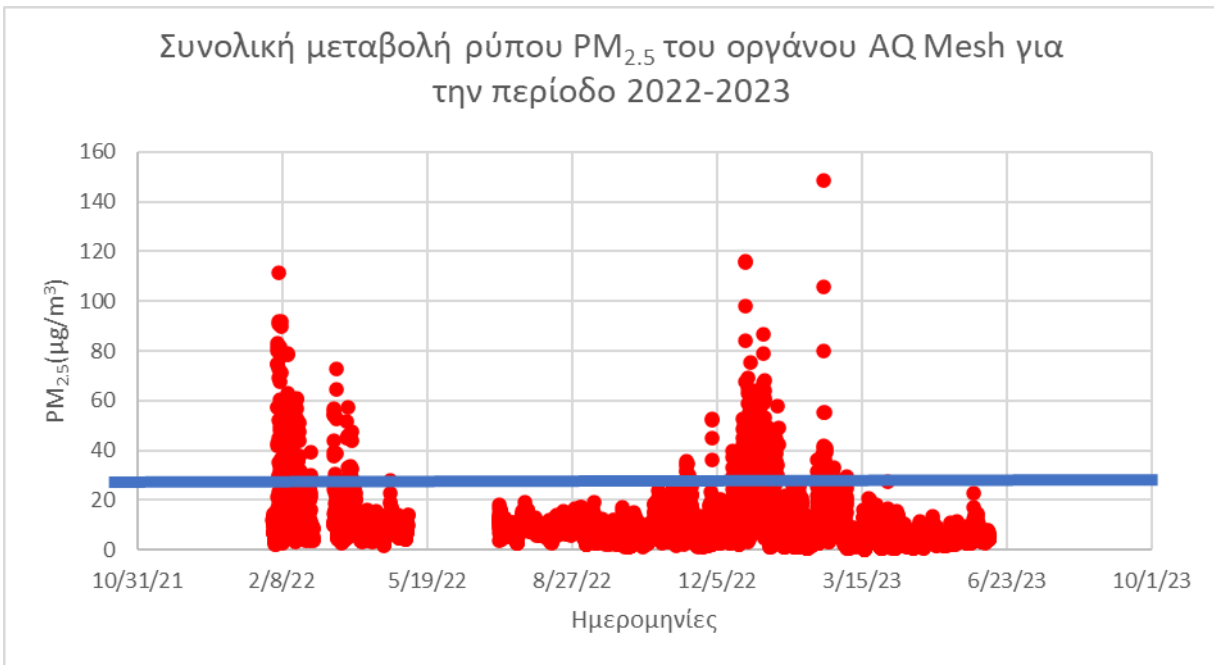


**Σχήμα 5.21ε :** Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού του ρύπου PM<sub>1</sub> για το όργανο AQ Mesh



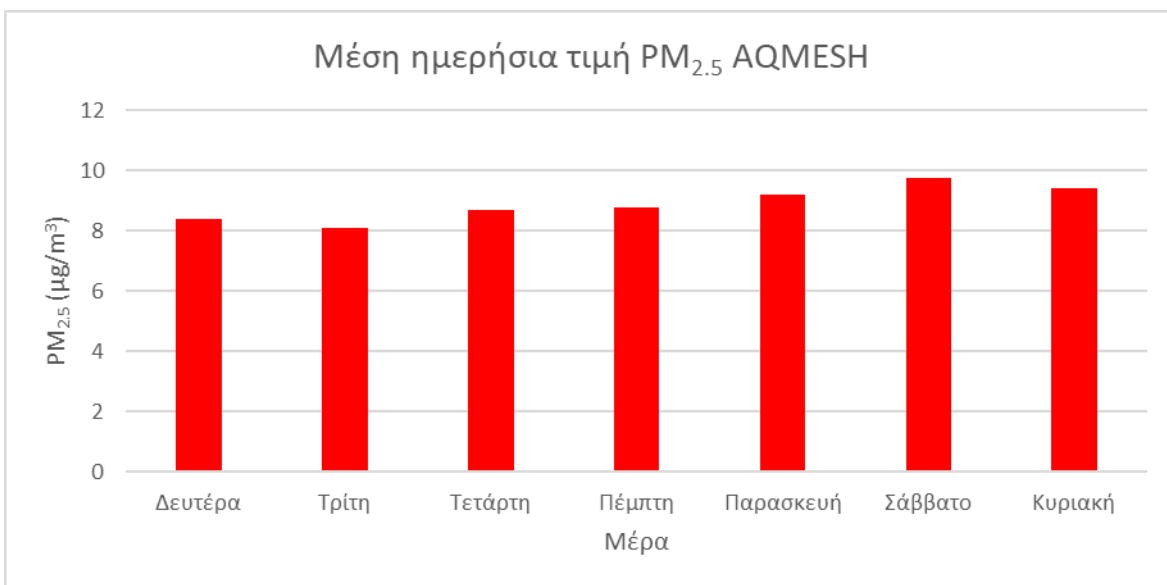
### 5.6.7 Διακύμανση ρύπου $PM_{2.5}$ από το όργανο AQ Mesh

Παρατηρούμε στο σχήμα 5.22<sub>α</sub> μια μεταβολή του ρύπου μέσα στον χρόνο ομαλή με κάποιες εξάρσεις κατά τους χειμερινούς μήνες.



Σχήμα 5.22<sub>α</sub>: Διάγραμμα ολικής μεταβολής ρύπου  $PM_{2.5}$  του οργάνου AQ Mesh για την περίοδο 2022-2023

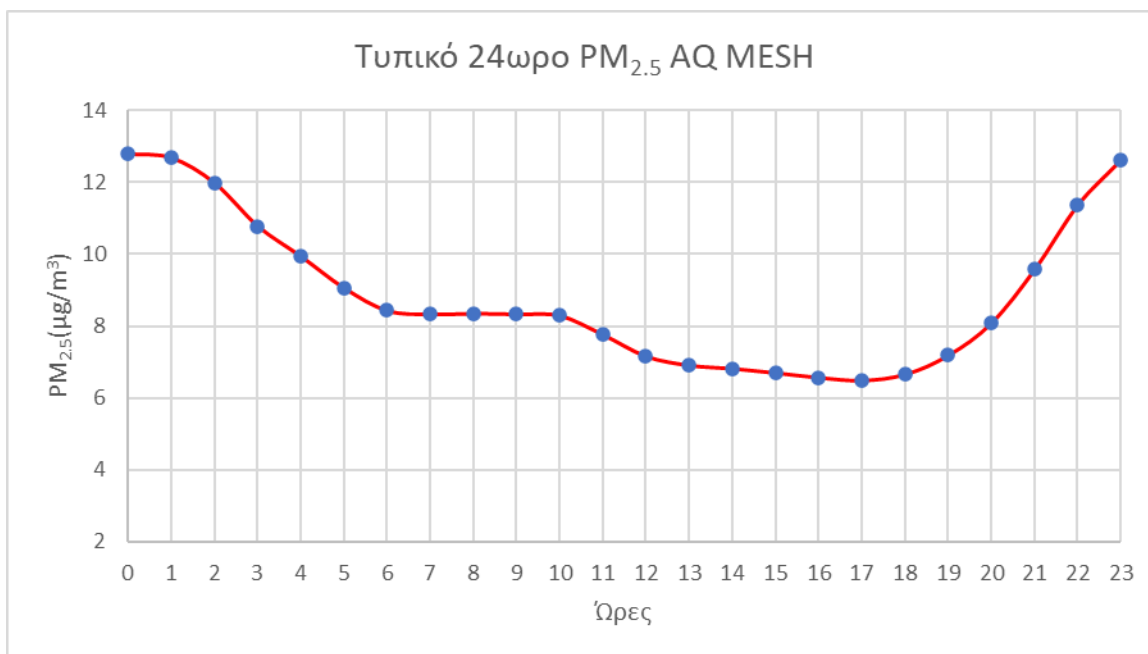
Από το διάγραμμα 5.22<sub>β</sub> της ημερήσιας μεταβολής δεν προκύπτει κάποιο μοτίβο ή συγκεντρώσεις μεταξύ των ημερών είναι σε κοντινά επίπεδα, οπότε δεν μπορούμε να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα.



Σχήμα 5.22<sub>β</sub>: Διάγραμμα μέσης ημερήσιας μεταβολής του ρύπου  $PM_{2.5}$  για το όργανο AQ Mesh

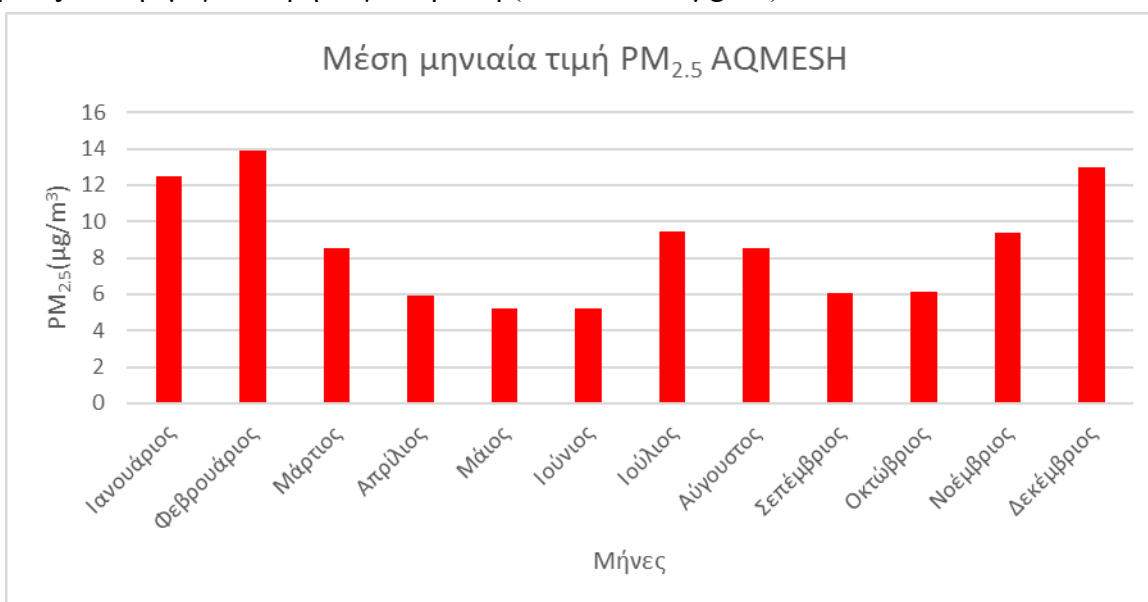
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Μελετώντας το διάγραμμα 5.22γ του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε κατά την μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας η συγκέντρωση είναι σε χαμηλά επίπεδα (4π.μ – 5μ.μ) με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τις βραδινές ώρες (6μ.μ- 1π.μ)



Σχήμα 5.22γ: Διάγραμμα τυπικού 24ώρου του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο AQ Mesh

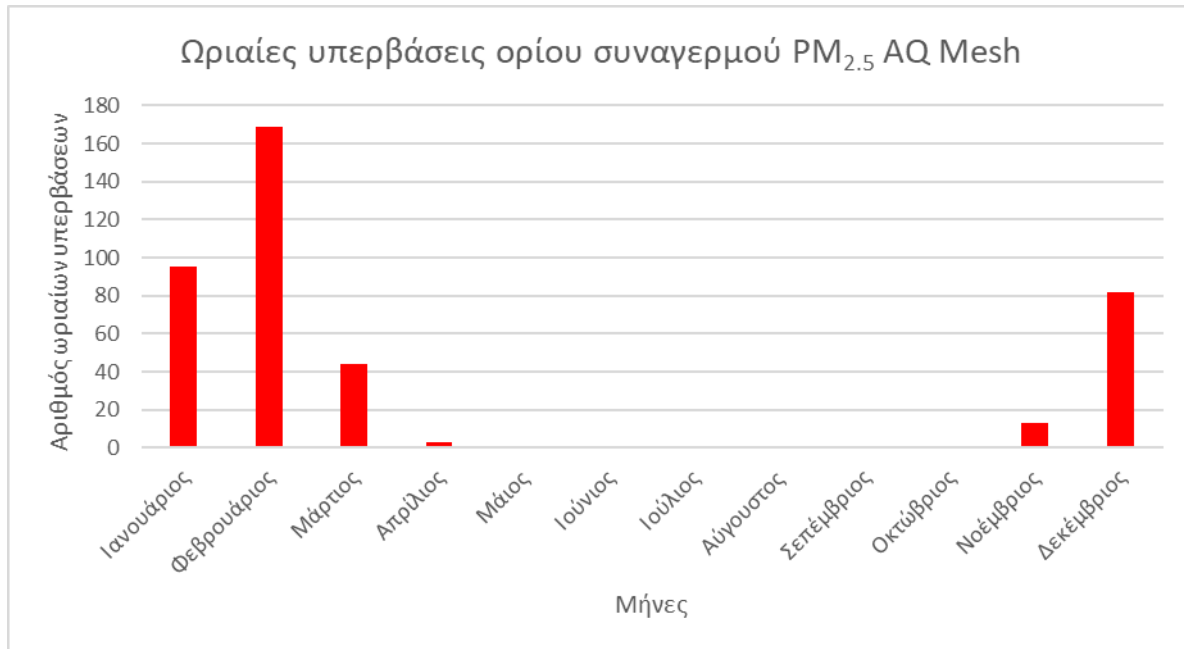
Από το διάγραμμα 5.22δ, παρατηρούμε οι μήνες Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος είναι που εμφανίζουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση (12.48- 13.93 µg/m<sup>3</sup>).



Σχήμα 5.22δ: Διάγραμμα μέσης μηνιαίας μεταβολής του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο AQ Mesh

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

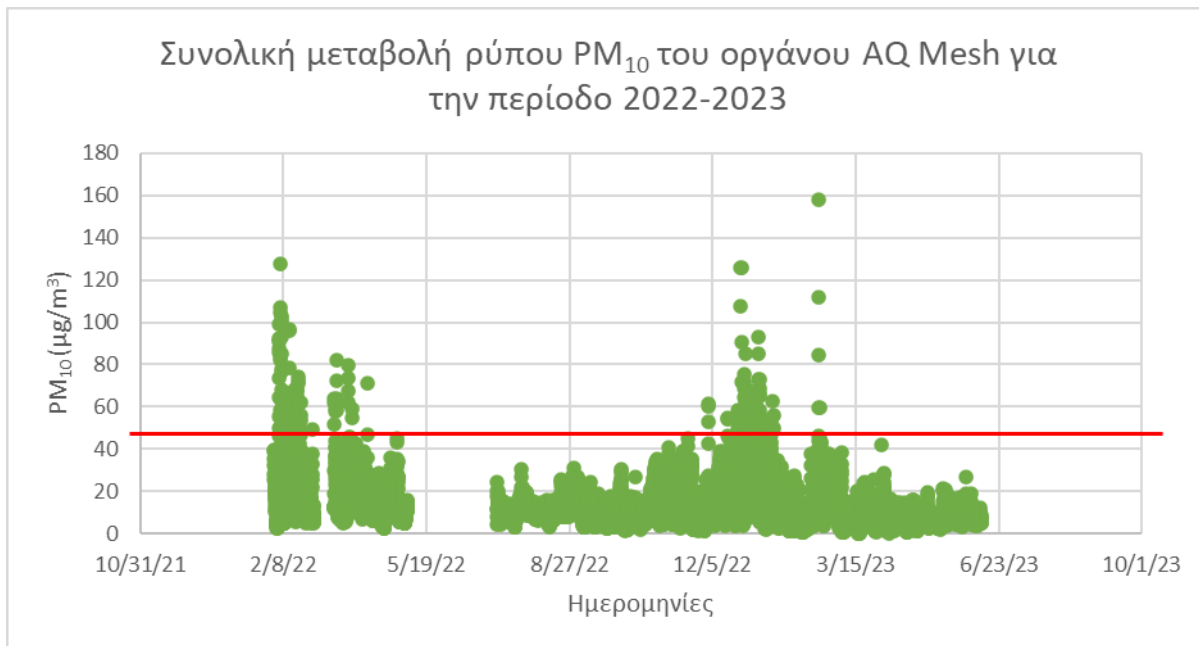
Από το διάγραμμα 5.22ε παρατηρούμε ότι το Φεβρουάριο είναι ξανά ο μήνας με τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού και ακολουθούν



Σχήμα 5.22ε: Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού ρύπου PM<sub>2.5</sub> για το όργανο AQ Mesh

### 5.6.8 Διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> από το όργανο AQ Mesh

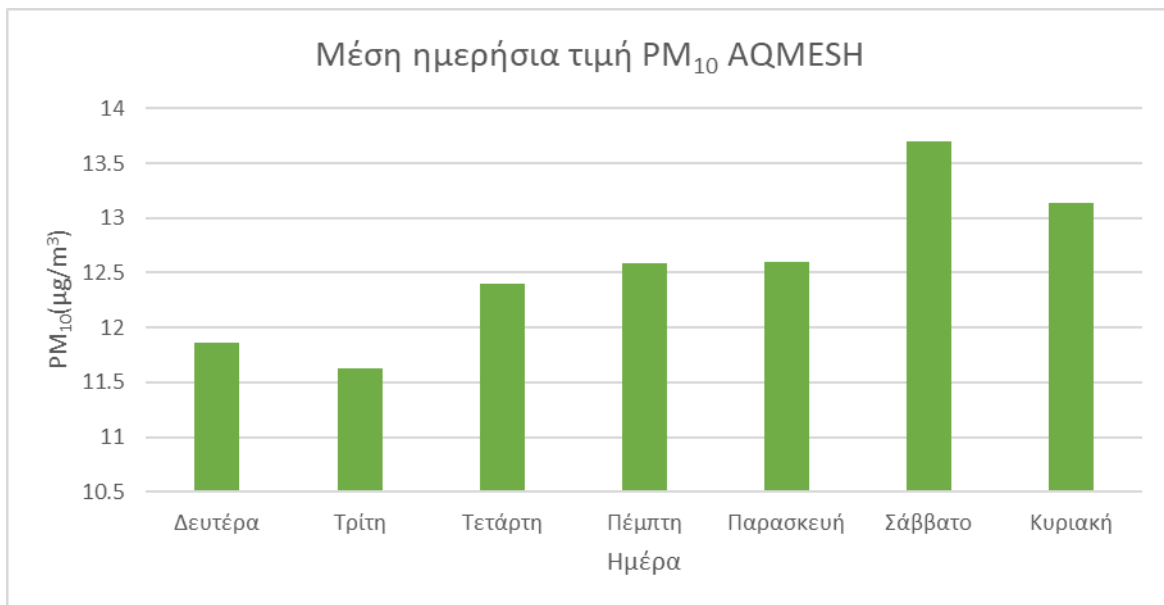
Μελετώντας το διάγραμματους 5.23α της ολικής διακύμανσης παρατηρούμε μια ομαλή μεταβολή του ρύπου, όπου σε σχέση με τα δυο προηγούμενα σωματίδια οι υπερβάσεις είναι πολύ λιγότερες.



Σχήμα 5.23α: Διάγραμμα συνολικής μεταβολής ρύπου PM<sub>10</sub> του οργάνου AQ Mesh για την περίοδο 2022-2023

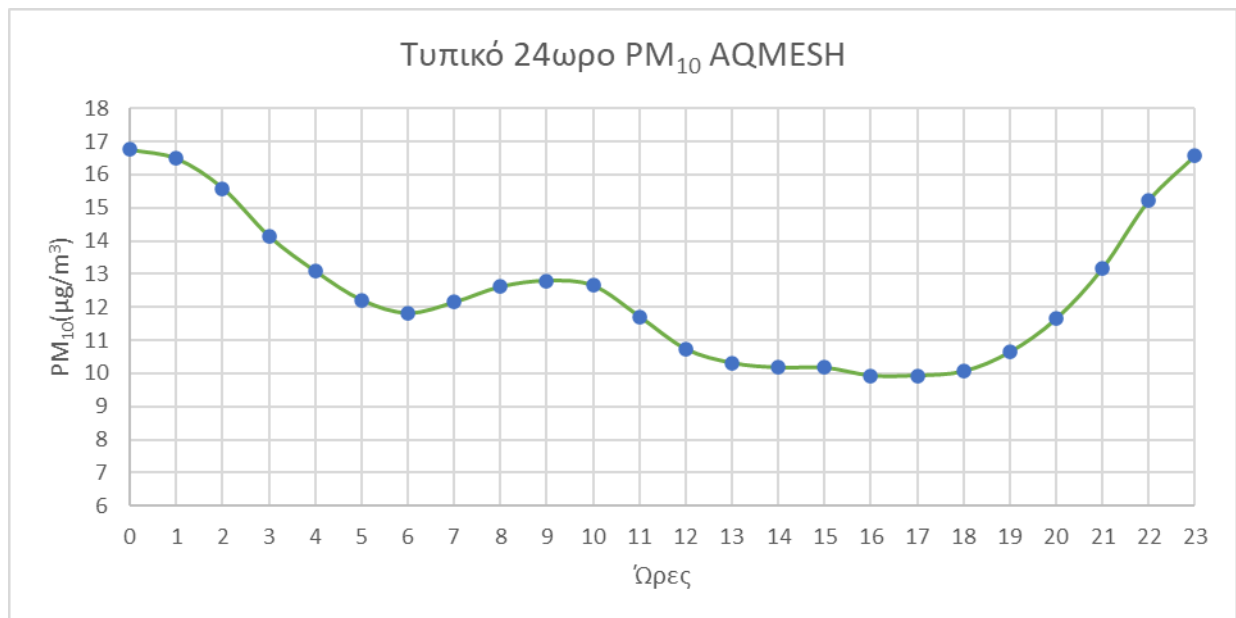
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα 5.23β της ημερήσιας διακύμανσης, άλλη μια φορά δεν προκύπτει κάτι καθώς οι συγκεντρώσεις δεν διαφέρουν μεταξύ των ημερών.



**Σχήμα 5.23β:** Διάγραμμα ημερήσιας μεταβολής ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο AQ Mesh

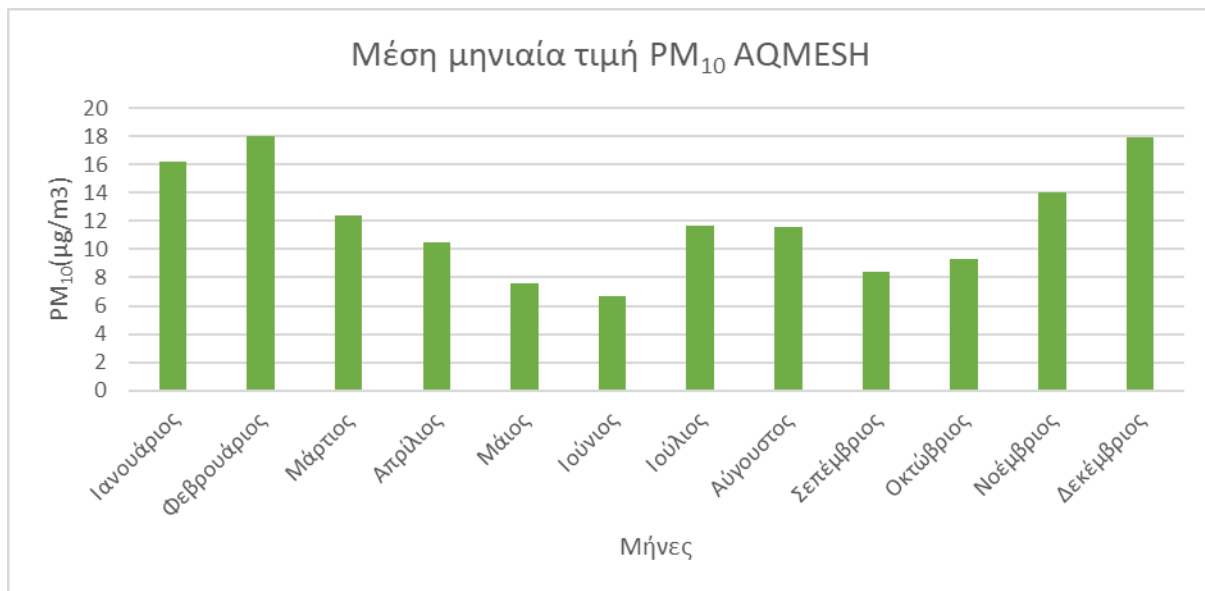
Από το διάγραμμα 5.23γ του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε μια καθοδική ομαλή τάση κατά τις πρώτες ώρες τις ημέρας μέχρι και της 6π.μ, μετέπειτα για τις επόμενες τέσσερις ώρες η συγκέντρωση αυξάνεται ελάχιστα και το επόμενο peak εμφανίζεται πάλι στις 7.μ.μ όπου και η μέγιστη συγκέντρωση εμφανίζεται στις 12 τα μεσάνυχτα με συγκέντρωση 16,76 µg/m<sup>3</sup>.



**Σχήμα 5.23γ:** Διάγραμμα τυπικού 24ώρου ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο AQ Mesh

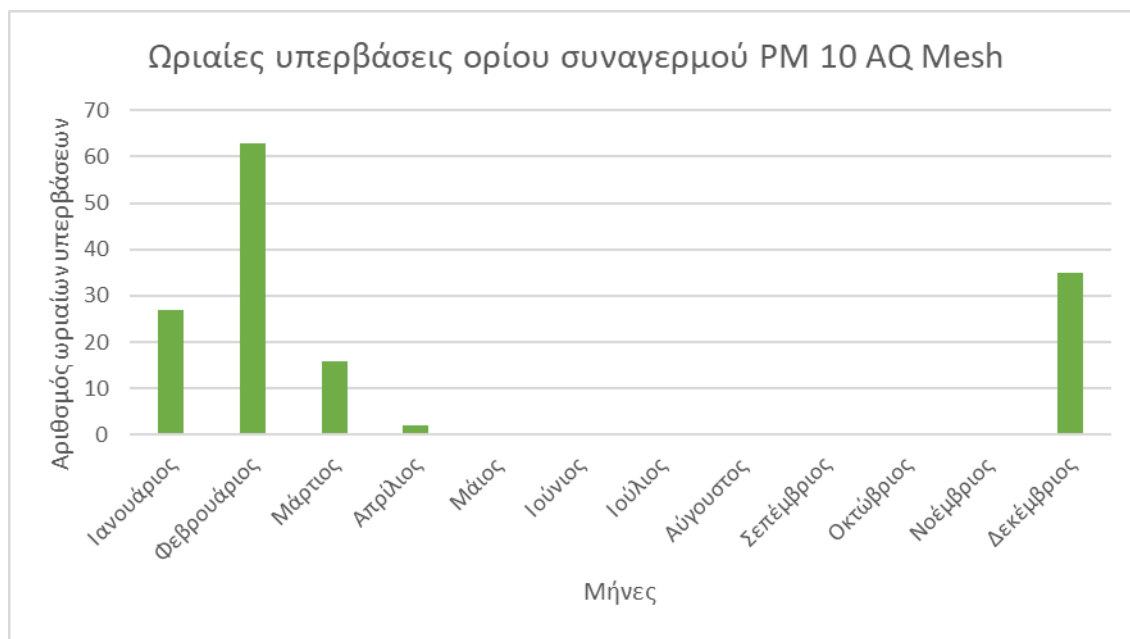
## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Από το διάγραμμα 5.23δ της μηνιαίας διακύμανσης του ρύπου, οι χειμερινοί μήνες είναι αυτοί που εμφανίζουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση και συγκεκριμένα ο μήνας Φεβρουάριος, με συγκέντρωση 18.03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Σχήμα 5.23δ:** Διάγραμμα μηνιαίας μεταβολής ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο AQ Mesh

Από το διάγραμμα 5.23ε των ωριαίων υπερβάσεων του ορίου συναγερμού παρατηρούμε ότι από τους τρεις ρύπους τα PM<sub>10</sub> είναι ο ρύπος με τις λιγότερες υπερβάσεις, καθώς και ότι επίσης ξανά ο μήνας Φεβρουάριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες υπερβάσεις, το οποίο είναι κοινό για τα προηγούμενα δυο σωματίδια.



**Σχήμα 5.23ε :** Ωριαίες υπερβάσεις ορίου συναγερμού του ρύπου PM<sub>10</sub> για το όργανο AQ Mesh

### Γενικά σχόλια για την περιοχή μελέτης

Παρατηρούμε ότι η περιοχή δεν διατρέχει κάποιον ιδιαίτερο κίνδυνο και ότι η ατμόσφαιρα είναι καθαρή καθώς οι ρύποι CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> δεν υπερβαίνουν το όριο συναγερμού που έχει τεθεί. Όσον αφορά τα σωματίδια παρατηρούμε το παρόμοιο μοτίβο όπου εμφανίζονται και οι τρεις ρύποι με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες, καθώς επίσης ότι τα PM<sub>2.5</sub> είναι ο ρύπος που εμφανίζει τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού.

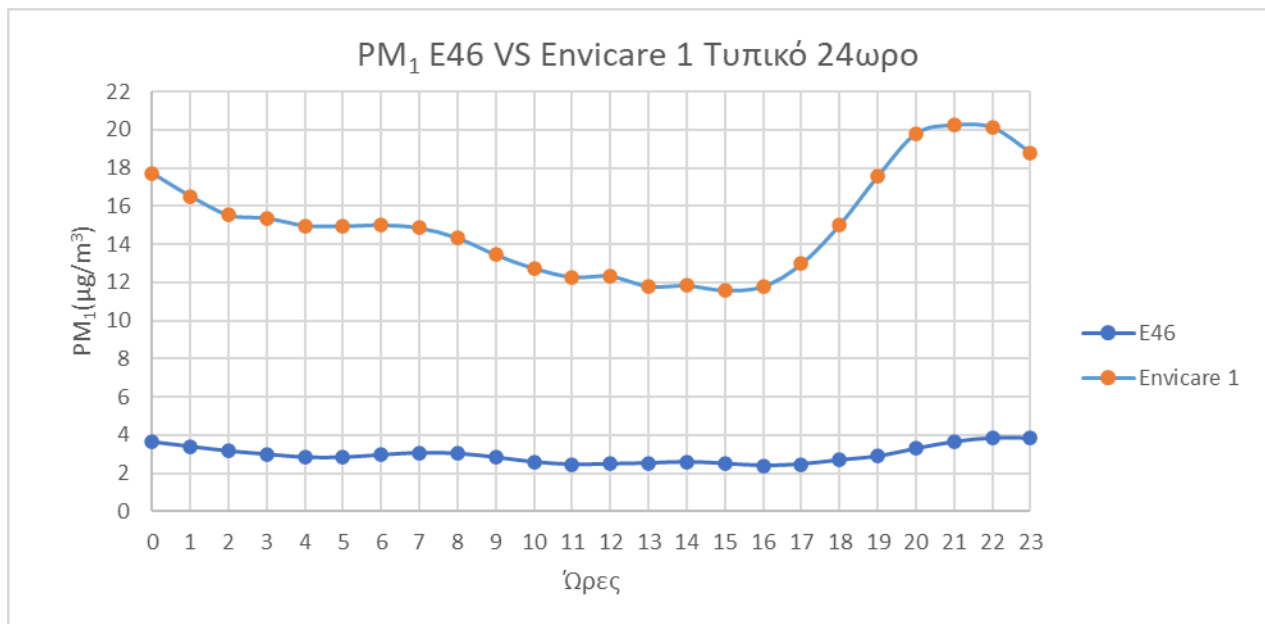
### Γενικές παρατηρήσεις για τους ρύπους CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>

- Για την περιοχή μελέτης, όπου είναι η πανεπιστημιούπολη 2 του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, κανένας από τους πέντε παραπάνω ρύπους δεν ξεπέρασε το όριο συναγερμού.
- Δεν προέκυψε κάποιο μοτίβο όσον αφορά την ημερήσια μεταβολή του ρύπου, καθώς αρχικά κάθε ρύπος εμφάνιζε διαφορετική μέρα την μέγιστη συγκέντρωση του, καθώς και ότι οι συγκεντρώσεις μεταξύ των ημερών δεν διέφεραν σε σημαντικό βαθμό.

Όσον αφορά την μηνιαία μεταβολή παρατηρούμε ότι το όζον εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές κατά τη θερινή περίοδο του έτους. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη ηλιοφάνεια σε διάρκεια και ένταση, δεδομένου ότι ο ρύπος σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες. Για τον ίδιο λόγο μέσω του διαγράμματος του τυπικού 24ώρου οι ώρες με την μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι μεταξύ 9π.μ με 4μ.μ όπου είναι οι ώρες με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια

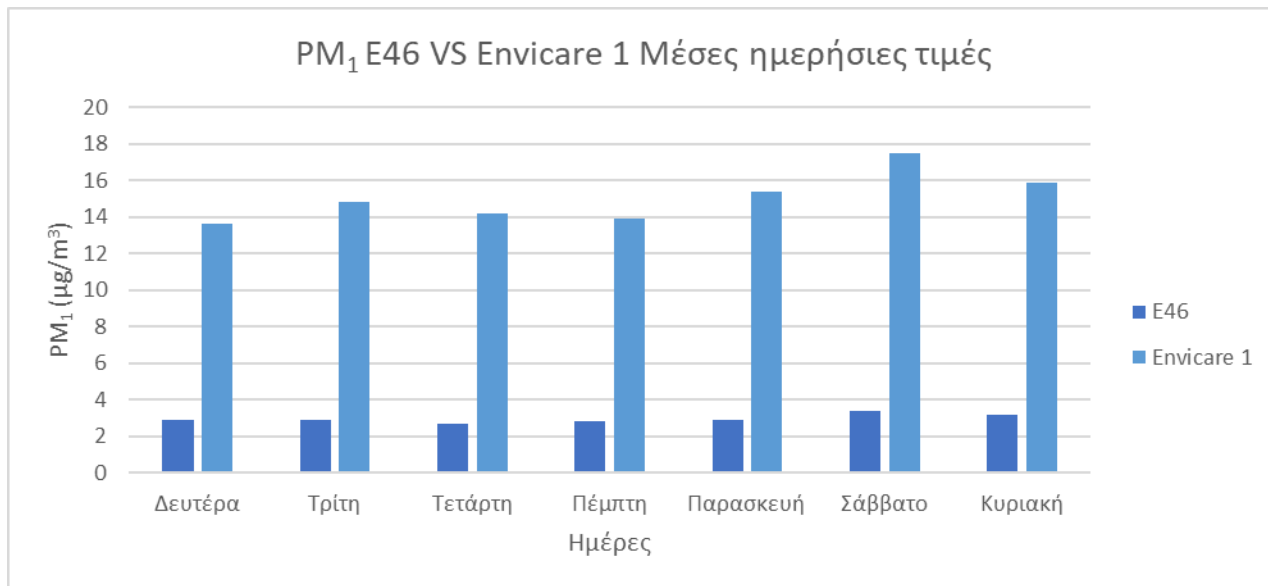
## 5.7 Σύγκριση των οργάνων μεταξύ τους

### 5.7.1 E46 Libelium vs Envicare 1 PurpleAir PM<sub>1</sub>

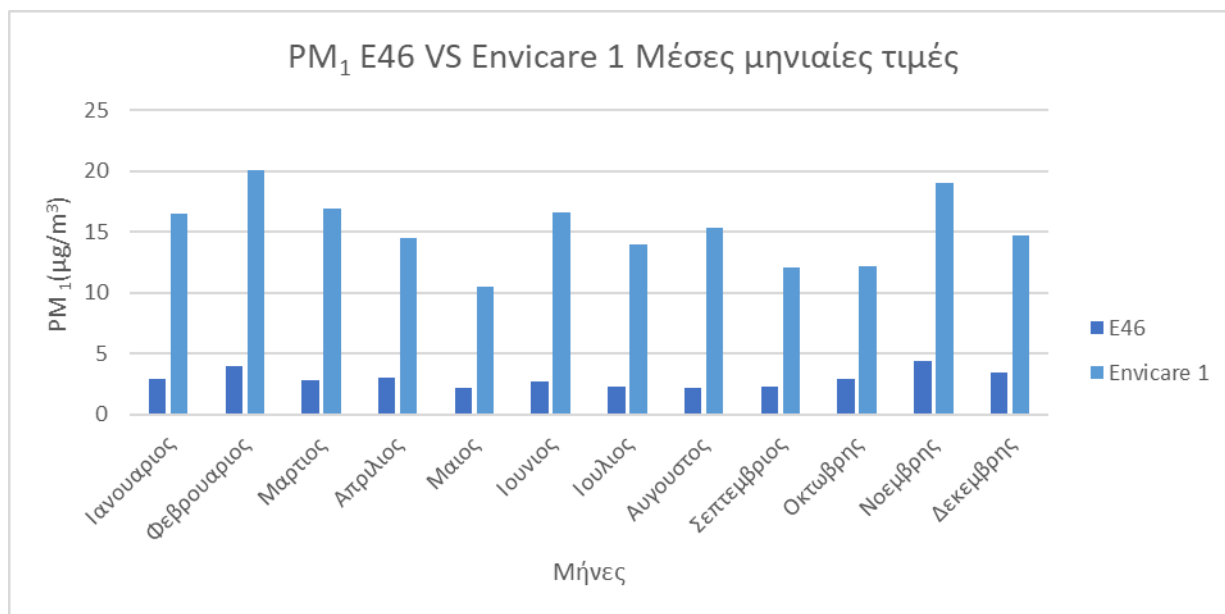


Σχήμα 5.24α : Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 του ρύπου PM<sub>1</sub> για τυπικό 24ώρο

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

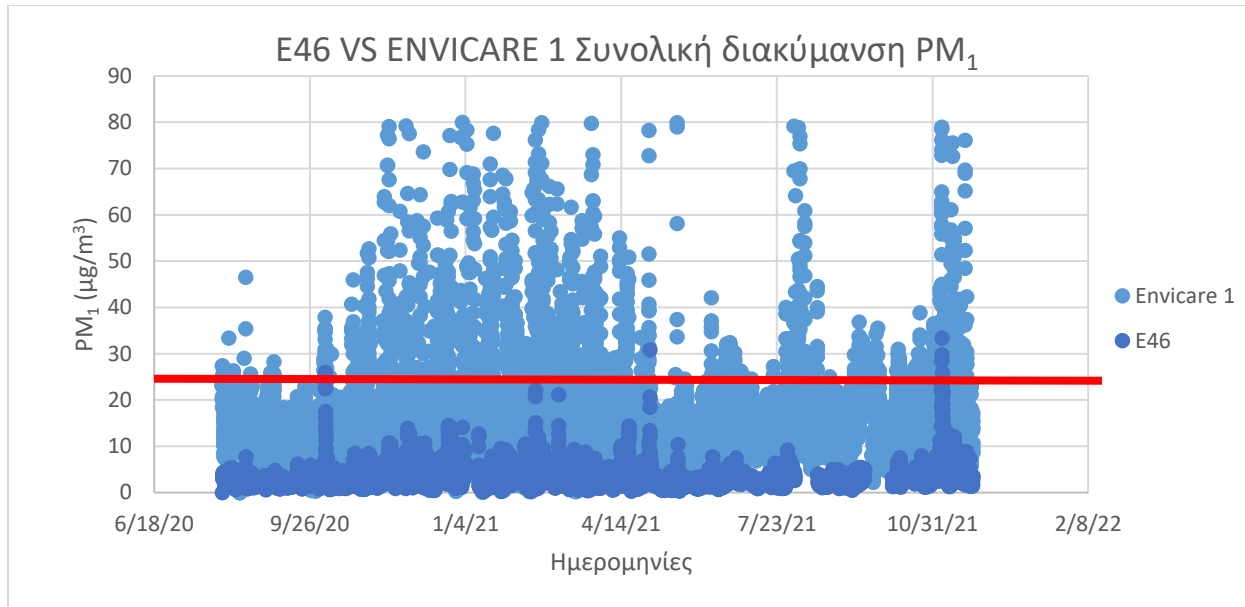


**Σχήμα 5.24β :** Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 του ρύπου PM<sub>1</sub> για μέση ημερήσια διακύμανση

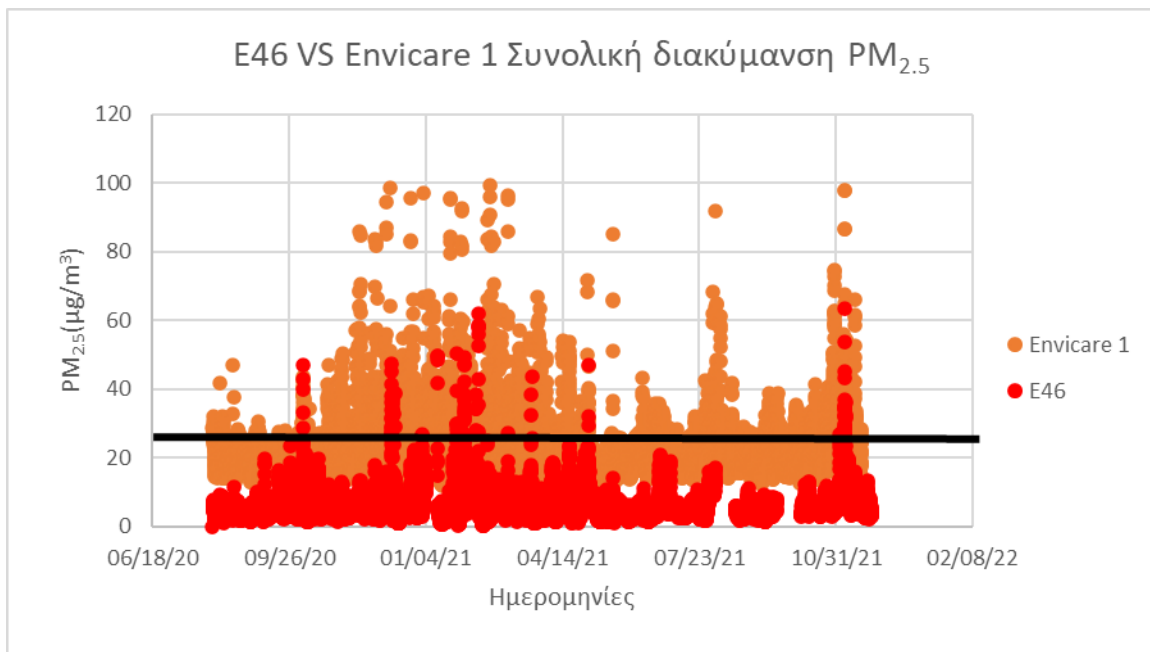


**Σχήμα 5.24γ :** Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 για μέση μηνιαία διακύμανση

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



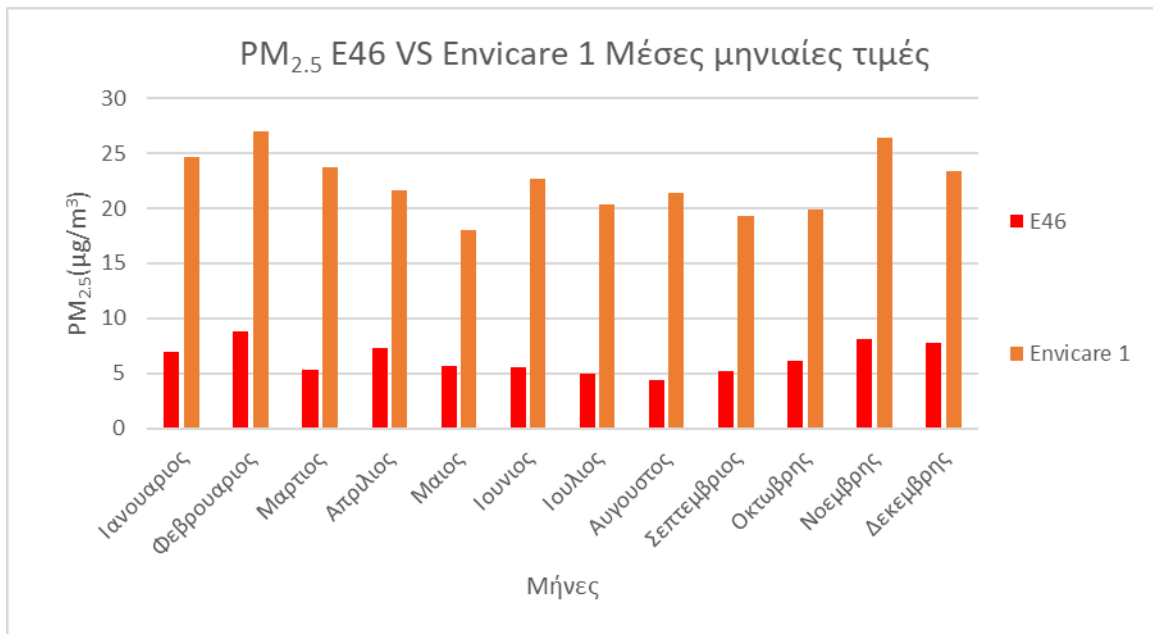
Σχήμα 5.24δ : Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 για την συνολική διακύμανση του ρύπου  $PM_1$



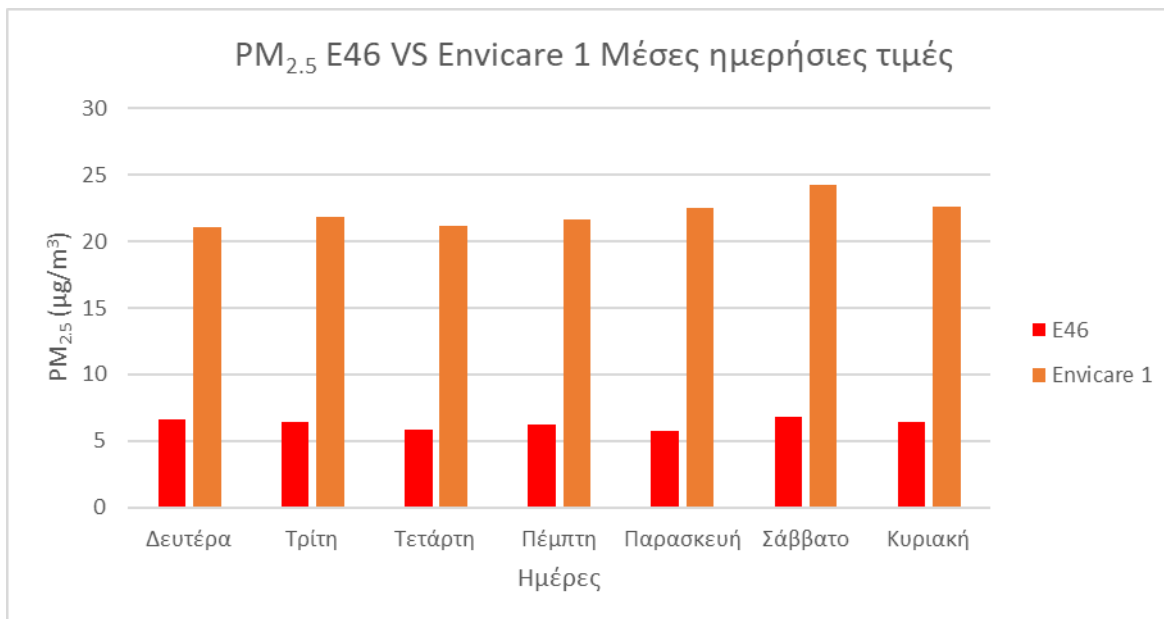
Σχήμα 5.25α: Συνολική διακύμανση ρύπου  $PM_{2.5}$  και σύγκριση μεταξύ οργάνων E46 και Envicare 1



## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

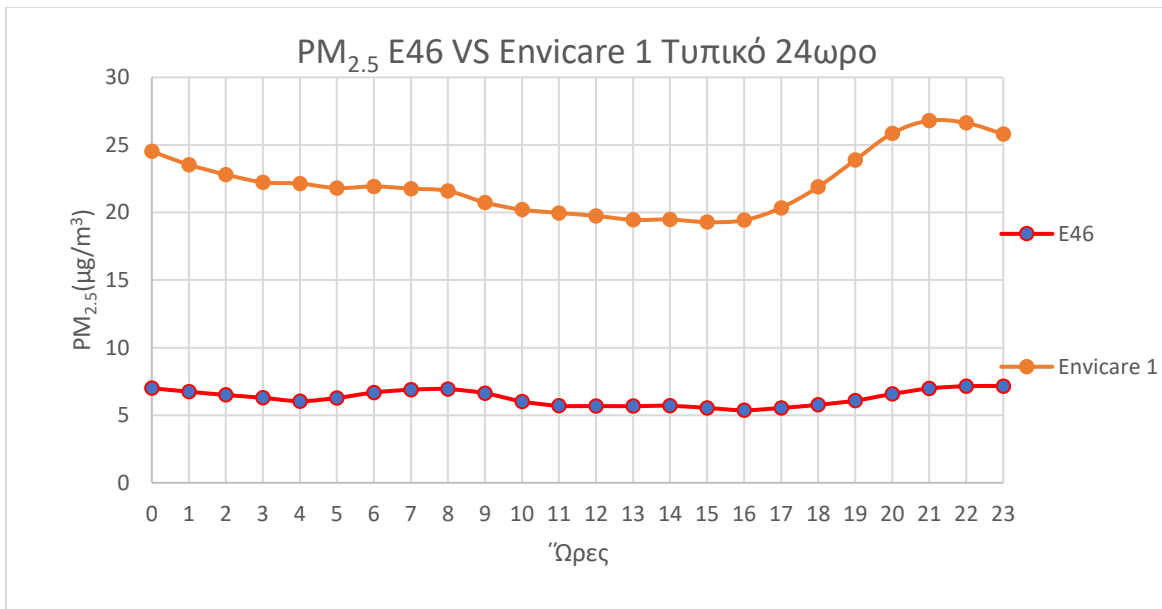


**Σχήμα 5.25β:** Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για μέση μηνιαία κατανάλωση

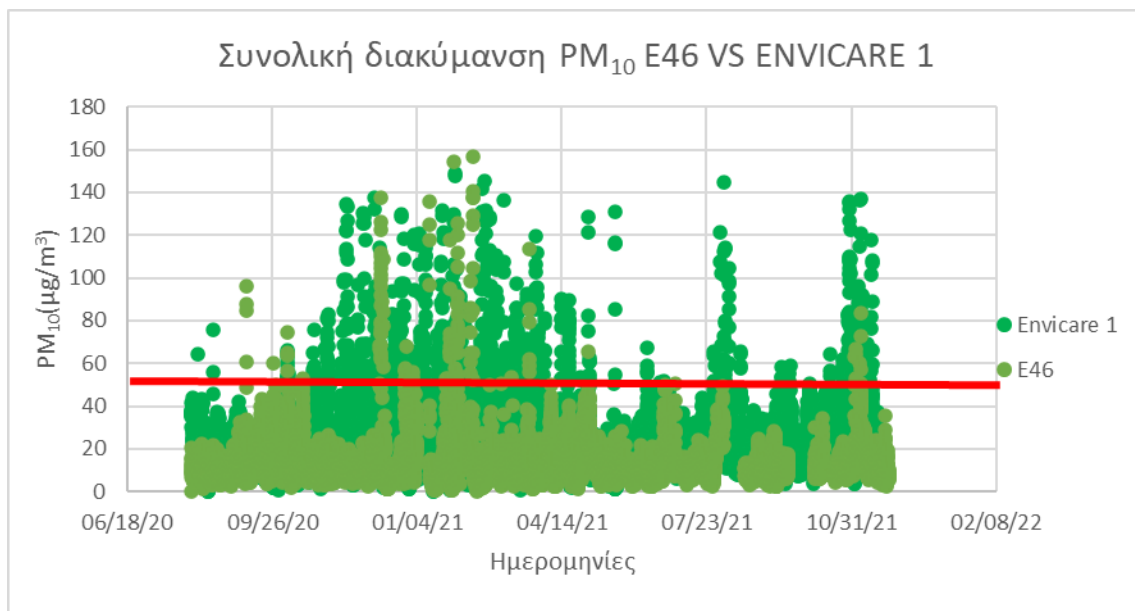


**Σχήμα 5.25γ:** Σύγκριση οργάνων E46 και Envicare 1 για την μέση ημερήσια κατανάλωση του ρύπου PM<sub>2.5</sub>

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

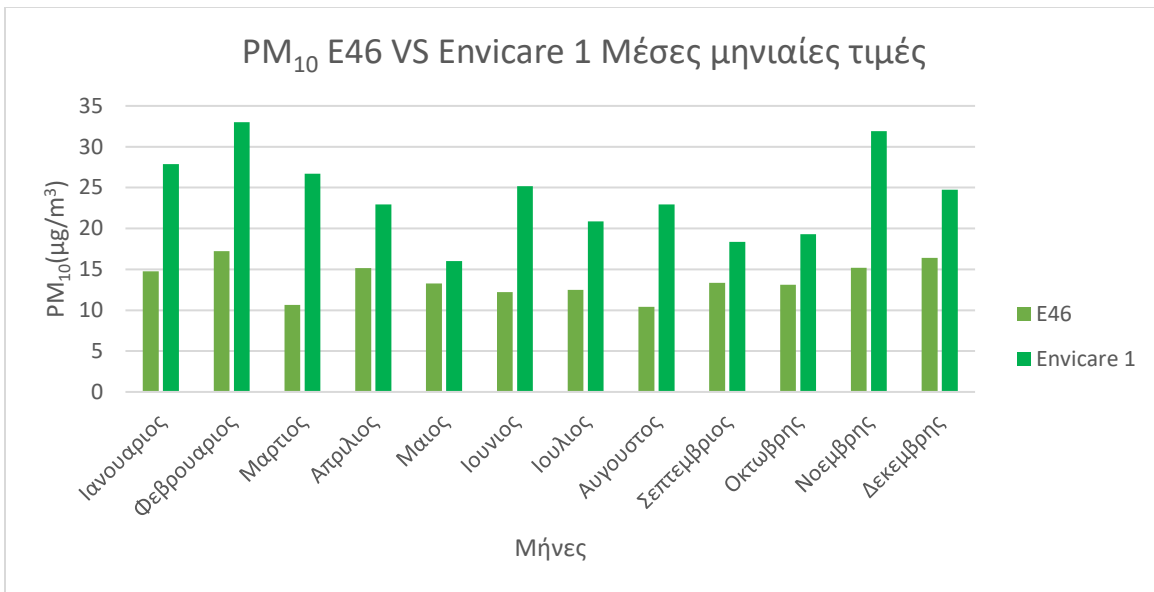


Σχήμα 5.25δ : Σύγκριση οργάνων E46 και Envicare 1 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>2.5</sub>

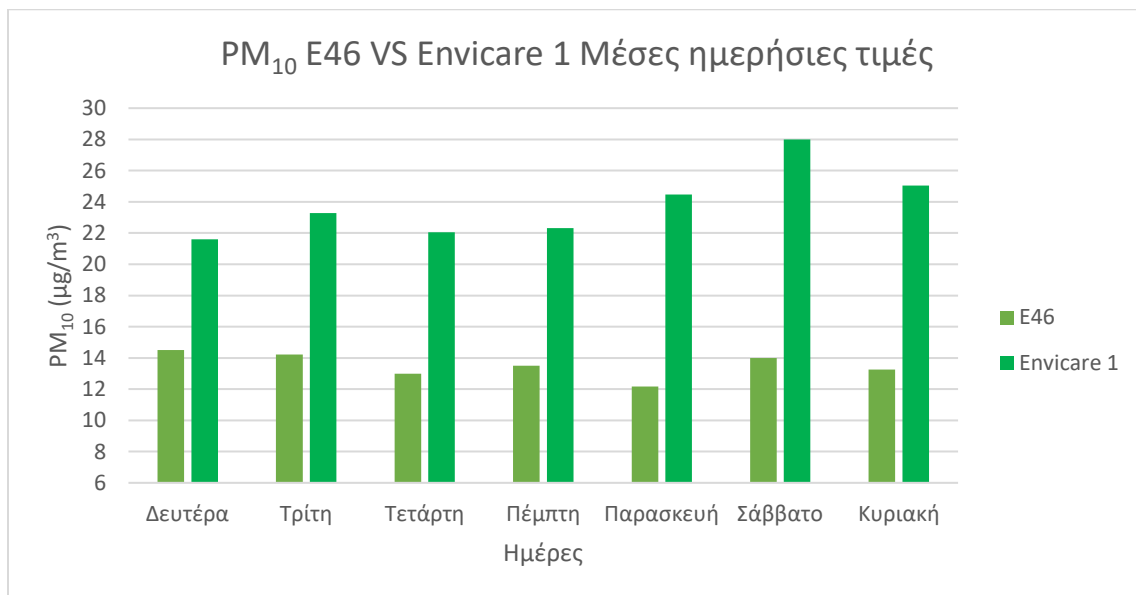


Σχήμα 5.26α: Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> και σύγκριση μεταξύ των οργάνων Envicare 1 και E46

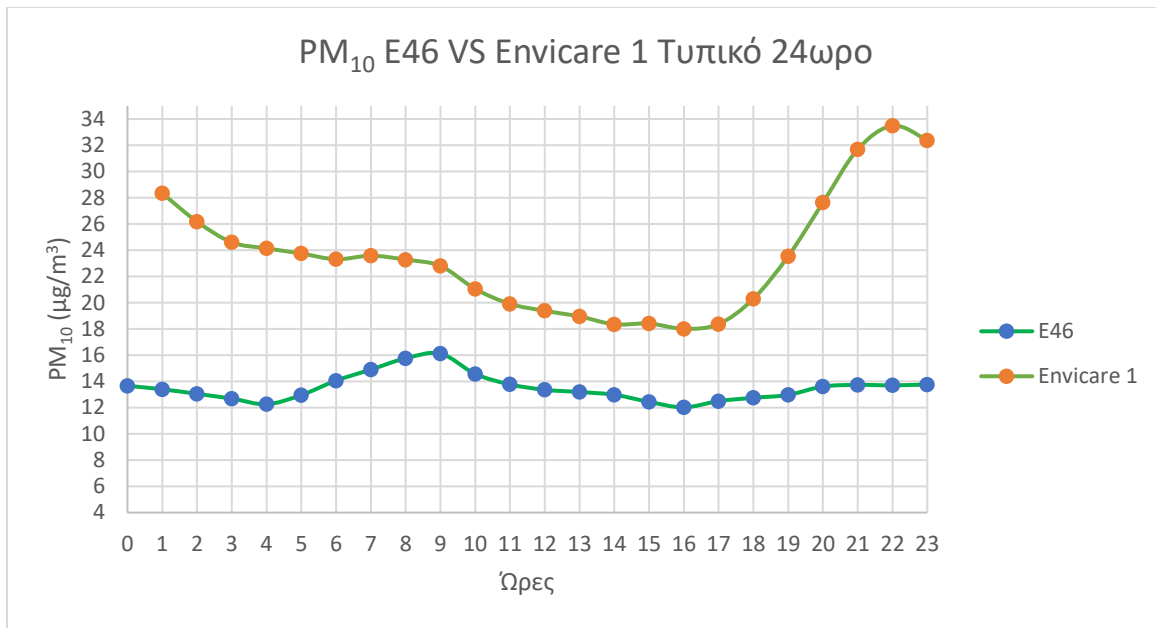
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 5.26β: Σύγκριση οργάνων E46 με Envicare 1 του ρύπου PM<sub>10</sub> για μέση μηνιαία κατανάλωση



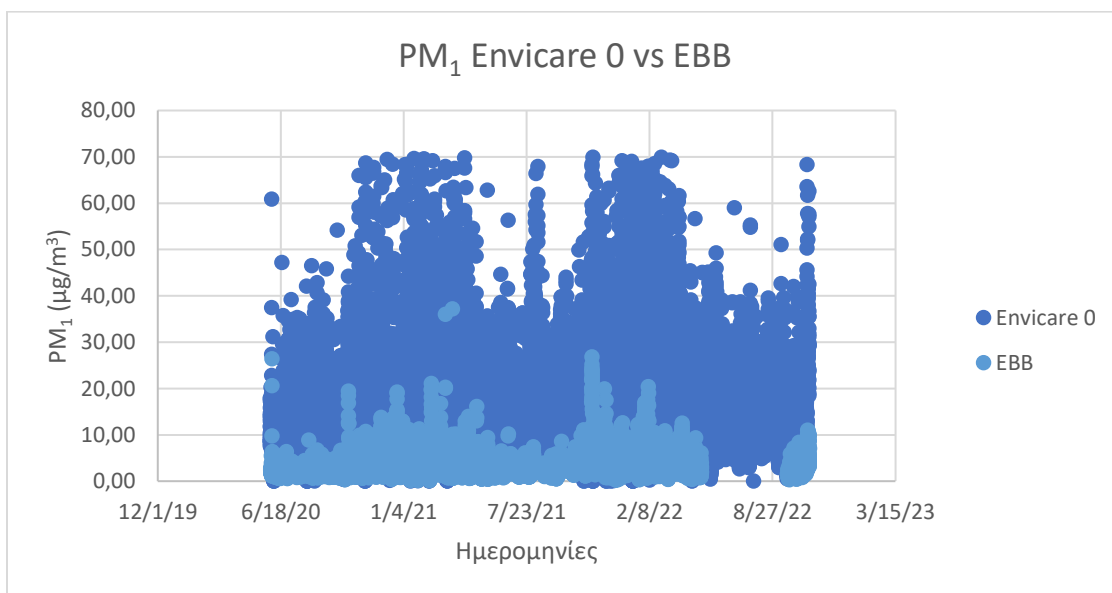
Σχήμα 5.26γ: Σύγκριση οργάνων E46 και Envicare 1 για την μέση ημερήσια κατανάλωση του ρύπου PM<sub>10</sub>



Σχήμα 5.26s : Σύγκριση οργάνων E46 και Envicare 1 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>10</sub>

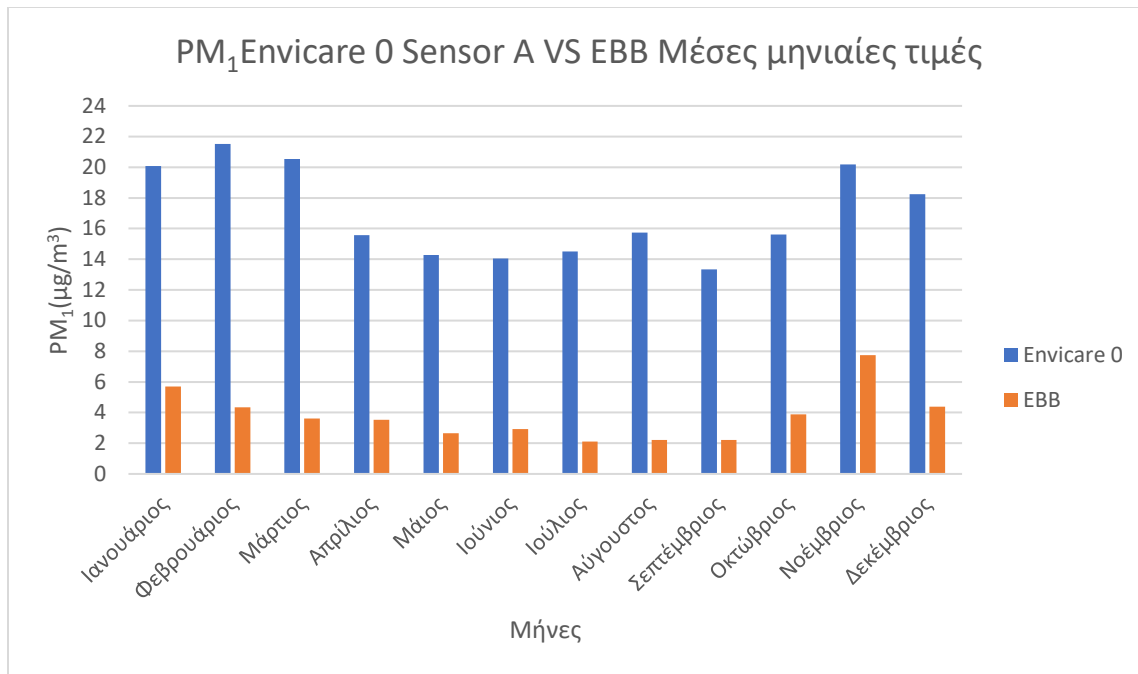
Παρατηρούμε ότι τα όργανο της Libelium και στην προκειμένη περίπτωση το E46 σε σχέση με το Envicare 1 της PurpleAir υποεκτιμά κατά πολύ τις συγκεντρώσεις των ρύπων και σε σύγκριση με μέσες συγκεντρώσεις από όργανα αναφοράς, μπορεί κάποιος να διαπιστώσει ότι οι μετρήσεις του οργάνου Libelium δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή. Για αυτόν ακριβώς το λόγο απορρίπτουμε τις μετρήσεις του οργάνου E46.

### 5.7.2 Σύγκριση οργάνου EBB Libelium με όργανο Enviare 0 PurpleAir

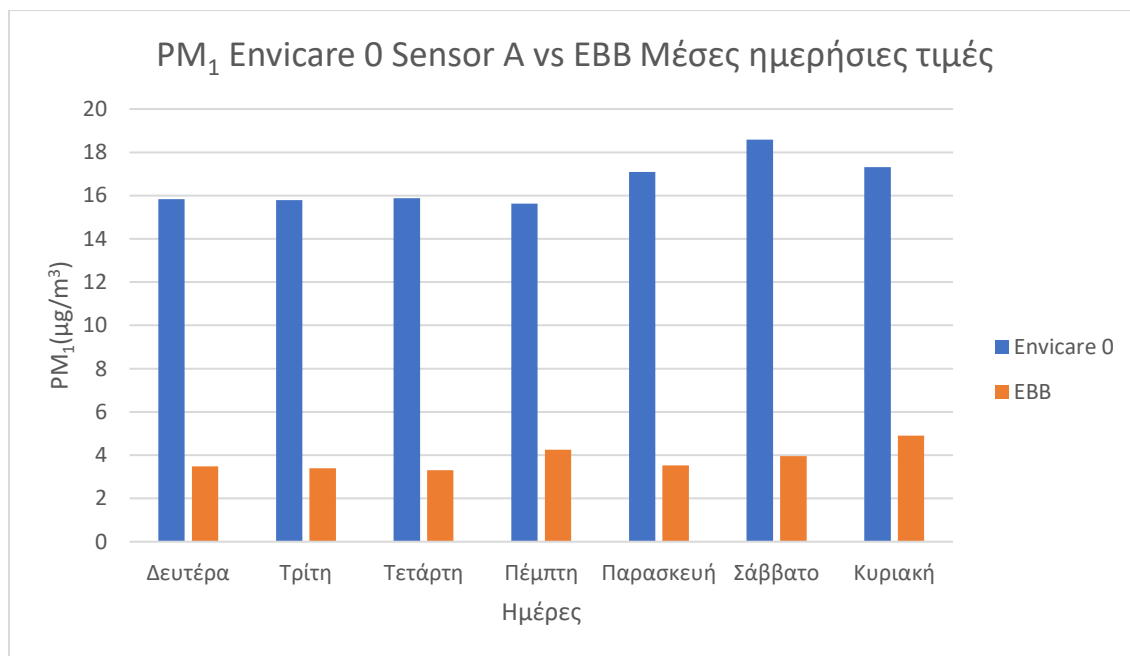


Σχήμα 5.27α: Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>1</sub> και σύγκριση μεταξύ των οργάνων Enviare 0 και EBB

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

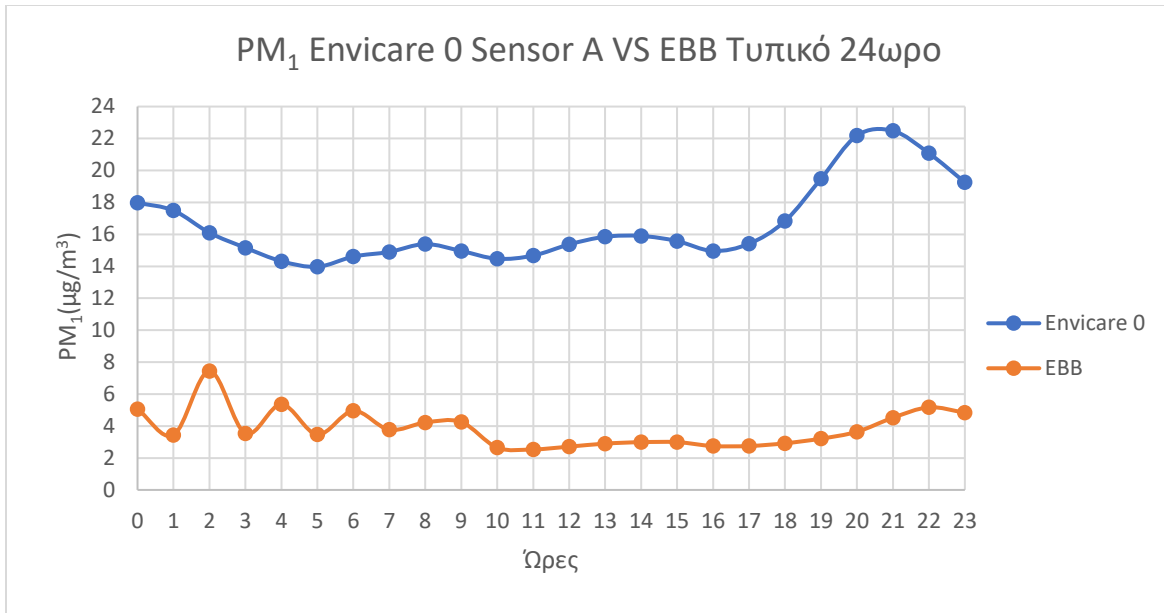


Σχήμα 5.27β: Σύγκριση οργάνων EBB με Envicare 0 του ρύπου PM<sub>1</sub> για μέση μηνιαία κατανάλωση

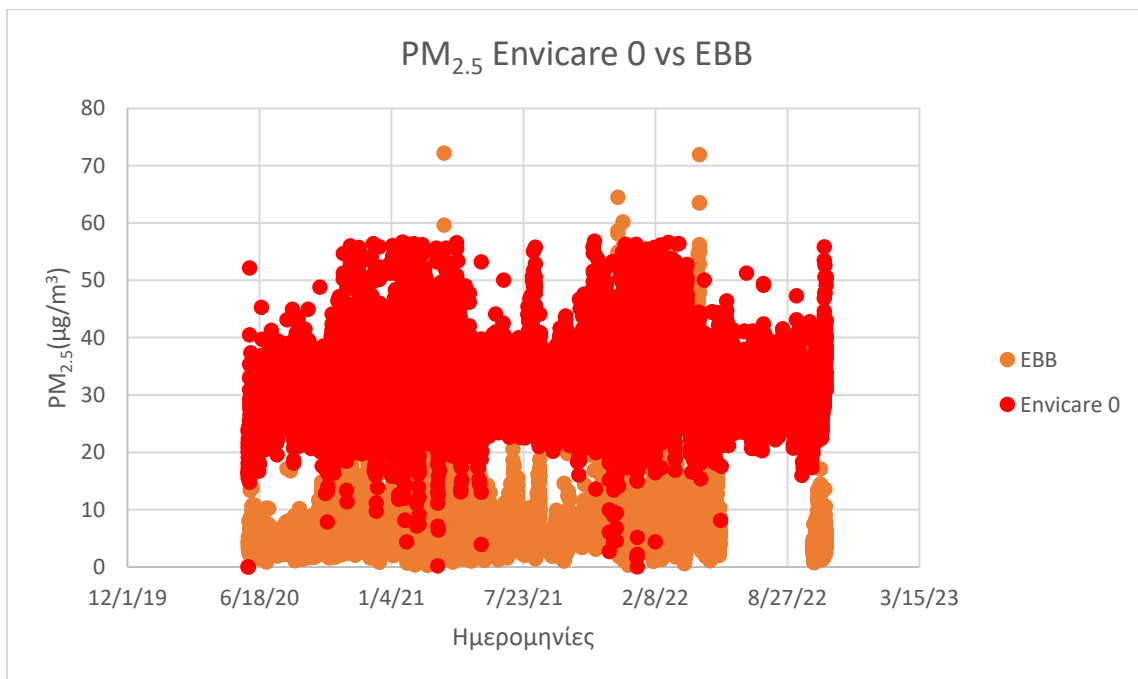


Σχήμα 5.27γ: Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για την μέση ημερήσια κατανάλωση του ρύπου PM<sub>1</sub>

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

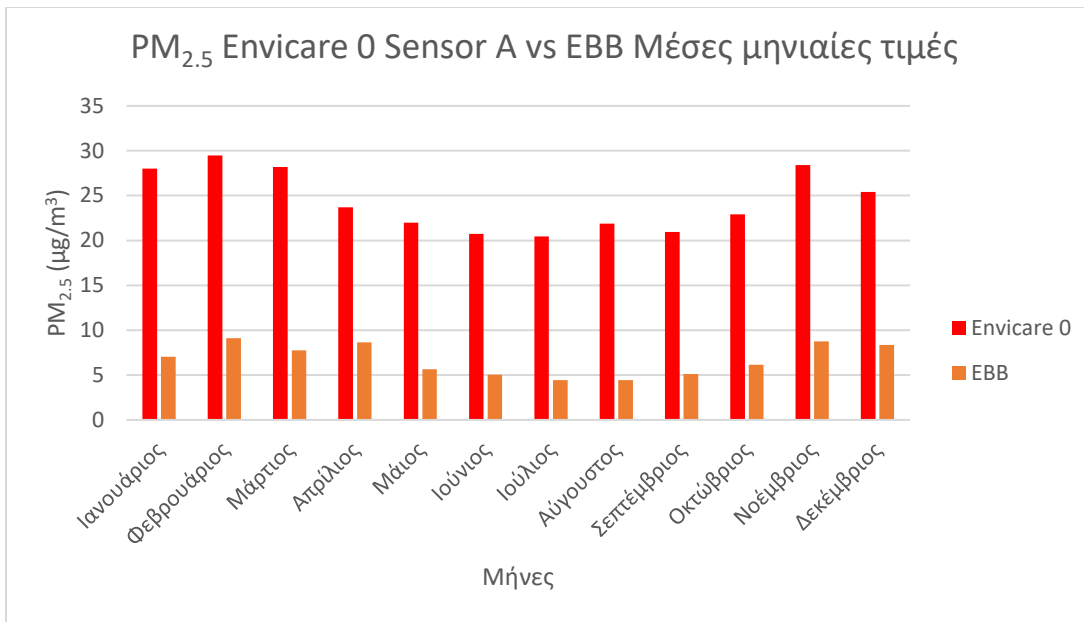


Σχήμα 5.27δ: Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>1</sub>

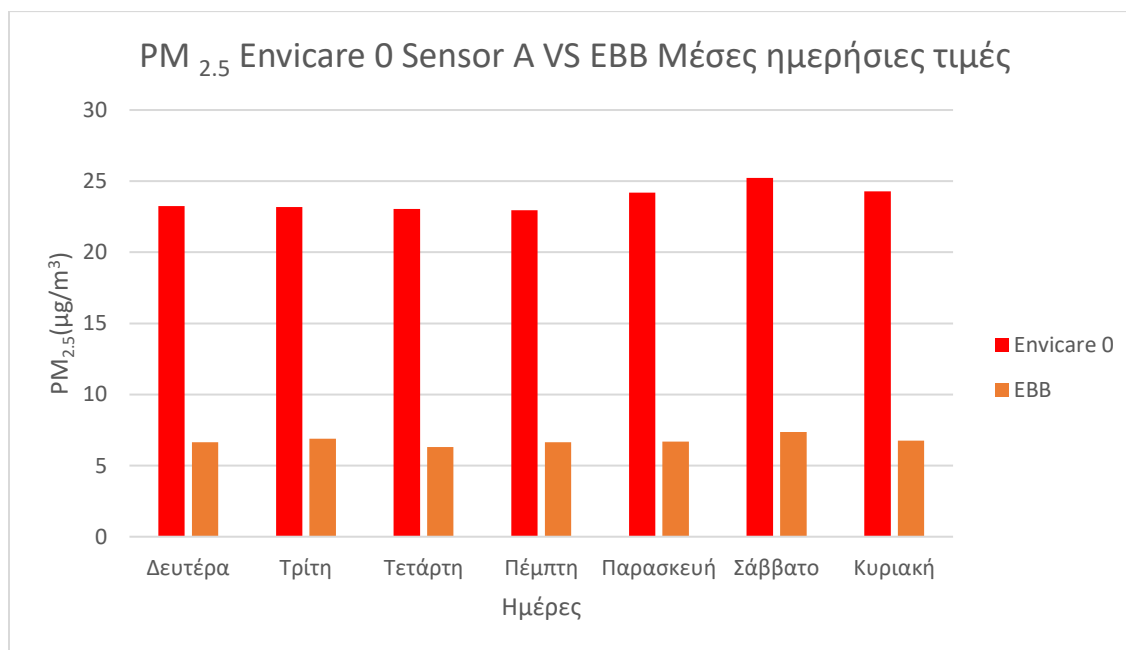


Σχήμα 5.28α: : Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>2.5</sub> και σύγκριση μεταξύ των οργάνων Envicare 0 και EBB

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

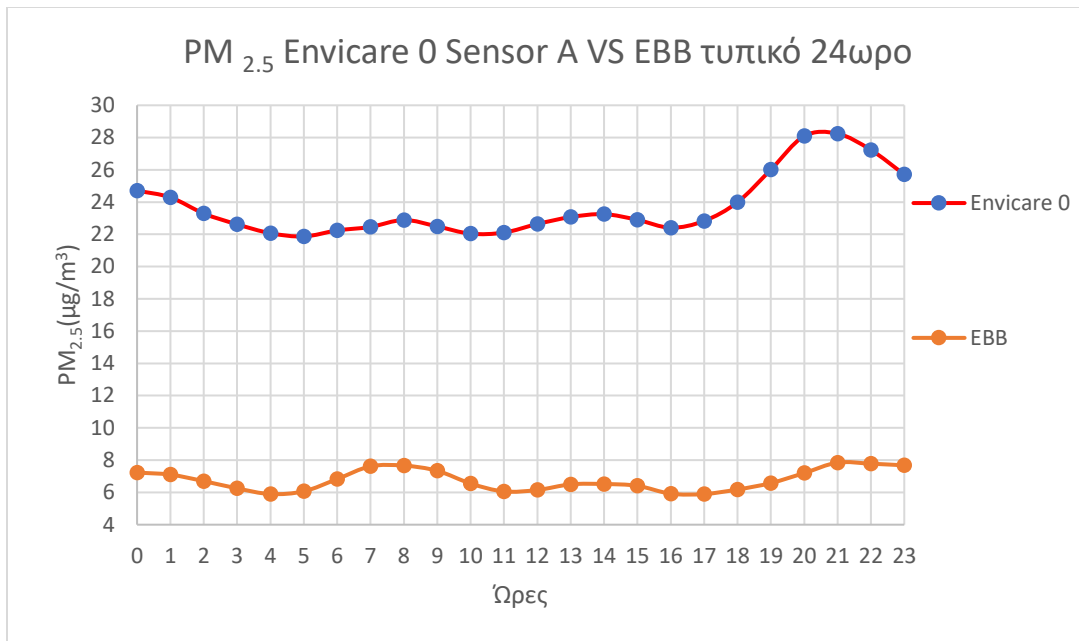


Σχήμα 5.28β: Σύγκριση οργάνων EBB με Envicare 0 του ρύπου PM<sub>2.5</sub> για μέση μηνιαία συγκέντρωση

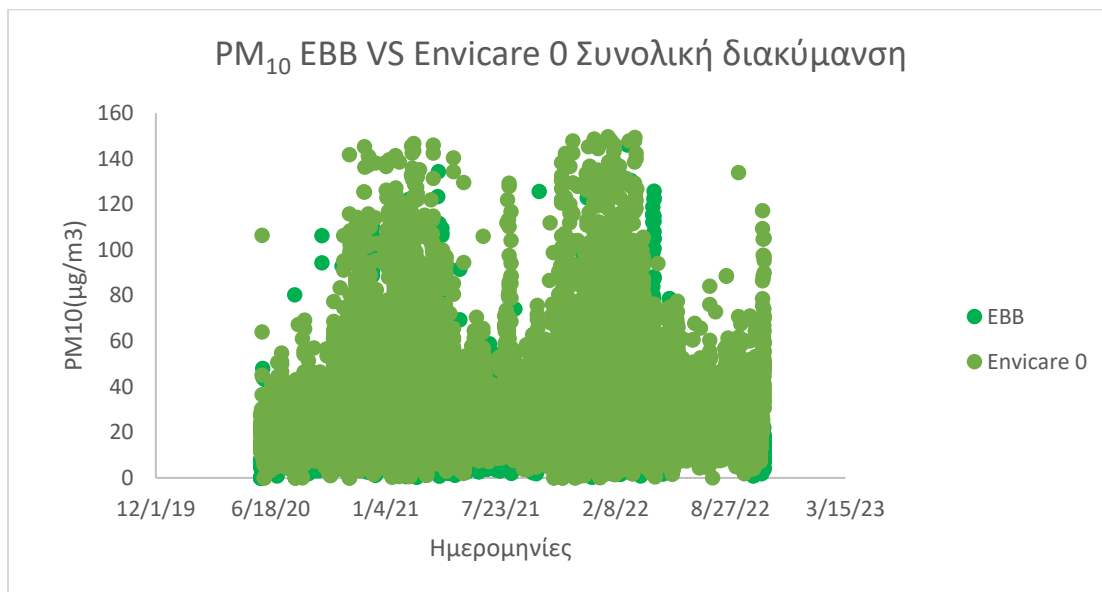


Σχήμα 5.28γ: Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για την μέση ημερήσια συγκέντρωση του ρύπου PM<sub>2.5</sub>

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



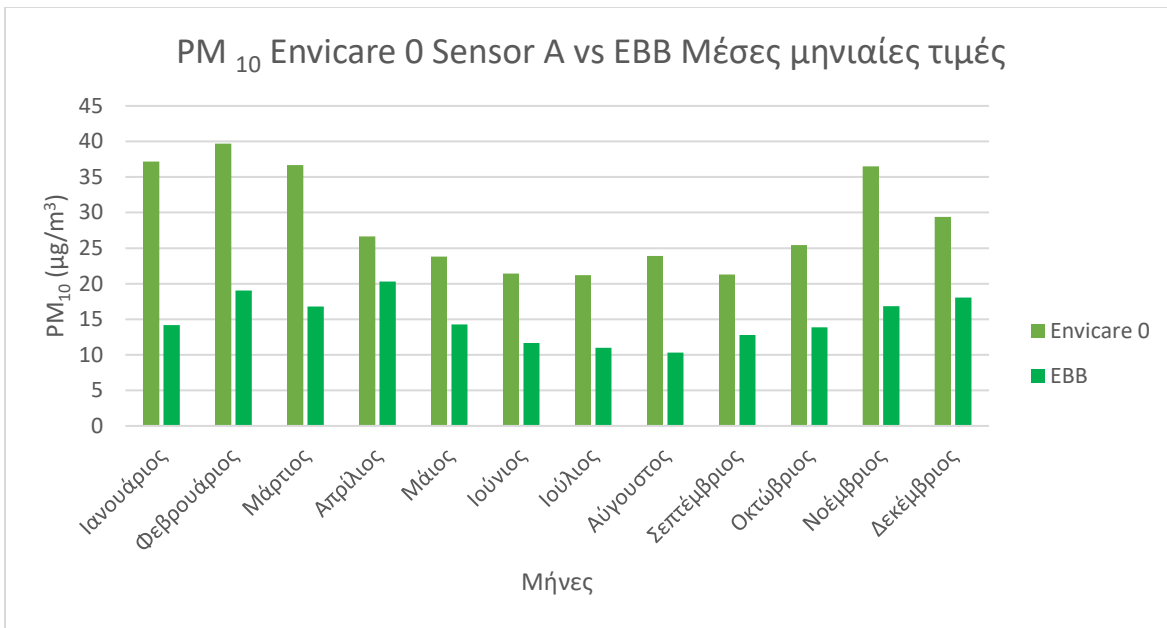
Σχήμα 5.28δ : Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>2.5</sub>



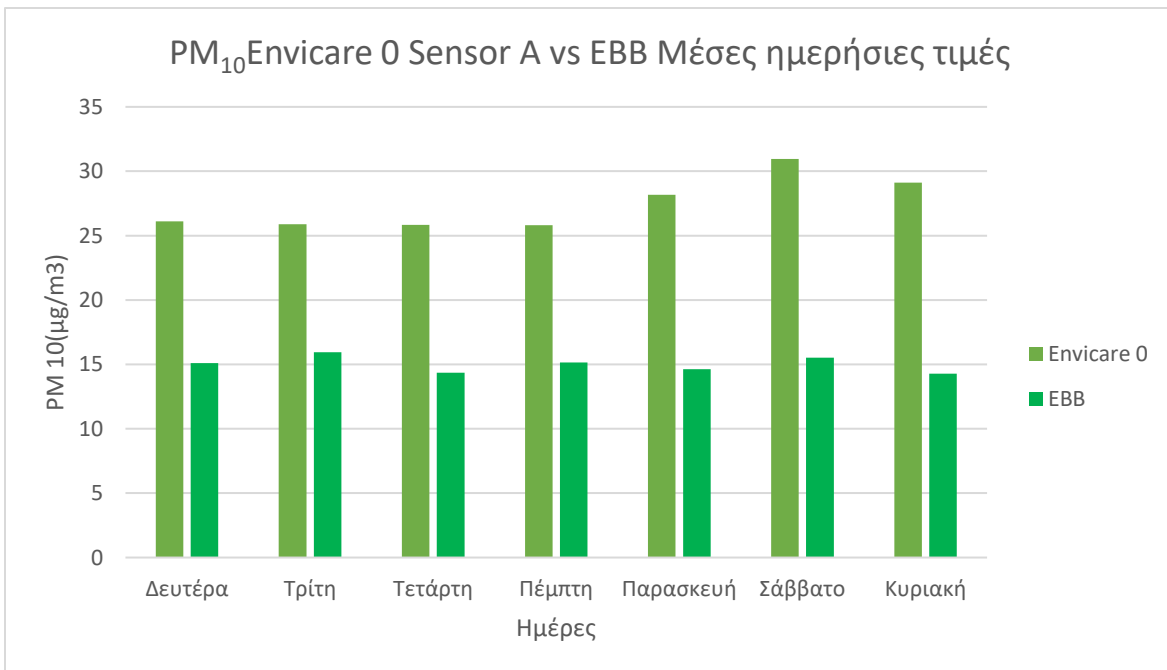
Σχήμα 5.29α: Συνολική διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> και σύγκριση μεταξύ των οργάνων Envicare 0 και EBB



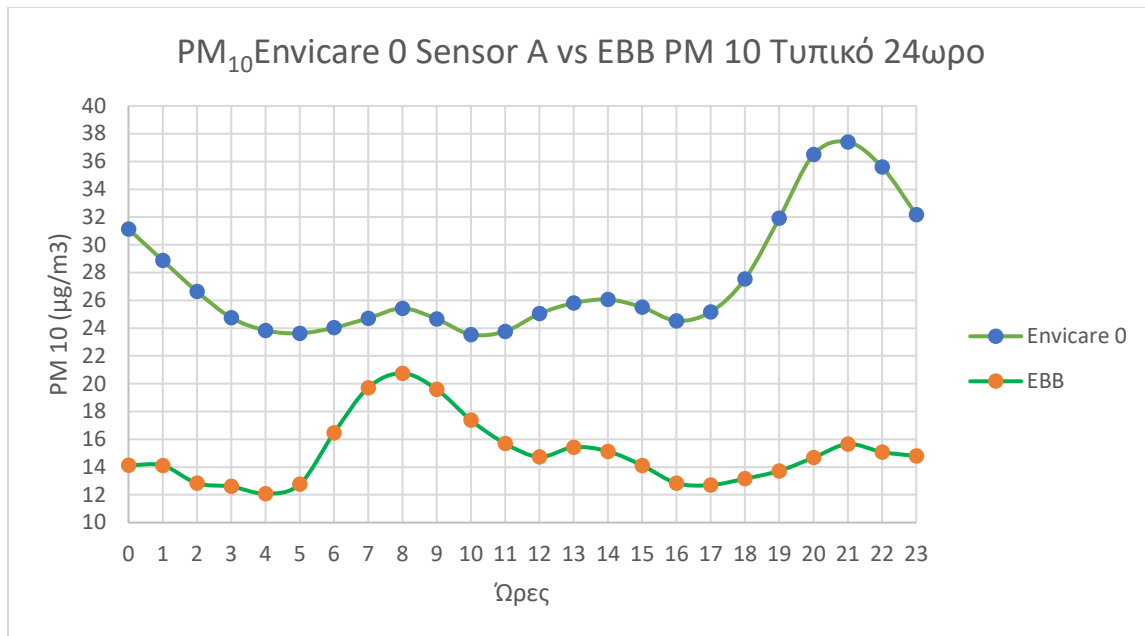
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



**Σχήμα 5.29β:** Σύγκριση οργάνων EBB με Envicare 0 του ρύπου PM<sub>10</sub> για μέση μηνιαία συγκέντρωση



**Σχήμα 5.29γ:** Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για την μέση ημερήσια συγκέντρωση του ρύπου PM<sub>10</sub>

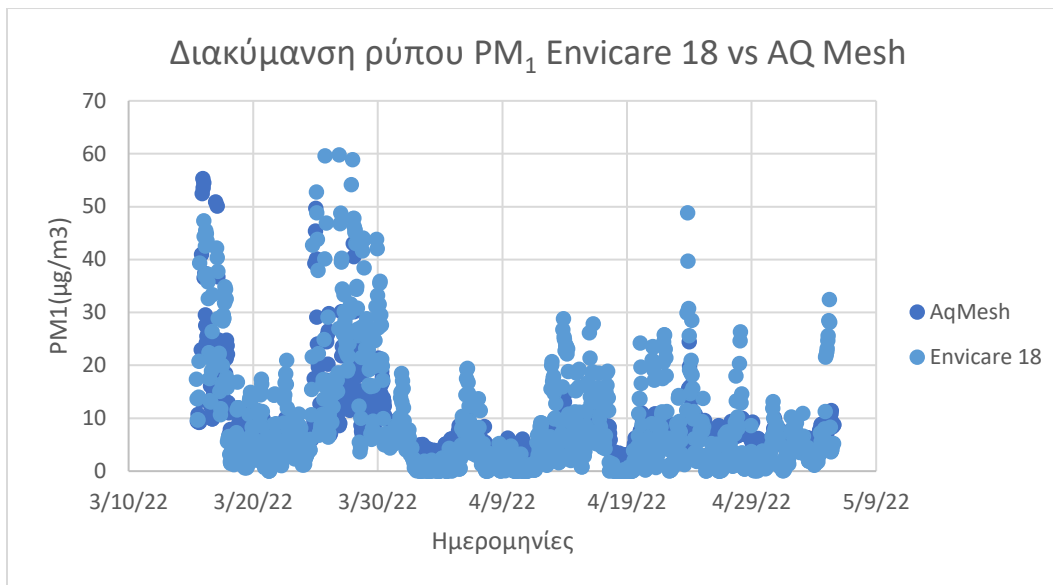


Σχήμα 5.29δ : Σύγκριση οργάνων EBB και Envicare 0 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>10</sub>

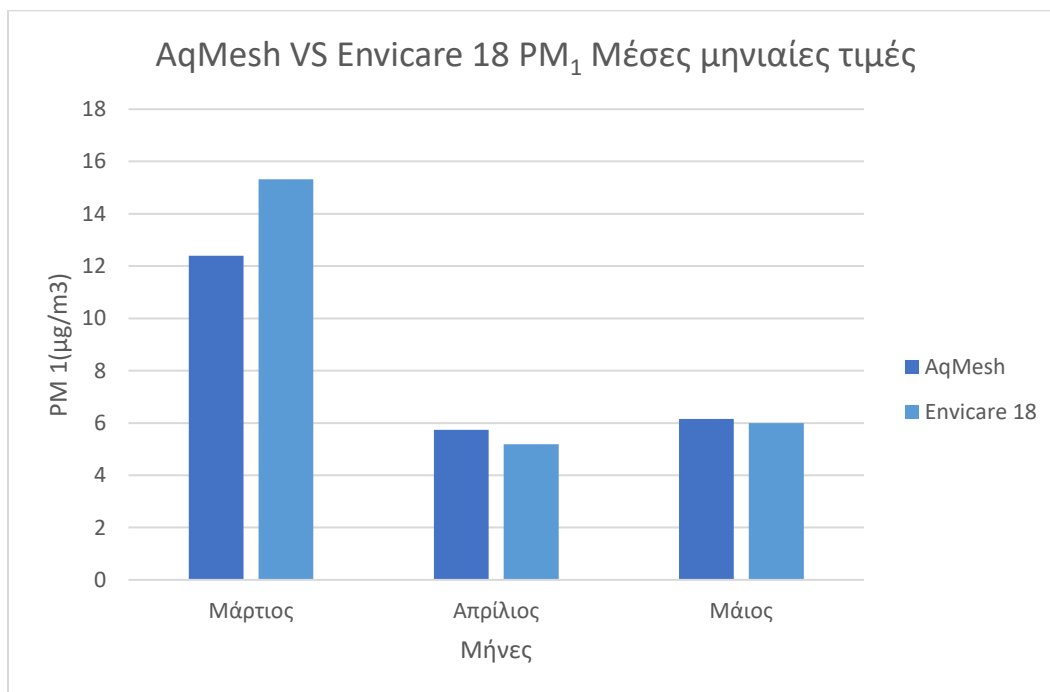
### Παρατηρήσεις- Συμπεράσματα για την σύγκριση μεταξύ των οργάνων Libelium EBB και PurpleAir Envicare 0

Παρατηρούμε ότι και πάλι το όργανο της Libelium υποεκτιμά κατά πολύ την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με το όργανο της PurpleAir. Η διαφορά που εντοπίζεται μεταξύ των οργάνων για τους ρύπους PM<sub>1</sub> και PM<sub>2.5</sub> είναι της τάξης των 20 µg/m<sup>3</sup> κατά μέσο όρο. Παρόλα αυτά όσον αφορά τα σωματίδια PM<sub>10</sub> παρατηρούμε μια σχετικά καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δυο οργάνων, καθώς μελετώντας τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου η διαφορά μεταξύ των οργάνων είναι μεταξύ των 5-10 µg/m<sup>3</sup>.

### 5.7.3 Σύγκριση οργάνων PurpleAir Envicare-18 με Όργανο AQMesh

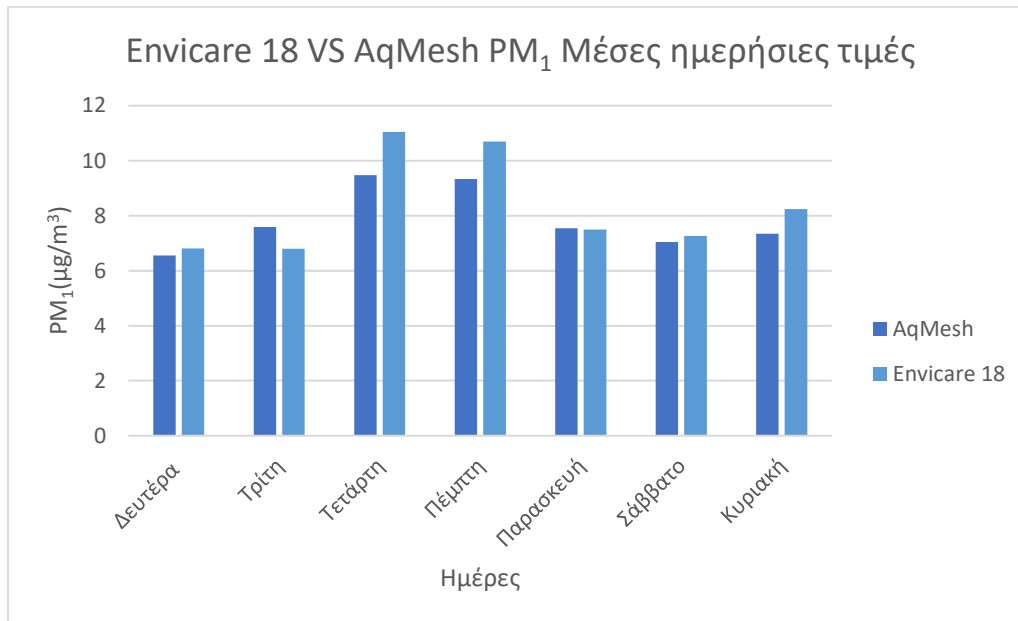


Σχήμα 5.30α: Διακύμανση ρύπου  $PM_1$  μέσω των οργάνων Envicare 18 και AQMesh

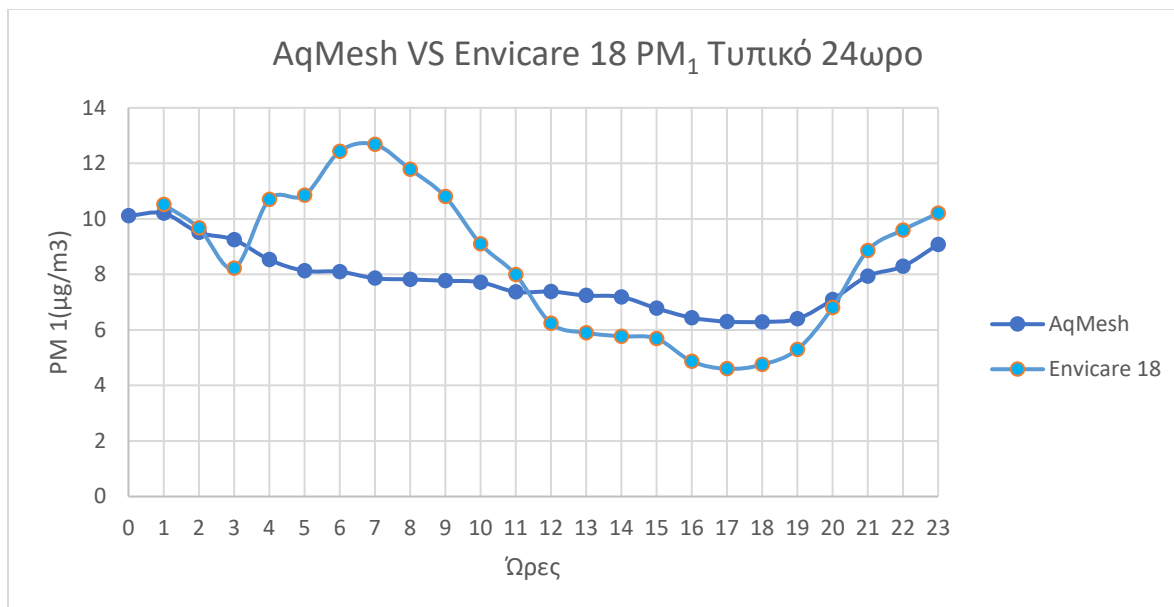


Σχήμα 5.30β: Σύγκριση οργάνων AQMesh με Envicare 18 του ρύπου  $PM_1$  για μέση μηνιαία συγκέντρωση

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

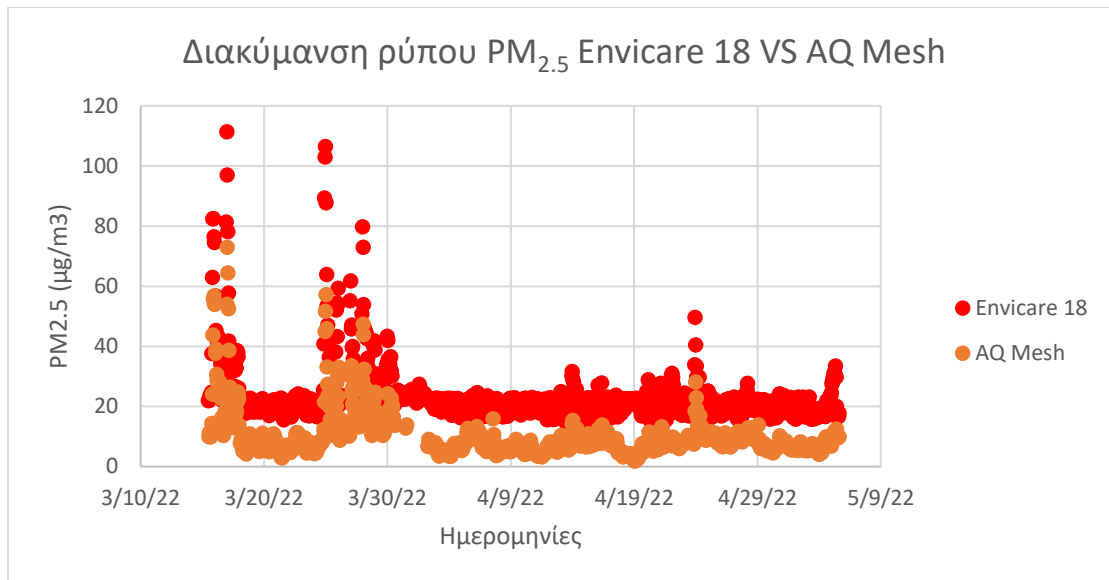


**Σχήμα 5.30γ:** Σύγκριση οργάνων AQMesh και Envicare 18 για την μέση ημερήσια συγκέντρωση του ρύπου PM<sub>1</sub>

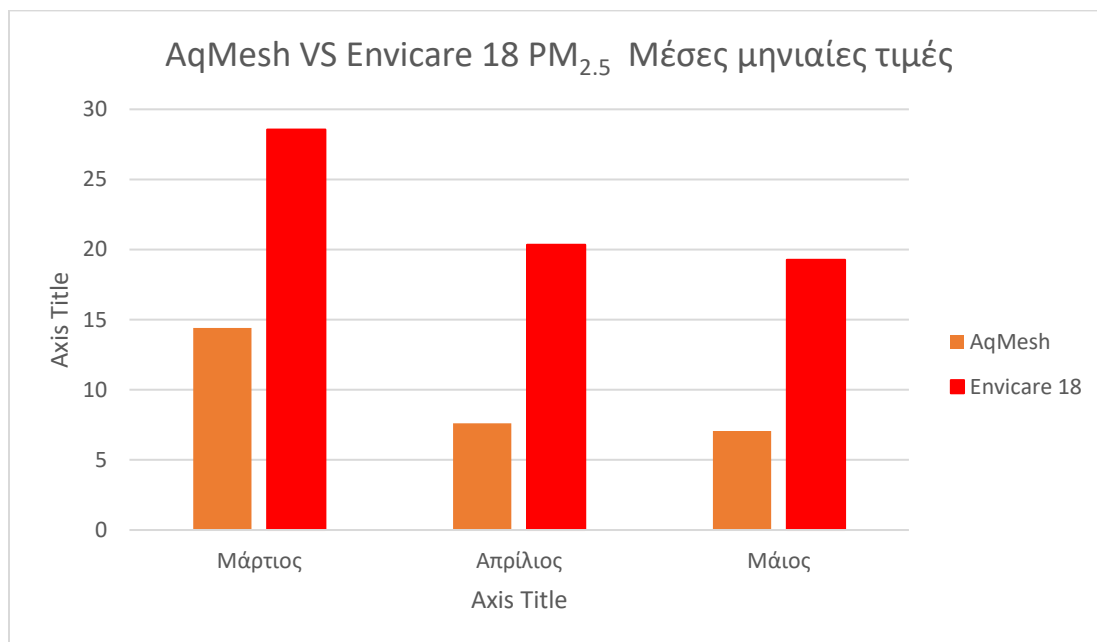


**Σχήμα 5.30δ:** Σύγκριση οργάνων AQMesh και Envicare 18 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>1</sub>

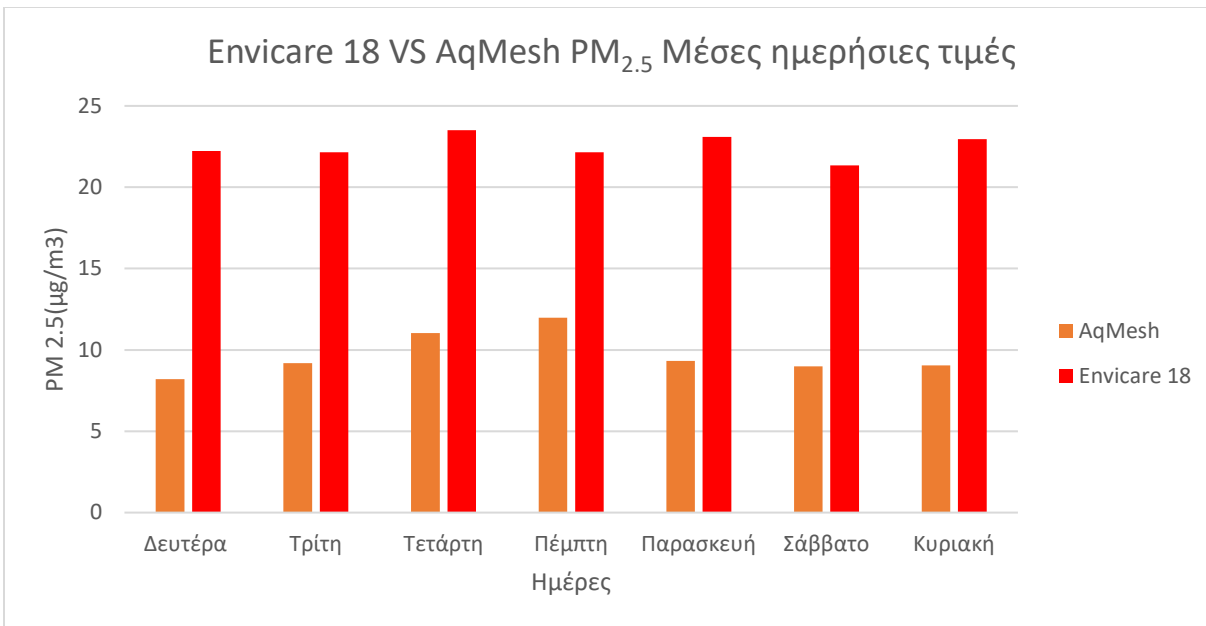
Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



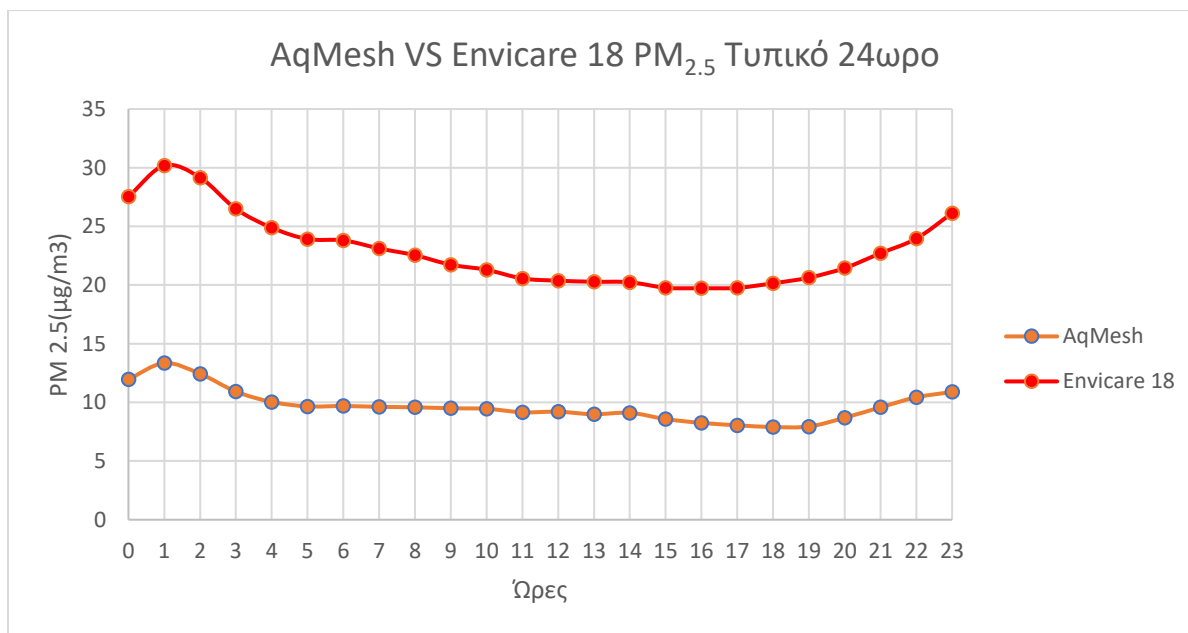
Σχήμα 5.31α: Διακύμανση ρύπου  $PM_1$  μέσω των οργάνων Envicare 18 και AQMesh



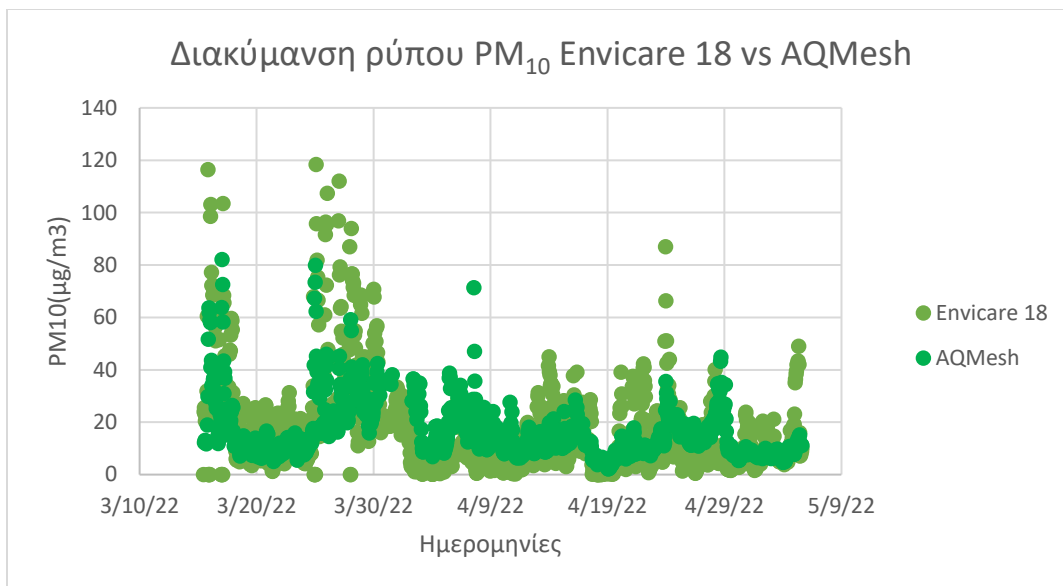
Σχήμα 5.31β: Σύγκριση οργάνων AQMesh με Envicare 18 του ρύπου  $PM_{2.5}$  για μέση μηνιαία συγκέντρωση



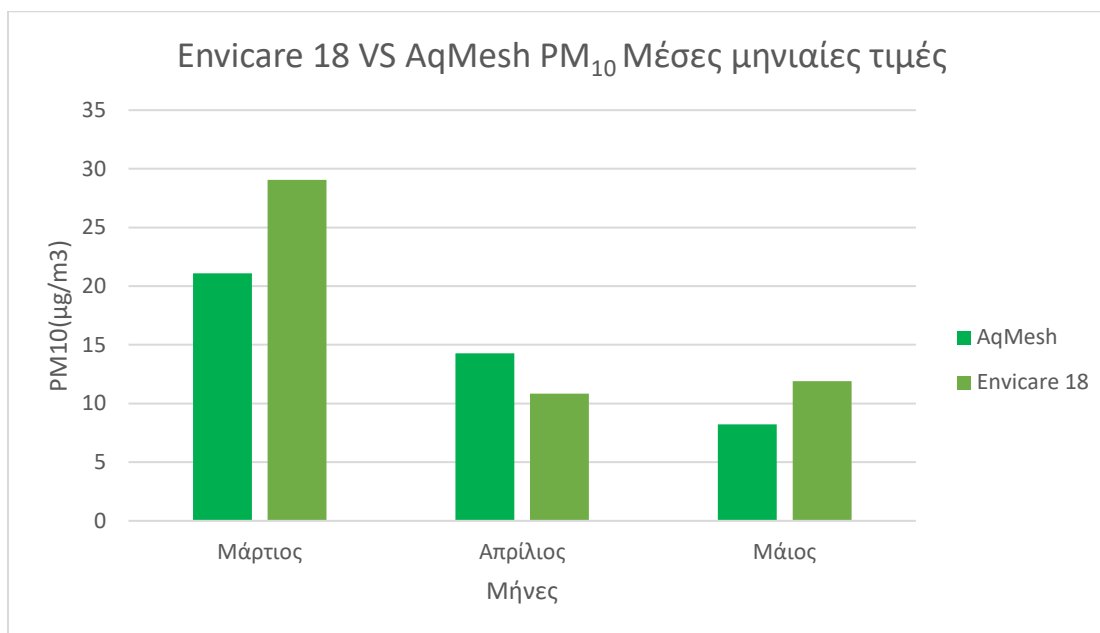
**Σχήμα 5.31γ:** Σύγκριση οργάνων AQMesh και Envicare 18 για την μέση ημερήσια συγκέντρωση του ρύπου PM<sub>2.5</sub>



**Σχήμα 5.31δ:** Σύγκριση οργάνων AQMesh και Envicare 18 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>2.5</sub>

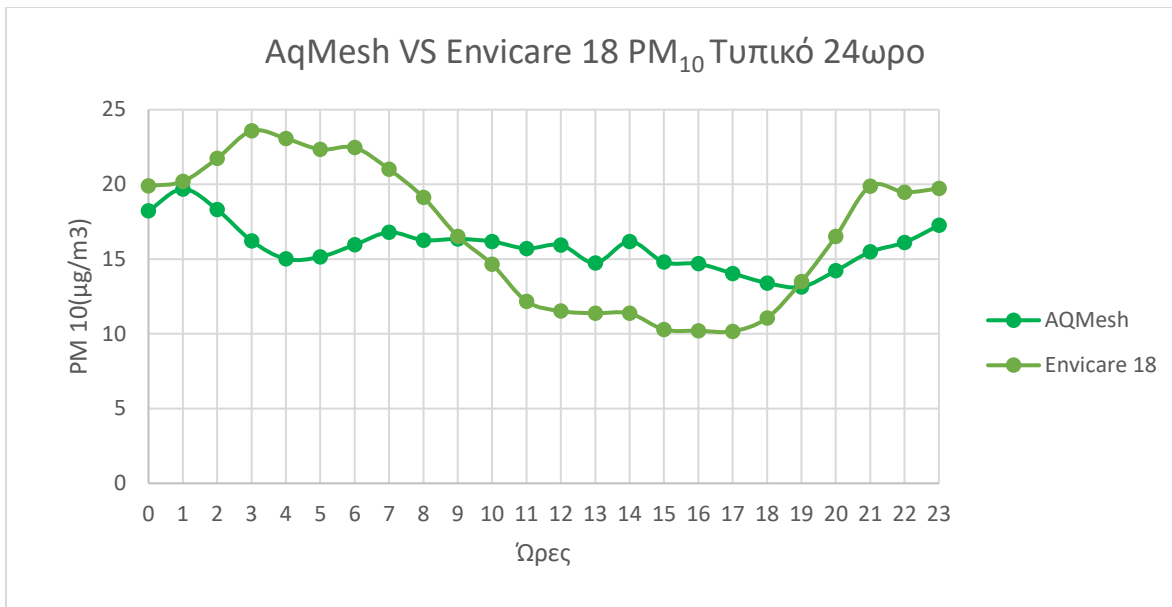


Σχήμα 5.32α: Διακύμανση ρύπου PM<sub>10</sub> μέσω των οργάνων Envicare 18 και AQMesh

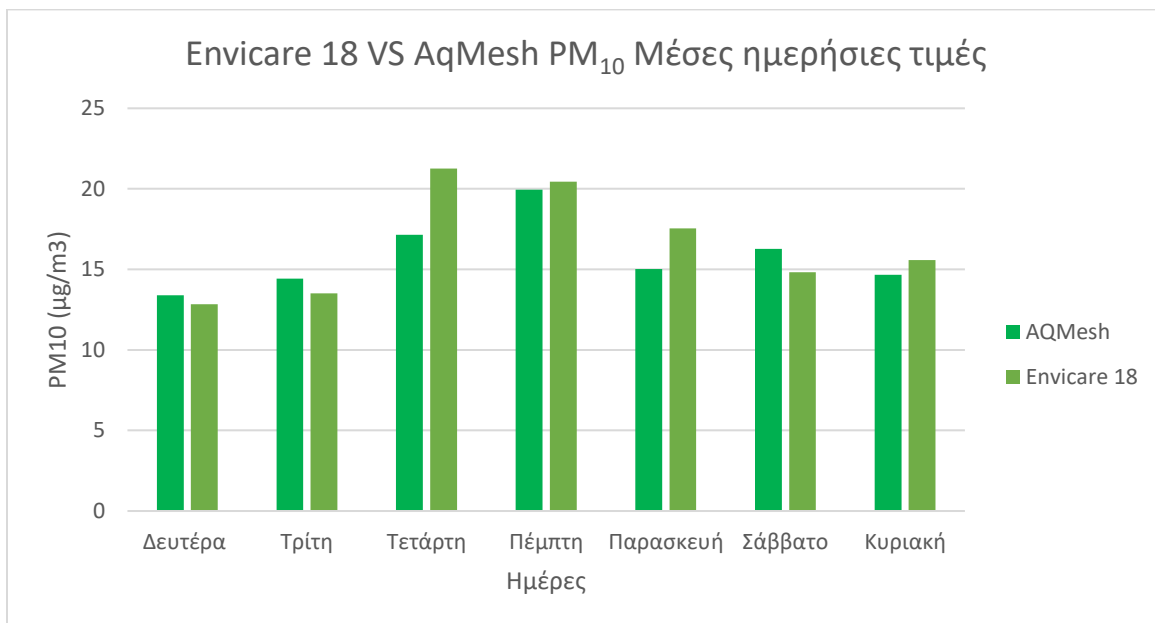


Σχήμα 5.32β: Σύγκριση οργάνων AQMesh με Envicare 18 του ρύπου PM<sub>10</sub> για μέση μηνιαία συγκέντρωση

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας



Σχήμα 5.32γ: Σύγκριση οργάνων AqMesh και Envicare 18 για τυπικό 24ώρο του ρύπου PM<sub>10</sub>



Σχήμα 5.32δ : Σύγκριση οργάνων AqMesh με Envicare 18 του ρύπου PM<sub>10</sub> για μέση ημερήσια συγκέντρωση

**Παρατηρήσεις-Σχόλια για την σύγκριση μεταξύ των οργάνων AqMesh και Envicare 18 PurpleAir**

Όσον αφορά τα PM<sub>1</sub> παρατηρούμε μια πολύ καλή συσχέτιση του ρύπου μεταξύ των οργάνων καθώς οι συγκεντρώσεις που εμφανίζουν τα όργανα είναι πάρα πολύ κοντά μεταξύ τους, με τις διαφορές μεταξύ τους να είναι max 3 µg/m<sup>3</sup>.



Όσον αφορά τους αισθητήρες των δυο οργάνων για τα PM<sub>2.5</sub> παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν συμβαδίζουν, υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μετρήσεων στα δυο όργανα της τάξης των 10-15 µg/m<sup>3</sup>, παρόλα αυτά υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των οργάνων καθώς παρατηρώντας π.χ το διάγραμμα του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε ότι η όποτε αυξάνεται η συγκέντρωση στο ένα όργανο, το ίδιο συμβαίνει και στο άλλο. Η διαφορά μεταξύ τους, μπορεί να οφείλεται στην ιδιαίτερη ευαισθησία που μπορεί να έχει το όργανο Purple Air με αποτέλεσμα να διαβάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Όσον αφορά τους αισθητήρες των οργάνων για τα PM<sub>10</sub> παρατηρούμε μέσω των διαγραμμάτων ότι οι συγκεντρώσεις μεταξύ των οργάνων είναι αρκετά κοντά με τη διαφορά τους να είναι της τάξης 5µg/m<sup>3</sup>. Παρόλα αυτά μελετώντας το διάγραμμα 5.32<sub>γ</sub> του τυπικού 24ώρου παρατηρούμε ότι όποτε αυξάνεται η συγκέντρωση στο ένα όργανο, στο άλλο μειώνεται, όπως είπαμε και προηγουμένως αυτό μπορεί να οφείλεται στην ευαισθησία του οργάνου καθώς και το σημείο που έχει τοποθετηθεί.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σύγκριση που έγινε μεταξύ των οργάνων ήταν για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (συνολικά 2 μήνες) όποτε τα αποτελέσματα δεν είναι απολύτως αντιπροσωπευτικά.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> :Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε η προσπάθεια να αποτυπώσουμε την ποιότητα της ατμόσφαιρας που επικρατεί στο κέντρο της Αθήνας με τη χρήση μόνο ηλεκτροχημικών συσκευών χαμηλού κόστους. Στόχος μας ήταν να δούμε εάν είναι εφικτό να εμπιστευτούμε τέτοιες συσκευές για κάτι τόσο σημαντικό όπως είναι η υγεία του ανθρώπου, καθώς και να γίνει αξιολόγηση των διαφορετικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν.

Για την περάτωση της μελέτης της ποιότητας της ατμόσφαιρας επιλέχθηκαν τρεις περιοχές μελέτης οι δυο στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας, συγκεκριμένα στις οδούς Περικλέους και Πορίνου όπου αντίστοιχα η πρώτη βρίσκεται δίπλα από τον εμπορικότερο δρόμο της Αθήνας όπου είναι η Ερμού και η δεύτερη περιοχή εντοπίζεται δίπλα από το μετρό της Ακρόπολης και δίπλα από τη Λεωφόρο Συγγρού, η 3<sup>η</sup> μελέτη περιοχής είναι η πανεπιστημιούπολη 2 του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα. Αρχικά όσον αφορά τα όργανα (PurpleAir, Libelium, AQMesh), παρατηρήσαμε ότι δεν υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία σχετικά με τα όργανα Libelium παρά το γεγονός ότι προϋπάρχουν των άλλων 2, αυτό ίσως οφείλεται στο κόστος αυτών, καθώς και στην αξιοπιστία που εμφανίζουν. Όσον αφορά στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα που λάβαμε από τα όργανα Libelium ήταν άκρως απογοητευτικά αν αναλογιστεί ειδικά κάποιος το κόστους τους. Αρχικά παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις διόρθωσης για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων, τα όργανα δεν ήταν ικανά να μετρήσουν τους ρύπους SO<sub>2</sub> NO<sub>2</sub> O<sub>3</sub> CO καθώς η πλειοψηφία των μετρήσεων είτε θα ήταν μηδενικές ή οι συγκεντρώσεις που θα λαμβάναμε θα ήταν εξωπραγματικές, για αυτό το λόγο απορρίψαμε ότι μετρήσεις λάβαμε για αυτούς τους ρύπους. Στη συνέχεια κάναμε έλεγχο για τα Αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) όπου έγινε η σύγκριση τους με τα αντίστοιχα όργανα της PurpleAir που ήταν τοποθετημένα στις ίδιες περιοχές μελέτης. Εκεί διαπιστώσαμε ότι το όργανο υποεκτιμά κατά πολύ τις συγκεντρώσεις σε

σχέση με τα όργανα της PurpleAir καθώς και με όργανα αναφοράς όπου έγινε έλεγχος για να δούμε εάν οι μετρήσεις που λάβαμε και από τα όργανα της PurpleAir είναι σωστές. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι για ένα εύλογο χρονικό διάστημα και οι 2 συσκευές της Libelium σταμάτησαν να λειτουργούν. Για αυτούς τους λόγους λοιπόν θεωρήσαμε ότι τα δεδομένα από τα όργανα της Libelium δεν είναι αξιόπιστα για να μπορέσουμε να τα σχολιάσουμε. Όσον αφορά τα υπόλοιπα δυο όργανα στη σύγκριση μεταξύ των οργάνων PurpleAir και AQMesh παρατηρήσαμε για τους αισθητήρες των  $PM_1$  και  $PM_{2.5}$  μια πάρα πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των οργάνων καθώς η διαφοράς στις συγκεντρώσεις μεταξύ των οργάνων δεν υπερβαίνανε τα  $5\mu g/m^3$ . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που λάβαμε και από τα δυο όργανα ήταν αρκετά ικανοποιητικά, καθώς και να σημειωθεί ότι τα όργανα της AQMesh κατάφερε να δώσει ικανοποιητικές μετρήσεις για όλους τους αισθητήρες ( $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ) καθώς οι μετρήσεις ήταν αρκετά κοντά με αυτές από την ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας για το 2022. ('ΕΤΗΣΙΑ-ΕΚΘΕΣΗ-2022.pdf', 2023).

Όσον αφορά τις περιοχές μελέτης, συμπεραίνουμε ότι από τις τρεις αυτή η οποία έχει την πιο επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα είναι αυτή στην Περικλέους δίπλα από την Ερμού και πολύ κοντά στην πλατεία Συντάγματος.

Μελετώντας κάποιος την περιοχή αλλά και την τοποθεσία του οργάνου, μπορούμε να συμπεραίνουμε ότι το μαγαζί Vegan beat Athens που βρίσκεται ακριβώς δίπλα από το όργανο επιβαρύνει το όργανο μέσω των ρύπων που δημιουργούν οι ψησταριές του μαγαζιού. Μελετώντας τα διαγράμματα πιο προσεκτικά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι κατά τους χειμερινούς μήνες εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, κάτι το οποίο υποδηλώνει και την εποχικότητα του, παράγοντες όπως ότι οι πολίτες χρησιμοποιούν τα ΙΧ τους περισσότερο εκείνη την περίοδο αντί της δημόσιας συγκοινωνίας, καθώς και σημαντικό ρόλο παίζει η χρήση καυσίμων για την θέρμανση των σπιτιών. Επίσης παρατηρούμε ότι κυρίως τις ημέρες Παρασκευή, Σάββατο και Κυριακή εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις και πιο συγκεκριμένα τις βραδινές ώρες μεταξύ (7μ.μ-10μ.μ) καθώς τότε ο περισσότερος κόσμος δεν δουλεύει οπότε παρατηρούμε και την έντονη κινητικότητα στους δρόμους, όπου έχει ως αποτέλεσμα η ψησταριά να δουλεύει σε μεγαλύτερους ρυθμούς και να παράγει περισσότερη ρύπανση. Μέσω των διαγραμμάτων συμπεραίνουμε επίσης ότι από τους τρεις ρύπους αυτός που επικρατεί περισσότερο και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα είναι τα σωματίδια  $PM_{2.5}$  με τους μήνες Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο να εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καθώς και οι περισσότερες υπερβάσεις του ορίου συναγερμού.

Όσον αφορά την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Πορίνου, όπου το όργανο βρίσκεται δίπλα στο μέτρο της Ακρόπολης και την λεωφόρο Συγγρού, παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις είναι σε λίγο καλύτερα επίπεδα από ότι της Περικλέους, με τον ρύπο που επικρατεί περισσότερο πάλι να είναι τα σωματίδια  $PM_{2.5}$ . Πάλι παρατηρούμε ότι οι μήνες με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι κατά κύριο λόγο οι μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος το οποίο οφείλεται στην εποχικότητα του ρύπου και λόγω ότι κατά εκείνους τους μήνες επικρατεί περισσότερο κρύο, οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες. Επίσης μέσα στο 24ώρο παρατηρούμε ότι η αυξητική τάση στην συγκέντρωση ξεκινάει και για τους τρεις ρύπους μετά της

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

4μ.μ όπου υπάρχει εντονότερη συμφόρηση στην λεωφόρο Συγγρού καθώς εκείνη την ώρα ο περισσότερος κόσμος σχολάει από τις δουλειές του και γυρνάει σπίτι του.

Η μελέτη περιοχής της πανεπιστημιούπολης 2 του πανεπιστημίου δυτικής Αττικής παρατηρούμε ότι από τις τρεις είναι αυτή η οποία εμφανίζει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις, καθώς εμφανίζει τις λιγότερες υπερβάσεις σε σχέση με τα προηγούμενα δυο όργανα και οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται εντός ορίων.

Συνοψίζοντάς λοιπόν έπειτα την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και των τριών οργάνων καθώς και από την αντίστοιχη βιβλιογραφία όπου υπάρχει και τις έρευνες που έχουν γίνει στα αντίστοιχα όργανα, ότι αυτά της PurpleAir παρέχουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα έχοντας υπόψη και το κόστος τους. Παρόλα αυτά η χρήση τους προτείνεται μόνο για την προσωπική ενημέρωση του κάθε πολίτη για την ποιότητα της ατμόσφαιρας της περιοχής όπου θα θέλει να επισκεφτεί, και αν διατρέχει κάποιο πρόβλημα υγείας θα πρέπει να διατρέξει σε επίσημους φορείς όπου παρακολουθούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Μερικά μέτρα τα οποία προτείνονται για την καταπολέμηση του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τα εξής:

- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την αποφυγή εκπομπής Αιωρούμενων σωματιδίων
- Η παρότρυνση στον κόσμο να χρησιμοποιεί τα μέσα μαζικής μεταφοράς, ενισχύοντας τον στόλο των οχημάτων σε ποσότητα για να υπάρχουν περισσότερα δρομολόγια καθώς και σε οχήματα πιο φιλικά προς το περιβάλλον τα οποία θα είναι είτε ηλεκτρικά ή να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ή βιοκαύσιμο.
- Η επιβολή προστίμων σε περιπτώσεις που κάποια χώρα δεν τηρεί τα θεσμοθετημένα όρια των συγκεντρώσεων που υπερβαίνονται.
- Επιδοτήσεις για αγορές ηλεκτρικών αυτοκινήτων
- Η σωστή ενημέρωση των πολιτών όσον αφορά την ποιότητα της ατμόσφαιρας που επικρατεί σε μια περιοχή, μέσω των διαφόρων βάσεων δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

## Βιβλιογραφία

'2022\_NIR\_Greece.pdf' (no date). Available at: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/04/2022\\_NIR\\_Greece.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2022/04/2022_NIR_Greece.pdf) (Accessed: 25 April 2023).

*About AirNow | AirNow.gov* (2023). AirNow.gov, U.S. EPA. Available at: <https://www.airnow.gov/about-airnow> (Accessed: 5 June 2023).

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2021a) *Lead | Toxic Substances | Toxic Substance Portal | ATSDR*. Available at: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=22> (Accessed: 7 April 2023).

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2021b) *Nitrogen Oxides | Toxic Substances | Toxic Substance Portal | ATSDR*. Available at: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/substances/ToxSubstance.aspx?toxid=69> (Accessed: 7 April 2023).

Ajibola, A.-R.A. (2018) '(PDF) CLIMATE CHANGE Causes, Effects and Solutions'. Available at: [https://www.academia.edu/39019152/\\_PDF\\_CLIMATE\\_CHANGE\\_Causes\\_Effects\\_and\\_Solutions](https://www.academia.edu/39019152/_PDF_CLIMATE_CHANGE_Causes_Effects_and_Solutions) (Accessed: 21 April 2023).

Borrego, C. *et al.* (2015) 'Challenges for a New Air Quality Directive: The role of monitoring and modelling techniques', *Urban Climate*, 14, pp. 328–341. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.06.007>.

Borrego, C. *et al.* (2016) 'Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise', *Atmospheric Environment*, 147, pp. 246–263. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.050>.

Castell, N. *et al.* (2013) 'ETC/ACM Technical Paper 2013/16'.

Castell, N. *et al.* (2017) 'Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?', *Environment International*, 99, pp. 293–302. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>.

Castell, N. *et al.* (2018) 'Localized real-time information on outdoor air quality at kindergartens in Oslo, Norway using low-cost sensor nodes', *Environmental Research*, 165, pp. 410–419. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.019>.

Cirilley, L.R. *et al.* (2018) 'Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring', *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(2), pp. 709–720. Available at: <https://doi.org/10.5194/amt-11-709-2018>.

Cross, E.S. *et al.* (2017) 'Use of electrochemical sensors for measurement of air pollution: correcting interference response and validating measurements', *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(9), pp. 3575–3588. Available at: <https://doi.org/10.5194/amt-10-3575-2017>.

De Vito, S. *et al.* (2020) 'On the robustness of field calibration for smart air quality monitors', *Sensors and Actuators B: Chemical*, 310, p. 127869. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127869>.

## Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

EEA (2022) *Sources and emissions of air pollutants in Europe* — European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/sources-and-emissions-of-air> (Accessed: 18 April 2023).

EEA (2023a) *Classification of monitoring stations and criteria to include them in EEA's assessments products* — European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/classification-of-monitoring-stations-and> (Accessed: 5 May 2023).

EEA (2023b) *Industrial pollutant releases to air in Europe*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/ims/industrial-pollutant-releases-to-air> (Accessed: 7 June 2023).

EEA (2023c) *Industry*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/industry> (Accessed: 7 June 2023).

EEA (2023d) *Transport and mobility*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/transport-and-mobility> (Accessed: 20 April 2023).

EEA (2023e) *What is the current state of the ozone layer?* Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-mitigation-reducing-emissions/current-state-of-the-ozone-layer> (Accessed: 26 April 2023).

Environmental Pollution Centers (2019) *What Is Air Pollution | Environmental Pollution Centers*. Available at: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/> (Accessed: 4 April 2023).

Environmental Pollution Centers (2023) *Volatile Organic Compounds (VOCs) Pollution | Environmental Pollution Centers*. Available at: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/vocs/> (Accessed: 13 April 2023).

European Commission (2019) *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION The European Green Deal*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640> (Accessed: 25 April 2023).

European Commission (2023a) *Air*. Available at: [https://environment.ec.europa.eu/topics/air\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en) (Accessed: 8 June 2023).

European Commission (2023b) *Air pollution from key sectors*. Available at: [https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-pollution-key-sectors\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-pollution-key-sectors_en) (Accessed: 13 April 2023).

European Commission (no date) *Monitoring, reporting and verification of EU ETS emissions*. Available at: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/monitoring-reporting-and-verification-eu-ets-emissions\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/monitoring-reporting-and-verification-eu-ets-emissions_en) (Accessed: 11 April 2023).

European Council of the European Union (2023a) *Fit for 55: Μετάβαση από το ορυκτό αέριο σε ανανεώσιμα αέρια και αέρια χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών*. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/fit-for-55-hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package-explained/> (Accessed: 7 June 2023).

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

European Council of the European Union (2023b) *Fit for 55: Μεταρρύθμιση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ*. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/> (Accessed: 8 June 2023).

European Council of the European Union (2023c) *Fit for 55: Πώς προτίθεται η ΕΕ να αντιμετωπίσει τις εκπομπές εκτός της ΕΕ*; Available at: <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/fit-for-55-cbam-carbon-border-adjustment-mechanism/> (Accessed: 7 June 2023).

European Council of the European Union (2023d) *Industrial emissions*. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/industrial-emissions/> (Accessed: 7 June 2023).

European Parliament, G.A. (2022) *Combating climate change | Fact Sheets on the European Union | European Parliament*. Available at: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/72/καταπολεμηση-της-κλιματικης-αλλαγης> (Accessed: 23 April 2023).

European Space Agency (2013) *ESA - Eduspace EN - Global Change - Air Pollution*. European Space Agency. Available at: [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Global\\_EN/SEMBPKOSAKF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_EN/SEMBPKOSAKF_0.html) (Accessed: 10 October 2023).

European Union Earth Observation Programme (2019) 'What is Copernicus'. Available at: [https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2019-09/Brochure\\_Copernicus\\_2019%20updated.pdf](https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2019-09/Brochure_Copernicus_2019%20updated.pdf) (Accessed: 6 August 2023).

'FEK488B\_KYA14122.pdf' (no date). Available at: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Perivallon/Poiotita%20Atmosfairas/Nomothesia/FEK488B\\_KYA14122.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Perivallon/Poiotita%20Atmosfairas/Nomothesia/FEK488B_KYA14122.pdf) (Accessed: 26 April 2023).

Hagan, D.H. *et al.* (2018) 'Calibration and assessment of electrochemical air quality sensors by co-location with regulatory-grade instruments', *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(1), pp. 315–328. Available at: <https://doi.org/10.5194/amt-11-315-2018>.

Hassani, A. *et al.* (2023) 'Citizen-operated mobile low-cost sensors for urban PM2.5 monitoring: field calibration, uncertainty estimation, and application', *Sustainable Cities and Society*, 95, p. 104607. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104607>.

Hilary Costa Hilary Costa, K.R., Melissa McDaniel, Santani Teng, Hilary Hall, Erin Sprout, Jeff Hunt, Diane Boudreau (2022) 'Air Pollution', *National Geographic*, 7 January. Available at: <https://education.nationalgeographic.org/resource/air-pollution> (Accessed: 4 April 2023).

IEA (2022) *Transport – Analysis*, IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/transport> (Accessed: 17 April 2023).

IEA (2023) *CO2 Emissions in 2022 – Analysis*, IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022> (Accessed: 18 April 2023).

IEA, S.Y. (2022) *Transport*, IEA. Available at: <https://www.iea.org> (Accessed: 15 April 2023).

Jerrett, M. *et al.* (2017) 'Validating novel air pollution sensors to improve exposure estimates for epidemiological analyses and citizen science', *Environmental Research*, 158, pp. 286–294. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.023>.

Jiao, W. *et al.* (2016) 'Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States', *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(11), pp. 5281–5292. Available at: <https://doi.org/10.5194/amt-9-5281-2016>.

Laurent Spinelle *et al.* (2016) 'Evaluation of metal oxides sensors for the monitoring of O<sub>3</sub> in ambient air at ppb level', *Chemical Engineering Transactions*, 54, pp. 319–324. Available at: <https://doi.org/10.3303/CET1654054>.

Lewis, A. and Edwards, P. (2016) 'Validate personal air-pollution sensors', *Nature*, 535(7610), pp. 29–31. Available at: <https://doi.org/10.1038/535029a>.

Lewis, A.C. *et al.* (2016) 'Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research', *FARADAY DISCUSSIONS*, 189, pp. 85–103. Available at: <https://doi.org/10.1039/C5FD00201J>.

Lewis, A.C. (2018) 'Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications'.

Lin, C. *et al.* (2015) 'Evaluation and calibration of Aeroqual series 500 portable gas sensors for accurate measurement of ambient ozone and nitrogen dioxide', *Atmospheric Environment*, 100, pp. 111–116. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.002>.

Mead, M.I. *et al.* (2013) 'The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks', *Atmospheric Environment*, 70, pp. 186–203. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>.

Moltchanov, S. *et al.* (2015) 'On the feasibility of measuring urban air pollution by wireless distributed sensor networks', *Science of The Total Environment*, 502, pp. 537–547. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.059>.

Morawska, L. *et al.* (2018) 'Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?', *Environment International*, 116, pp. 286–299. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>.

Peterson, P. *et al.* (2017) 'Practical Use of Metal Oxide Semiconductor Gas Sensors for Measuring Nitrogen Dioxide and Ozone in Urban Environments', *Sensors*, 17(7), p. 1653. Available at: <https://doi.org/10.3390/s17071653>.

PurpleAir (2023) *Our Technology - PurpleAir Laser Particle Counters & Arduinos*, PurpleAir, Inc. Available at: <https://www2.purpleair.com/pages/technology> (Accessed: 22 August 2023).

Rai, A.C. *et al.* (2017) 'End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring', *Science of The Total Environment*, 607–608, pp. 691–705. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266>.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Sher, E. (1998) 'Chapter 2 - Environmental Aspects of Air Pollution', in E. Sher (ed.) *Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines*. San Diego: Academic Press, pp. 27–41. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-012639855-7/50041-7>.

Snyder, E.G. *et al.* (2013) 'The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring', *Environmental Science & Technology*, 47(20), pp. 11369–11377. Available at: <https://doi.org/10.1021/es4022602>.

Spinelle, L., Gerboles, M. and Aleixandre, M. (2015) 'Performance Evaluation of Amperometric Sensors for the Monitoring of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> in Ambient Air at ppb Level', *Procedia Engineering*, 120, pp. 480–483. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.676>.

Spyropoulos, G., Nastos, P. and Moustris, K. (2021) 'Performance of Aether Low-Cost Sensor Device for Air Pollution Measurements in Urban Environments. Accuracy Evaluation Applying the Air Quality Index (AQI)', *Atmosphere*, 12, p. 1246. Available at: <https://doi.org/10.3390/atmos12101246>.

Spyropoulos Georgios (2022) *Η Συμβολή της Ηλεκτροκίνησης που Βασίζεται σε Ήπιες Μορφές Ενέργειας στη Βελτιστοποίηση της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος και των Βιοκλιματικών Συνθηκών. Μοντελοποίηση των Επιπτώσεων σε Αστικό Περιβάλλον, Πολιτικές και Δράσεις. Διδακτορική Διατριβή.*

Stavroulas, I. *et al.* (2020) 'Field Evaluation of Low-Cost PM Sensors (Purple Air PA-II) Under Variable Urban Air Quality Conditions, in Greece', *Atmosphere*, 11(9), p. 926. Available at: <https://doi.org/10.3390/atmos11090926>.

SUGATO GHOSH (2012) *DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT MEMS BASED PORTABLE GAS SENSOR ARRAY FOR MANHOLE GAS MIXTURE DETECTION AND ANALYSIS*. JADAVPUR UNIVERSITY.

United Nations (1992) 'UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE'.

University Corporation for Atmospheric Research (2015) *Layers of Earth's Atmosphere | Center for Science Education*. Available at: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/layers-earths-atmosphere> (Accessed: 25 April 2023).

University Corporation for Atmospheric Research (2021) *What is the Atmosphere? | Center for Science Education*. Available at: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/what-is-atmosphere> (Accessed: 25 April 2023).

US EPA, O. (2015a) *Health Effects of Ozone Pollution*. Available at: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution> (Accessed: 8 April 2023).

US EPA, O. (2015b) *Managing Air Quality - Ambient Air Monitoring*. Available at: <https://www.epa.gov/air-quality-management-process/managing-air-quality-ambient-air-monitoring> (Accessed: 4 May 2023).

US EPA, O. (2016a) *Basic Information about Lead Air Pollution*. Available at: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/basic-information-about-lead-air-pollution> (Accessed: 7 April 2023).

US EPA, O. (2016b) *Basic Information about NO<sub>2</sub>*. Available at: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2> (Accessed: 7 April 2023).



Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

USEPA (2013) 'DRAFT Roadmap for Next Generation Air Monitoring'.

Wahlborg, D., Björling, M. and Mattsson, M. (2021) 'Evaluation of field calibration methods and performance of AQMesh, a low-cost air quality monitor', *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), p. 251. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09033-x>.

Wang, C. *et al.* (2010) 'Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors', *Sensors*, 10(3), pp. 2088–2106. Available at: <https://doi.org/10.3390/s100302088>.

Wetchakun, K. *et al.* (2011) 'Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases', *Sensors and Actuators B: Chemical*, 160(1), pp. 580–591. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.08.032>.

Wikipedia (2023) 'Μεταφορές', *Βικιπαίδεια*. Available at: <https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AD%CF%82&oldid=9971514> (Accessed: 18 April 2023).

Williams, D.E. *et al.* (2009) 'DEVELOPMENT OF LOW-COST OZONE AND NITROGEN DIOXIDE MEASUREMENT INSTRUMENTS SUITABLE FOR USE IN AN AIR QUALITY MONITORING NETWORK'.

World Health Organization (2023) *Air pollution*. Available at: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution> (Accessed: 10 October 2023).

WWF (2022) *Ambient (outdoor) air pollution*. Available at: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Accessed: 31 March 2023).

WWF (2023a) *Types of pollutants*. Available at: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants> (Accessed: 7 April 2023).

WWF (2023b) *Volcanic eruptions*, *World Health Organization*. Available at: <https://www.who.int/health-topics/volcanic-eruptions> (Accessed: 6 April 2023).

WWF (2023c) *ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*. Available at: [https://www.wwf.gr//ti\\_kanoume/klimatiki\\_krisi\\_kai\\_energeia/](https://www.wwf.gr//ti_kanoume/klimatiki_krisi_kai_energeia/) (Accessed: 21 April 2023).

Xie, X. *et al.* (2017) 'A Review of Urban Air Pollution Monitoring and Exposure Assessment Methods', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), p. 389. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120389>.

Εμμανουέλλα Ρεμουντάκη (2010) 'Οδηγός για το περιβάλλον "Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση'. wwf. Available at: [https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas\\_Odigos%20gia%20to%20perivallon\\_Aeras.pdf](https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas_Odigos%20gia%20to%20perivallon_Aeras.pdf).

'ΕΤΗΣΙΑ-ΕΚΘΕΣΗ-2022.pdf' (no date). Available at: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/06/%CE%95%CE%A4%CE%97%CE%A3%CE%99%CE%91-%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-2022.pdf> (Accessed: 13 September 2023).

ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ Κ.ΙΩΑΝΝΗΣ, Χ.Ι.Κ. (2005) *ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ*. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ.

Μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Καμπεζίδης, Χ, Μ., Χ. (2004) *Διαχείριση αέριων ρύπων: Ατμοσφαιρικοί ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους*.

‘Οδηγός λήψης δεδομένων PurpleAir.pdf’ (no date).

Ροδάνας, Δημήτριος-Μιχαήλ (2022) *Investigation of suspended particles levels inside the stations and trains of Athens Metro*. University of West Attica.

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας (2020) ‘Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης -’.  
Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/dedomena-metriseon-atmosfairikis-ryransis/> (Accessed: 25 May 2023).

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας (2023a) ‘Αιθαλομίχλη -’, 6 April. Available at:  
<https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/aithalomichli/> (Accessed: 6 April 2023).

Υπουργείο Περιβάλλοντος και ενέργειας (2023) ‘Νομοθεσία -’, 11 April. Available at:  
<https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/nomothesia/> (Accessed: 11 April 2023).

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας (2023b) ‘Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών -’, 11 April. Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/systima-eborias-dikaiomaton-ekpobon/> (Accessed: 11 April 2023).

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας, Κ.Α.Π.Ε. (2021) ‘Στόχοι’, *FQD652*, 30 March. Available at:  
<https://fuelreport652.gr/στοχοι/> (Accessed: 18 April 2023).