



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**"ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ"**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΡΟΥΜΠΕΤΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΑΙΓΑΛΕΩ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να απεικονίσει με το βέλτιστο τρόπο την ατμοσφαιρική ρύπανση στο κέντρο της Αθήνας. Αυτό έγινε πράξη μέσω του εξοπλισμού και της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε, πρώτα με το κινητό εργαστήριο και στη συνέχεια με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους. Συγκεκριμένα, με το κινητό εργαστήριο έγινε ολόημερη μέτρηση στο Μοναστηράκι, ενώ με τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες πραγματοποιήθηκαν 10 ημερήσιες μετρήσεις, όπου η κάθε ημέρα περιλάμβανε τρεις διαδρομές (πρωί, μεσημέρι, βράδυ) στο Κέντρο της Αθήνας. Τα σημεία μετρήσεων ήταν% το Θησείο, η Ακρόπολη, η Πύλη του Αδριανού, το Σύνταγμα, η Ερμού και Ευαγγελιστρίας και το Μοναστηράκι, ενώ οι μετρούμενοι ρύποι είναι οι PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, CO, SO₂, NO₂, O₃ καθώς επίσης και οι παράμετροι θερμοκρασία, υγρασία, πίεση. Έπειτα από την ανάλογη επεξεργασία δημιουργήθηκαν διαγράμματα και χάρτες για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Στα τελικά συμπεράσματα έπαιξε άμεσο ρολό η ρύπανση που παράγεται από την αυξημένη κίνηση της περιοχής, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπανσης στην Πύλη του Αδριανού.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ατμοσφαιρική ρύπανση, ηλεκτροχημικοί αισθητήρες, χαμηλού κόστους αισθητήρες, μέτρηση ρύπανσης, αποτύπωση και χαρτογράφηση, αιωρούμενα σωματίδια

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to optimally reflect air pollution in the center of Athens. This was done with the equipment and methodology used first with the mobile laboratory and then with the low cost electrochemical sensors. Specifically, with the mobile laboratory, an all-day measurement was performed in Monastiraki, while with the electrochemical sensors 10 daily measurements were performed, where each day included three routes (morning, noon, evening) in the Center of Athens. The measuring points were Thissio, the Acropolis, Hadrian's Gate, Syntagma, Ermou and Evangelistria and Monastiraki, while the measured pollutants are PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, CO, SO₂, NO₂, O₃ as well as the parameters temperature, humidity, pressure. After the appropriate processing, diagrams and maps were created for a better understanding of the results. The pollution produced by the increased traffic in the area, was a key factor in the final conclusions, resulting in the highest pollutant concentration at the Hadrian's Gate.

KEY WORDS: Air quality, low cost sensors, monitoring air pollution, electrochemical sensors, CO, particulate matter

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	2
1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	5
1.1 Ορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης	5
1.2 Βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι	5
1.3 Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία	8
1.4 Επίδραση της κακής ποιότητας στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον	10
1.5 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα	14
2. ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	16
2.1 Σταθεροί σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων	16
2.1.1 Σύνθεση και λειτουργία των σταθερών σταθμών	18
2.1.2 Σημεία εφαρμογής τους στην Αττική	18
2.1.3 Η Σημαντικότητα της ύπαρξης των σταθμών καταγραφής αέριας ρύπανσης	22
2.2 Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους	24
2.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας	25
2.3 Ανασκόπησή κύριων χαρτών αποτύπωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης	26
2.4 Εφαρμογές μετρήσεων με αισθητήρες χαμηλού κόστους	35
3. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	36
3.1 Μετρήσεις με τον εξοπλισμό του κινητού εργαστήριου (βαν)	36
3.1.1 Περιγραφή του εξοπλισμού του κινητού εργαστήριου	37
3.1.2 Περιγραφή αναλυτών	38
3.1.3 Σύνδεση αναλυτών με τα πνευματικά συστήματα	43
3.1.4 Σύνδεση αναλυτών με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή	43
3.1.5 Λειτουργία προγράμματος WinAQMS	44
3.2 Διαδικασία και μέθοδος καταγραφής μετρήσεων με το κινητό εργαστήριο	45
3.2.1 Ενέργειες επιλογής σημείου στάθμευσης	45
3.2.2 Ανάλυση απαραίτητων εγκρίσεων για την στάθμευση και ηλεκτροδότηση	46
3.2.3 Εγκατάσταση οργάνων και λειτουργία του μετρητικού εξοπλισμού	46
4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	49
4.1 Περιγραφή του εξοπλισμού των ηλεκτροχημικών αισθητήρων Libelium	49
4.1.1 Κεντρικό σώμα συσκευής	50

4.1.2 Περιγραφή των αισθητήρων και της εφαρμογής τους.....	52
4.1.3 Ανάλυση αισθητήρα μέτρησης σωματιδίων.....	55
4.1.4 Διάταξη μπαταρίας και φωτοβολταϊκού.....	56
4.2 Διαδικασία και μέθοδος καταγραφής μετρήσεων με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους.....	58
4.2.1 Ανάλυση της δοκιμαστικής διαδικασίας σωστής λειτουργίας των οργάνων χαμηλού κόστους.....	58
4.2.2 Διαδικασία μετρήσεων με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες στο κέντρο της Αθήνας.....	60
5. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ.....	64
5.1 Σύγκριση δεδομένων χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικών αισθητήρων με όργανα ακριβείας Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος.....	64
5.1.1 Επεξεργασία μετρήσεων.....	65
5.1.2 Σύγκριση και αποτύπωση δεδομένων.....	65
5.1.3 Συμπεράσματα σύγκρισης των οργάνων χαμηλού κόστους με τα όργανα ακριβείας του εθνικού αστεροσκοπείου.....	69
5.2 Σύγκριση δεδομένων κινητού εργαστήριου με χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες με όργανα ακριβείας Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος.....	69
5.2.1 Επεξεργασία μετρήσεων και αποτύπωση συγκρινόμενων δεδομένων.....	69
5.2.2 Συμπεράσματα.....	72
5.3 Διαδικασία απεικόνισης ρύπανσης για μέσες τιμές συγκέντρωσης πρωινών μεσημεριανών και βραδινών διαδρομών.....	73
5.3.1 Επεξεργασία μετρήσεων.....	73
5.3.2 Απεικόνιση και χαρτογράφηση της ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας.....	73
5.4 Μέση ημερήσια αποτύπωση και χαρτογράφηση του κέντρου της Αθήνας.....	93
5.4.1 Επεξεργασία μετρήσεων.....	93
5.4.2 Αποτύπωση και χαρτογράφηση.....	94
5.5 Συμπεράσματα από την απεικόνιση ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας.....	113
5.6 Ανάλυση ατμοσφαιρικής ρύπανσης μετρούμενων σημείων.....	115
6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	118
6.1 Συμπεράσματα.....	118
6.2 Πρόταση για μελλοντική εξέλιξη.....	120
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	124

1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 Ορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Γενικά η ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται ως η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ουσιών για τέτοιο χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση, ώστε να προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς (άνθρωπο, ζώα, φυτά) και τις υλικές κατασκευές (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 2018).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους **πρωτογενείς** και τους **δευτερογενείς** ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Πρωτογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που εκλύονται από κάποια φυσική διεργασία και οι πηγές τους, απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Τέτοιου είδους ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο του θείου, τα αιωρούμενα σωματίδια, το υδρόθειο, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του αζώτου, ο μόλυβδος, ο καπνός και ο αμίαντος (Μουστρής, 2019), (Γεωργόπουλος 2002).

Δευτερογενείς, ονομάζονται οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών. Δηλαδή μέσω πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου της ατμόσφαιρας των οξειδίων του αζώτου, και των υδρογονανθράκων όπως και με την επίδραση του ηλιακού φωτός, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δευτερογενών ρύπων όπως το όζον, άλλα προϊόντα γνωστά ως PAN και τα οποία είναι τοξικά. Ως δευτερογενείς ρύποι θα μπορούσαν επίσης να θεωρηθούν και τα προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών ρύπων που περιέχουν θείο, όπως τα θειικά άλατα το θειικό οξύ και το τριοξείδιο του θείου (Μουστρής, 2019), (Γεωργόπουλος, 2002).

1.2 Βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι

Αιωρούμενα σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δύναται να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Air Quality, 2020).

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες με την καύση ορυκτών καυσίμων, η παραγωγή τσιμέντου, τα χυτήρια μεταλλεύματος, η οικιακή θέρμανση, τα αυτοκίνητα από τις εξατμίσεις αλλά και από τη φθορά των ελαστικών και την πρόκληση όπως και επαναιώρησης της σκόνης, οι κατασκευές, οι διάφορες γεωργικές δραστηριότητες συμπεριλαμβανομένου το κάψιμο των υπολειμμάτων των χωραφιών κ.ά.. Φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων (PM), αποτελούν τα ηφαίστεια, η θάλασσα, οι πυρκαγιές, η επαναιώρηση σκόνης λόγω δυνατών ανέμων η γύρη κλπ. Η βασική πηγή ατμοσφαιρικής σκόνης

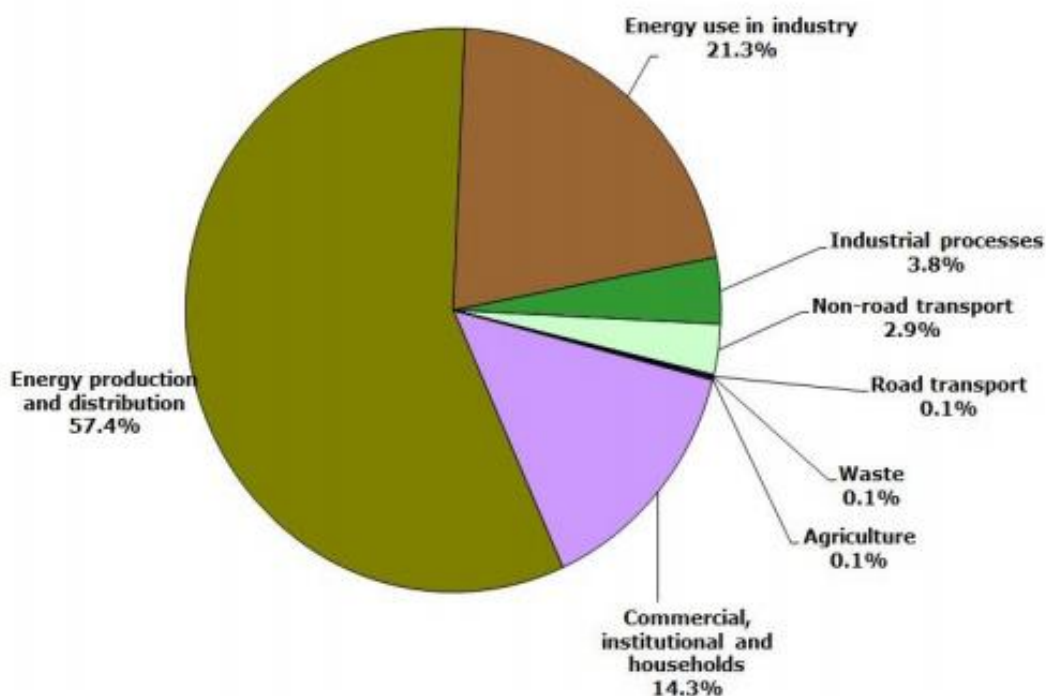
σε παγκόσμια κλίμακα είναι η έρημος Σαχάρα, που παράγει το μισό περίπου της ετήσιας ορυκτής σκόνης, και πολλές φορές η μεταφορά της οδηγεί σε επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM), που υπερβαίνουν σημαντικά τις καθορισμένες οριακές τιμές. Το 50% των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχονται από φυσικές πηγές και το 50% από ανθρωπογενείς πηγές. Είναι γνωστό πως αναλόγως την προέλευση που έχουν μεταβάλλεται η μορφή, το μέγεθος και χημική σύσταση τους (Κανελλοπούλου, 2015), (Στόγιαννης, 2019).

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και διαλύεται ελάχιστα στο νερό. Είναι αναφλέξιμο και καίγεται με μπλε φλόγα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις (>100 ppm) είναι και θανατηφόρο. Οι κύριοι τρόποι εκπομπής του είναι από τις εξατμίσεις των κινητήρων των οχημάτων. Άλλες ανθρωπογενείς πηγές του CO είναι η απόθεση στερεών αποβλήτων και η παραγωγή σιδήρου. Επιπλέον φυσικές πηγές εκπομπής CO είναι τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές στα δάση, και διάφορες βακτηριακές δράσεις. Επίσης είναι γνωστό πως παγκοσμίως, η μεγαλύτερη πηγή μονοξειδίου του άνθρακα είναι φυσικής προέλευσης, εξαιτίας φωτοχημικών αντιδράσεων στην τροπόσφαιρα, που υπολογίζεται ότι παράγουν περίπου $5 \cdot 10^{12}$ Kg μονοξειδίου του άνθρακα το χρόνο. Την τοξικότητα της δράσης του την παίρνει από την υψηλή χημική συγγένεια που έχει με την αιμογλοβίνη (Hb), η οποία είναι η χημική ουσία στα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και CO₂ από τα κύτταρα στους πνεύμονες (Ζιώμας 2007), (Air Quality, 2020), (Μουστρής 2019).

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂ είναι ένας από τους κύριους ρύπους των αστικών περιοχών. Είναι αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO₃, το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H₂SO₄, κύριο συστατικό της όξινης βροχής. Σχηματίζεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αφορά την καύση στερεών και υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο, καθώς και από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες όπως είναι η διύλιση πετρελαίου, η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων και η χαρτοβιομηχανία. Στον ανθρώπινο οργανισμό το SO₂ προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προβλήματα, επιπλέον μειώνει την ορατότητα της ατμόσφαιρας. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει όριο συγκέντρωσης 125 mg/m³ για διάρκεια έκθεσης 24 ωρών και 50 mg/m³ για 1 έτος. (Ταπεινός, 2019), (Air Quality, 2020)



Εικόνα 1.1: Ποσοστιαία κατανομή πηγών εκπομπής SO₂ για τις χώρες-μέλη του ΕΟΠ (Επαγγελματικό Επιμελητήριο Αθηνών, 2020).

Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξείδια του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) που εμφανίζονται στον αέρα. Το NO είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και μη τοξικό ενώ το NO₂ ανάλογα με τη συγκέντρωση έχει ελαφρά καστανό έως ερυθροκάστανο χρώμα και ιδιάζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές. Το NO₂ λόγω της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό και διαβρωτικό. Η μεγαλύτερη παραγωγή NO_x στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω αναερόβιων βιολογικών διεργασιών. Οι εκπομπές του NO₂ συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές με ανθρωπογενή δραστηριότητα και γενικά παράγονται κατά 40% από τα καυσαέρια των οχημάτων και κατά 45% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής εκτός από τα αυτοκίνητα είναι διάφορες στατικές πηγές, όπως οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι χρησιμοποιούν φυσικό καύσιμο, βιομηχανικοί καυστήρες, αποτεφρωτήρες και οι κεντρικές θερμάνσεις των σπιτιών. Οι εκπομπές NO_x σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονταν σε 60 εκατ. τόνους στο τέλος της δεκαετίας '80, εκ των οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) (Ταπεινός, 2019), (Χρέμου, 2013).

Όζον(O₃)

Το όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου, μπορεί να σχηματιστεί κατά διοχέτευση ξηρού οξυγόνου ή αέρα διαμέσου ηλεκτρικών εκκενώσεων με τάση 5000 - 20000 Volt. Είναι ένα αέριο ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό και τοξικό το οποίο έχει χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και όπως είναι ασταθές και εύκολα διασπάται δεν αφήνει υπολείμματα. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) το όζον είναι ευεργετικό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του αφού απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας και μας προστατεύει από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ήλιου οι οποίες είναι βλαβερές για τους ζωντανούς οργανισμούς.

Στην κατώτερη ατμόσφαιρα και κυρίως στο ύψος που κινείται και ζει ο άνθρωπος, το όζον δημιουργείται από πρωτογενείς ρύπους όπως οξείδια του αζώτου (NO_x , υδρογονάνθρακες των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας και τις πτητικές οργανικές ενώσεις με την συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας) (Air Quality, 2020), (Μουστρής, 2019).

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι ένας πρωτογενής ρύπος με μεγάλη σημασία λόγω των μεγάλων εκπομπών , τη σημασία τους στις αντιδράσεις σχηματισμού όζοντος στο επίπεδο του εδάφους και της συμμετοχής στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Στη φύση η πλειοψηφία των (VOC)s παράγεται από τα φυτά , το υπόλοιπο παράγεται από τα ζώα, τα μικρόβια, τους μύκητες και τη μούχλα. Αυτή τη στιγμή η οδική κυκλοφορία είναι η κυριότερη πηγή VOC's στις βιομηχανικές χώρες. Επίσης, είναι συχνά παρόντες ως διαλύτες σε βιομηχανικές διεργασίες, για παράδειγμα σε χρώματα, αεροζόλ, βαφές και βερνίκια. Το στεγνό καθάρισμα και η παραγωγή αλκοολούχων ποτών είναι λιγότερο σημαντικές πηγές εκπομπών αυτής της ομάδας (Ταπεινός, 2019), (Χρέμου, 2013).

1.3 Ελληνική και Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Βάσει της οδηγίας 2005/0183 της Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 21/09/2005 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού παραθέτω παρακάτω τους εξής ορισμούς που αφορούν την ποιότητα του:

- Επίπεδο: Η συγκέντρωση ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεσή του σε μια επιφάνεια σε δεδομένη χρονική στιγμή.
- Εκτίμηση: Οποιαδήποτε μέθοδος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση, τον υπολογισμό , την πρόβλεψη ή την εκτίμηση επιπέδων προσεγγιστικά.
- Οριακή τιμή: Επίπεδο που καθορίζεται βάσει επιστημονικών γνώσεων, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί εντός δεδομένης προθεσμίας και χωρίς υπερβάσεις. Έχει σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία στο σύνολο του περιβάλλοντος.
- Ανώτατο όριο συγκέντρωσης: Επίπεδο που καθορίζεται βάσει επιστημονικών γνώσεων και έχει σκοπό να προλαμβάνονται αδικαιολόγητα υψηλοί κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου.
- Περιθώριο ανοχής: Το ποσοστό της οριακής τιμής κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβασή της, σύμφωνα με τους όρους της παραπάνω οδηγίας.

- Τιμή στόχος: Επίπεδο που καθορίζεται με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον γενικά και που θα πρέπει να επιτυγχάνεται κατά το μέγιστο δυνατό εντός δεδομένης χρονικής περιόδου.
- Όριο ενημέρωσης: Το επίπεδο πέρα από το οποίο ακόμα και η σύντομη έκθεση εγκυμονεί κινδύνους ιδιαίτερα για τις πιο ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, με αποτέλεσμα να είναι επιβεβλημένη η άμεση και σωστή πληροφόρηση.
- Όριο συναγερμού: Το επίπεδο άνω του οποίου υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για την υγεία του ανθρώπου και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να λαμβάνουν άμεσα μέτρα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) εκδίδει τις παρακάτω οδηγίες βάσει των σοβαρών επιπτώσεων των ρύπων στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Τα κράτη μέλη οφείλουν να συμπεριλάβουν στην εθνική τους νομοθεσία. Η οδηγία πλαίσιο της Ε.Ε. προβλέπει την έκδοση θυγατρικών οδηγιών. Κάθε θυγατρική οδηγία αναφέρεται σε ένα ρύπο ή μία κατηγορία ρύπων. Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξειδίου του θείου, αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξειδίου του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, υδράργυρο και βενζο(α)πυρένιο. Όλες οι οδηγίες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα και αφορούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι οι εξής:

- Οδηγία 1996/62/ΕΚ για την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 3277/209/2000, ΦΕΚ 180/Β/17-2-2000).
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μόλυβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος (ΠΥΣ 34/30.5.2002, ΦΕΚ 125/Α/5-6-02).
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος (ΚΥΑ 9238/332, ΦΕΚ 405Β/27.2.05).
- Οδηγία 2002/3/ΕΚ σχετικά με το όζον στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 38638/2016, ΦΕΚ 1334Β/21.9.05).
- 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 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η οποία συσσωματώνει την 96/62/ΕΚ και τις τρεις θυγατρικές της (1999/30/ΕΚ, 2000/69/ΕΚ και 2002/3/ΕΚ), όπως και την απόφαση 97/101/ΕΚ για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μεμονωμένους σταθμούς και δίκτυα.
- 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 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)

- Οδηγία 2016/2284 σχετικά με τη μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, την τροποποίηση της οδηγίας 2003/35/EK και την κατάργηση της οδηγίας 2001/81/EK

Με βάση τις παραπάνω οδηγίες ορίζεται μια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Επίσης τα κράτη – μέλη της Ε.Ε. οφείλουν να εκπονούν και να υλοποιούν σχέδια δράσης, με στόχο τη σωστή και έγκυρη προετοιμασία τους όσον αφορά την επίτευξη και τη μετέπειτα τήρηση των ορίων για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

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 ₂	1 έτος	40	40	-
	1 ώρα	200	200	18
O ₃	8 ώρες	100	120	25
ΑΣ ₁₀	1 έτος	20	40	-
	24 ώρες	50 ^(α)	50	35
ΑΣ _{2,5}	1 έτος	10	25	-
	24 ώρες	25	-	-
SO ₂	24 ώρες	20	125	3
	1 ώρα	-	350	24
	10 λεπτά	500	-	-

Πίνακας 1.1: Όρια έκτακτων μέτρων ατμοσφαιρικών ρύπων (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2020).

1.4 Επίδραση της κακής ποιότητας στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον

Αιωρούμενα σωματίδια

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_x) στην υγεία του ανθρώπου αφορούν αρχικά το αναπνευστικό σύστημα και την ικανότητα της αναπνοής σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων και την απόθεσή τους στα διάφορα μέρη του συστήματος. Δευτερεύων παράγοντας η επαφή με το δέρμα.

Παρακάτω αναφέρουμε μερικές άμεσες επιπτώσεις των σωματιδίων στην υγεία μας:

- 1) Αυξημένος κίνδυνος καρδιαγγειακών επεισοδίων.
- 2) Αύξηση πνευμονικών παθήσεων.
- 3) Επιδείνωση κατάστασης ασθενών με στεφανιαία νόσο και κρίσεις στηθάγχης.
- 4) Ερεθισμός αναπνευστικού συστήματος (μύτη και φάρυγγας).
- 5) Καρκίνος των πνευμόνων.
- 6) Μεγάλη συσχέτιση με κρίσεις άσθματος και αλλεργιών.
- 7) Πρόκληση φλεγμονών στους αεραγωγούς και στους πνεύμονες.
- 8) Χρόνια βρογχίτιδα .

Εκτός όμως από επίπτωσης στην υγεία τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν και σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες όπως:

- 1) Απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία περιορίζοντας την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συμβάλλοντας αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυξάνουν έτσι την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, των υδάτων και του εδάφους.
- 2) Χρησιμεύουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης για τη δημιουργία νεφών.
- 3) Έχουν σημαντικό ρόλο σε χημικές αντιδράσεις.
- 4) Επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το κλίμα.
- 5) Συντελούν στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος, φαινόμενο άρρηκτα συνδεδεμένο με την αύξηση της έντασης της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)
- 6) Καθορίζουν την ποιότητα του αέρα.
- 7) Μετατροπή λιμνών και ποταμών σε όξινες/α .
- 8) Μεταβολή θρεπτικής ισορροπίας σε παράλια νερά και εκβολές ποταμών .
- 9) Επηρεάζουν τη δημιουργία νεφρικών σταγονιδίων και πυρήνων πάγου καθώς και την εν γένει ατμοσφαιρική χημεία.
- 10) Ελάττωση του πληθυσμού των ζώων .
- 11) Διάβρωση μνημείων.

(Μασσαρά, 2011),(Γκικούδης, 2015)

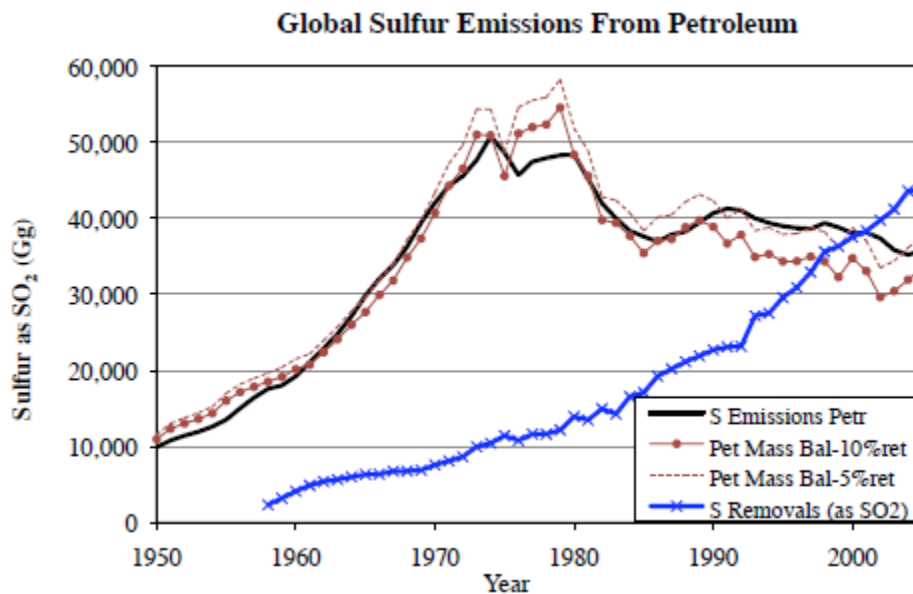
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Με την εισπνοή το **CO** ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος σχηματίζοντας τη χημική ένωση καρβοξυαιμογλοβίνη, η οποία παρεμποδίζει την ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς του σώματος, με αποτέλεσμα να προκαλείται δηλητηρίαση του οργανισμού με τελική κατάληξη το θάνατο. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας προτείνει ως όριο για το μονοξείδιο του άνθρακα ένα άνω όριο ποσοστού καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα 2,5 έως 3% που αντιστοιχεί σε περίπου 10 mg/m³ CO για έκθεση 8 ωρών. Οι συγκεντρώσεις CO στα αστικά περιβάλλοντα επηρεάζονται από παράγοντες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση και τις μετεωρολογικές συνθήκες, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του να έχουν μεγάλες ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις και περίπλοκες χωρικές κατανομές.(Ταπεινός 2019)

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το SO₂ και τα θειικά αερολύματα έχουν σημαντική επίδραση στο παγκόσμιο και στο περιφερειακό και τοπικό κλίμα. Τα θειικά αερολύματα αντανάκλουν το ηλιακό φως στο χώρο (ατμόσφαιρα) και

επίσης μπορούν να λειτουργήσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης, οι οποίοι έχουν την τάση να κάνουν τα σύννεφα να αντανakλούν περισσότερο αλλά ακόμα και να μεταβάλλει τη διάρκεια της ζωής των νεφών, προκαλώντας μια καθαρή ψύξη στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα).



Εικόνα 1.2: Οι παγκόσμιες εκπομπές SO₂ από τη χρήση πετρελαίου σε σχέση με τις εκτιμήσεις από μια παγκόσμια ισορροπία μάζας του αργού πετρελαίου.

Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο SO₂ προκαλεί συστολή των αναπνευστικών αγγείων στους ασθματικούς ασθενείς αλλά και σε όσους έχουν αναπνευστικά προβλήματα. Οι πιο πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι μία έκθεση διάρκειας περίπου 5 με 10 λεπτών, αρκεί για να προκληθούν ασθματικά επεισόδια. Η χρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου προκαλεί στένωση στην τραχεία, παρόμοια με την χρόνια βρογχίτιδα. Έρευνα σε παιδιά από περιοχές με περισσότερους ρύπους κατέδειξε περισσότερα περιστατικά με βήχα, βρογχίτιδα και λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού σε σχέση με παιδιά από περιοχές με λιγότερη ρύπανση.

Παράλληλα, τα σωματίδια και το SO₂ αντιδρούν προς τον σχηματισμό πιο επικίνδυνων όξινων θεικών σωματιδίων. Τα σωματίδια αυτά εισπνέονται βαθύτερα στους πνεύμονες από ότι το αέριο διοξείδιο του θείου και εγκαθίστανται εκεί. Το φαινόμενο ενισχύεται στα παιδιά και τους ενήλικους που αθλούνται, που καθότι βρίσκονται σε μεγαλύτερη κίνηση, αναπνέουν από το στόμα τους παρακάμπτοντας τους μηχανισμούς φιλτραρίσματος που βρίσκονται στις ρινικές διόδους. Συχνότερες θανάτου έχουν επίσης συσχετιστεί με επίπεδα συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου και σωματιδίων. Η ομίχλη επιπλέον, μετατρέπει το SO₂ σε όξινα θειικά αερολύματα τα οποία όπως και τα σωματίδια εισπνέονται βαθύτερα και είναι πιο επικίνδυνα από το αέριο διοξείδιο του θείου (Μουστρή, 2019).

Επιπτώσεις	Συγκέντρωση (ppm)
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς.	1 – 2
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς σε μέτρια άσκηση.	0.6 – 0.75
Αλλαγές στις λειτουργίες των πνευμόνων σε ασθματικούς με μέτρια έως έντονη άσκηση.	0.4 – 0.6
Χωρίς επιπτώσεις σε ασθματικούς σε μέτρια άσκηση και ασήμαντες επιπτώσεις σε μη-ασθματικούς σε μέτρια άσκηση.	0.1 – 0.3

Πίνακας 1.Π: Επιπτώσεις στην υγεία από τα διαφορετικά επίπεδα έκθεσης σε SO₂ (Μουστρής, 2019).

Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Οι περισσότερες μελέτες για τις επιπτώσεις στην υγεία επικεντρώθηκαν κυρίως στο NO₂. Η κύρια οδός εισόδου του NO₂ στο ανθρώπινο σώμα είναι μέσω του αναπνευστικού συστήματος. Οι επιπτώσεις στην υγεία οφείλονται σε οξειδωτική βλάβη με αποτέλεσμα τη δημιουργία ελεύθερων ριζών. Οι περισσότερες από τις επιπτώσεις της NO₂ που σχετίζονται με την υγεία στον άνθρωπο σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα και τα άτομα με ιστορικό αναπνευστικής νόσου επηρεάζονται περισσότερο από τα υγιή άτομα. Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις NO₂ μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρή πνευμονική βλάβη σε υγιείς ανθρώπους. Για παράδειγμα, η έκθεση σε συγκεντρώσεις NO₂ περισσότερο από 2,5 ppm για λιγότερο από 2 ώρες είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη πνευμονική λειτουργία σε υγιείς ανθρώπους, ενώ η έκθεση σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1 ppm δεν είχε σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία σε ορισμένα υγιή άτομα. Αντιθέτως, η έκθεση 3,75 ωρών σε συγκεντρώσεις NO₂ 0,3 ppm επηρέασε τις λειτουργίες των πνευμόνων σε άτομα με χρόνια αποφρακτική νόσο. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει αυξημένη βρογχική αντιδραστικότητα σε επίπεδα NO₂ μεταξύ 0,2-0,3 ppm . Ωστόσο, υπάρχουν μερικές μελέτες που δεν δείχνουν το ίδιο αποτέλεσμα σε υψηλές συγκεντρώσεις NO₂. Αυτό σημαίνει ότι ο μηχανισμός για τις οξείες επιδράσεις του NO₂ δεν είναι πλήρως κατανοητός και πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες για να κατανοηθεί η επίδραση του NO₂ στη βρογχική δραστηριότητα. Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα λαμβάνει επίσης υπόψη τις επιπτώσεις ορισμένων ειδών στο οικοσύστημα. Μερικά από τα σημαντικά ατμοσφαιρικά είδη από την άποψη αυτή περιλαμβάνουν O₃ και οξείδια αζώτου (π.χ. NO και NO₂). Αυτά τα είδη αερίου απορροφώνται από το φυτό μέσω των στομάτων κατά την αναπνοή. Είδη που υφίστανται μετασχηματισμό (π.χ. όξινος μετασχηματισμός οξειδίων του αζώτου σε νιτρικά οξέα) μπορούν να εισέλθουν στο φυσικό οικοσύστημα μέσω υγρής εναπόθεσης και επακόλουθης απορρόφησης από τα φυτά (Porroola, 2012).

Όζον(O₃)

Η έκθεση μικρής χρονικής διάρκειας (1-3 ωρών) σε περιβάλλον όζοντος συνδέεται με ένα μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία η δε παρατεταμένη διάρκεια (6-8 ωρών) συνδέεται επείγοντα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα. Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε όζον μπορεί να προκαλέσει στους ανθρώπους πόνους στο στέρνο, επίμονο βήχα, επιδείνωση προ υπαρχόντων αναπνευστικών νοσημάτων όπως το άσθμα, σοβαρές φλεγμονές των πνευμόνων, ακόμη και μη αναστρέψιμες βλάβες αυτών, που μπορούν να οδηγήσουν σε πρόωρη γήρανση και/ή σε χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες. Άτομα που εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους αλλά και μικρά παιδιά τα οποία παίζουν έξω κατά την καλοκαιρινή περίοδο, όταν δηλαδή οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι στα υψηλότερα επίπεδα, κινδυνεύουν άμεσα από την εκδήλωση τέτοιων συμπτωμάτων.

Το όζον επιδρά στη βλάστηση και στα οικοσυστήματα, οδηγώντας στην υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών, στην μείωση της παραγωγικότητας λαχανικών με ταυτόχρονη αύξηση των ασθενειών των φυτών, στην εμφάνιση εντόμων, και γενικά συντελεί στην εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. βαρυχειμωνιά). Καταστρέφει το φύλλωμα των δέντρων κι έτσι την αισθητική των δασών και των πάρκων (Air Quality, 2020).

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)

Για τον άνθρωπο τα VOC's είναι τοξικά και καρκινογόνα. Λόγω των δυσμενών επιπτώσεων τους τόσο στο περιβάλλον όσο στον άνθρωπο έχουν ληφθεί μέτρα σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο για τη μείωση των εκπομπών τους. Στις πόλεις οι μετρήσεις που προέρχονται από σταθερούς σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα δε δίνουν το ακριβές προφίλ της έκθεσης γιατί τα επίπεδα των VOC's που σχετίζονται με την οδική κυκλοφορία μειώνονται δραματικά καθώς αυξάνεται η απόσταση από το δρόμο προκαλώντας μεγάλες διακυμάνσεις στη διασπορά των VOC's (Ταπεινός, 2019).

1.5 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα

Το οικιστικό συγκρότημα της Αθήνας εκτείνεται στη χερσόνησο της Αττικής και περιλαμβάνει το λεκανοπέδιο της Αθήνας, το Θριάσιο πεδίο και την περιοχή των Μεσογείων.

Η Αθήνα είναι χτισμένη σε λεκανοπέδιο, το οποίο περικλείεται από τρία κύρια βουνά: τον Υμηττό (1050μ), την Πάρνηθα (1400μ) με προσανατολισμό βόρεια – βορειοδυτικά και την Πεντέλη (1100μ) στα βόρεια – βορειοανατολικά. Στα δυτικά η πρωτεύουσα περικλείεται από ένα μικρότερο βουνό το όρος Αιγάλεω (450μ), ενώ από το νότο περιβάλλεται από θάλασσα το Σαρωνικό κόλπο. Διάφοροι άλλοι διάσπαρτοι λόφοι με προσανατολισμό από το βορά προς το νότο παρεμβάλλονται μέσα στο λεκανοπέδιο, όπως τα Τουρκοβούνια, ο Λυκαβηττός, η Πνύκα και διαμορφώνουν και αυτοί το γεωγραφικό ανάγλυφο της Αθήνας (Kassomenos, 2009).

Η κλειστή τοπογραφία του λεκανοπέδιου της Αθήνας, δυσχεραίνει αρκετά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τη διάχυση των ρύπων, καθώς όλοι αυτοί οι ορεινοί όγκοι λειτουργούν σαν ένα τεράστιο θερμοκήπιο συγκρατώντας τους ρύπους εντός του (Ανδρεοπούλου, 2011).



Εικόνα 1.4: Άποψη του πεδίου των Αθηνών από το δορυφόρο Landsat της NASA.

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας στην Αττική παράγεται από συγκεκριμένες πηγές, οι οποίες είναι σε συγκεκριμένους χώρους. Έτσι, έχουμε:

α. Ρύπανση από βιομηχανίες σε δύο είδη ρύπων, καυσαέρια από καύση πετρελαιοειδών και κυρίως μαζούτ, και άλλα αέρια που προκύπτουν από τις βιομηχανικές διεργασίες, είτε σε μορφή χημικών ενώσεων είτε σε μορφή μικροσωματιδίων όπως η τσιμεντόσκονη. Τέτοιες περιοχές παραγωγής βιομηχανικής ρύπανσης παλαιότερα ήταν μέσα στον αστικό ιστό της πόλης (Μεταξουργείο, Γκάζι, Πειραιώς, Σεπόλια, Νέα Ιωνία, Αγ. Διονύσιος, Δραπετσώνα, Κερασίни, κλπ.), ενώ τώρα περιβάλλει την πόλη στις παρυφές του Λεκανοπεδίου αλλά και έξω από αυτό στον ευρύτερο χώρο της Αττικής και των γύρο Νομών.

β. Ρύπανση από κυκλοφορία. Αυτή παράγεται αφ' ενός στο κέντρο (περιοχή μικρού δακτυλίου) και αφ' ετέρου επί των μεγάλων αξόνων οδικής κυκλοφορίας (Εθνική Οδός, ιδίως περιοχή Περιστερί-Αιγάλεω, Κηφισίας, παραλιακή, Συγγρού, Λένορμαν, Ιερά Οδός, Λ. Αθηνών και Λ. Καβάλας, Λ. Μεσογείων κ.α.). Ανάλογα με τον χαρακτήρα του οδικού άξονα έχουμε περισσότερο ή λιγότερο ρύπανση από πετρέλαιο ή από βενζίνη, ημερήσια ή και νυκτερινή ρύπανση κλπ. Στην ρύπανση από κυκλοφορία θα πρέπει να σημειωθεί η αύξηση της ρύπανσης στην περιφέρεια του Λεκανοπεδίου λόγω της λειτουργίας της Αττικής Οδού. Το ΥΠΕΧΩΔΕ αναγκάστηκε να αναγνωρίσει την αύξηση αυτή, ισχυρίζεται όμως ότι με την λειτουργία της Αττικής οδού θα ελαφρύνει η κυκλοφορία στο κέντρο και θα μειωθεί συνολικά η ρύπανση, αυτό όμως δεν είναι αληθές εφ' όσον το ΙΧ αποτελεί το

βασικό κυκλοφοριακό μέσο. Έτσι, η αύξησή του καλύπτει αμέσως την όποια ελάφρυνση υπάρξει λόγω της Αττικής οδού.

γ. Ρύπανση από κτήρια (κεντρική θέρμανση). Αυτή παράγεται ανάλογα με την πυκνότητα οίκησης σε όλη την Αττική, φυσικά οι πυκνές περιοχές είναι και οι πλέον βεβαρυμμένες όπως το κέντρο, η Κυψέλη, το Παγκράτι, οι Αμπελόκηποι, τα Πατήσια κλπ.

δ. Ρύπανση από άλλες πηγές. Υπάρχουν πολλές πηγές όπως τα βενζινάδικα τα οποία ρυπαίνουν από την διαρροή της βενζίνης την ώρα της παροχής στα αυτοκίνητα, και αυτά είναι διάσπαρτα σε όλη την Αττική. Επίσης από παράνομες καύσεις απορριμμάτων ιδίως στην περιοχή Ασπροπύργου πίσω από το Αιγάλεω, από τυχαίες πυρκαγιές βιομηχανικών κτηρίων και αποθηκών τα οποία καιόμενα παράγουν διάφορους ρυπαντές ανάλογα με το τι καίγεται (πλαστικά, ξυλεία, λάστιχα, χημικά προϊόντα κ.α.) πολλά από τα οποία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα.

Ακόμη σημαντική πηγή όχι μόνο ρύπανσης αλλά και επιδείνωσης των δράσεων των υφιστάμενων ρυπαντών είναι όπως αναφέρθηκε, τα μικροσωματίδια από την σκόνη, που είχαν αυξηθεί λόγω των εκτεταμένων έργων της Ολυμπιάδας, αλλά και από άλλες πηγές, όπως η αιθάλη από κακή ή ατελή καύση, τα οποία έχουν την ιδιότητα να εισχωρούν και να επικάθονται στις κυψελίδες των πνευμόνων. Σε άλλη περίπτωση θα είχαμε περιστατικά παρόμοια των γνωστών επαγγελματικών ασθενειών των λατόμων ή των υφαντουργών όπως της πνευμονοκονίασης, εδώ όμως έχουμε το γεγονός ότι τα μικροσωματίδια αυτά, που προέρχονται από ρυπασμένη ατμόσφαιρα, είναι φορείς των ρυπαντών που αναφέρθηκαν οι οποίοι είναι επικολημένοι σ' αυτά, και έτσι αυτοί επικολώνονται στις κυψελίδες περισσότερο από ότι με την απλή αναπνοή, με ό,τι συνεπάγεται αυτό (Σαρηγιάννης, 2006).

2. ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

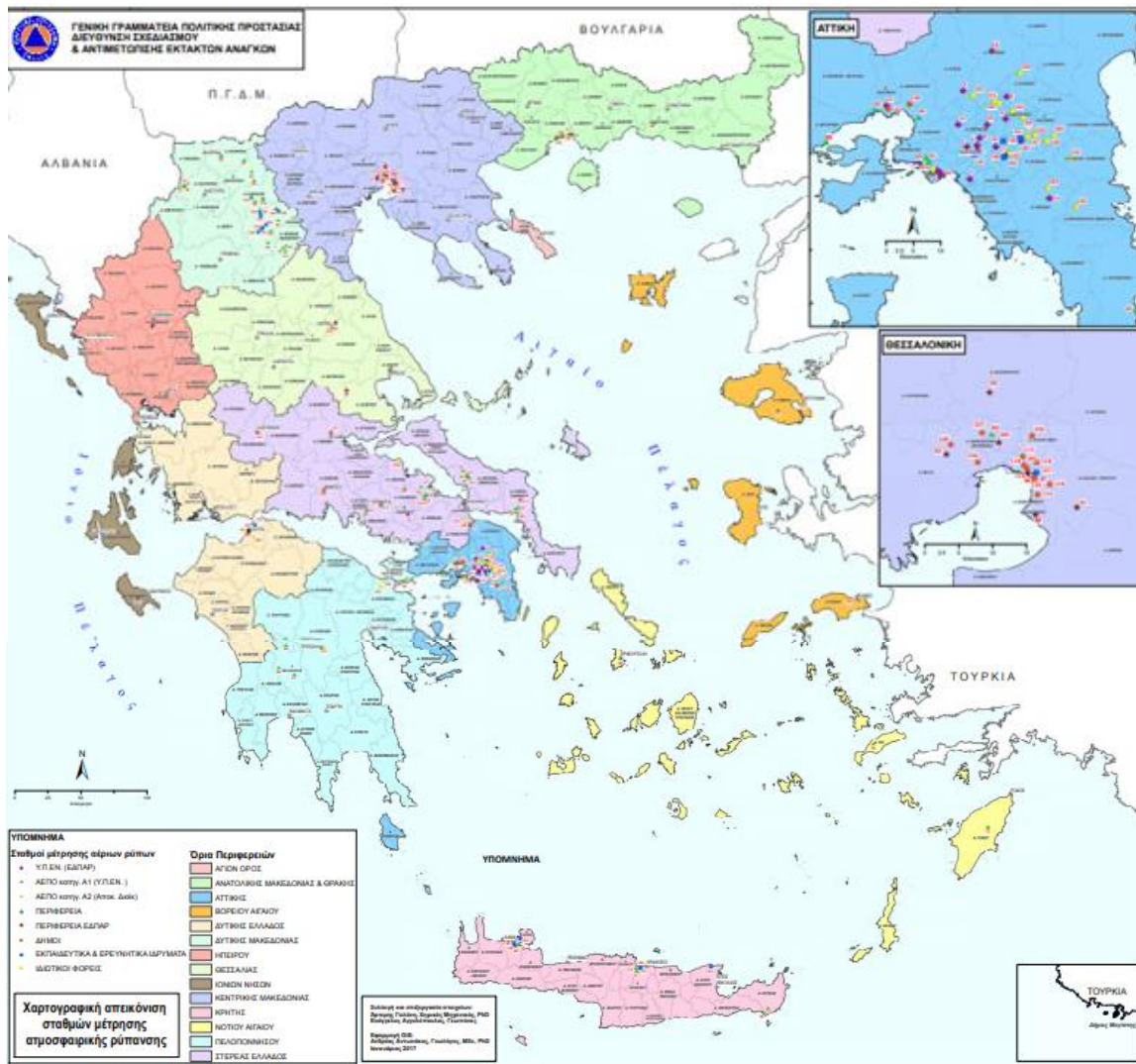
2.1 Σταθεροί σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων

Ο σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων είναι ένα επίγειο σημείο στο οποίο πραγματοποιούνται τακτικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις και στους οποίους γίνεται εκτίμηση μίας ή περισσοτέρων μετεωρολογικών παραμέτρων.

Οι βασικοί σταθμοί εδάφους για συνοπτικές μετρήσεις δεν πρέπει να απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 150 Km, ενώ οι σταθμοί μετρήσεων της ανώτερης ατμόσφαιρας δεν πρέπει να απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 300 Km. Σε αραιοκατοικημένες περιοχές ή στην έρημο το δίκτυο πρέπει να είναι πιο πυκνό και αν κρίνεται απαραίτητο να τοποθετούνται βοηθητικοί σταθμοί που προτείνεται να είναι αυτόματοι. Σε περιοχές όπου οι πληροφορίες που λαμβάνονται από συνοπτικούς σταθμούς είναι ελλιπείς ή κρίνονται μειωμένης ακρίβειας πρέπει να γίνονται μετρήσεις και από μετεωρολογικά αεροσκάφη (Λιάπης, 2008).

Για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών εγκατέστησε το 1967 στην περιοχή της Αθήνας το πρώτο δίκτυο σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το δίκτυο αυτό αριθμούσε αρχικά 2 σταθμούς οι οποίοι ήταν εφοδιασμένοι με ημιαυτόματα όργανα τα οποία μετρούσαν SO₂ και καπνό. Στην πορεία το δίκτυο επεκτάθηκε και αναβαθμίστηκε διαθέτοντας έτσι στην περιοχή του Θησείου έναν πλήρες αυτοματοποιημένο σταθμό ο οποίος μετρούσε SO₂, CO, NO_x, O₃ και HC. Το 1983 το δίκτυο πέρασε

στη ευθύνη του ΥΠΕΧΩΔΕ, το οποίο συνέχισε να εκσυγχρονίζει το δίκτυο και από το 1986 να επεκτείνεται πλέον και στην υπόλοιπη χώρα εγκαθιστώντας σταθμούς μέτρησης στη Θεσσαλονίκη και σε άλλες επαρχιακές πόλεις (Καμπεζίδης & Ματραλής, 2004).



Εικόνα 2.1: Σταθεροί σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων στην Ελλάδα Γενική (Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2020).



Εικόνα 2.2 :Υπόμνημα χάρτη σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2020).

2.1.1 Σύνθεση και λειτουργία των σταθερών σταθμών

Η σύνθεση ενός σταθμού ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων που λειτουργεί αυτόματα πρέπει όλα τα συστήματα να αποτελούνται από:

- Ένα σύνολο αισθητήρων, που εισάγουν τα πρωτογενή μετεωρολογικά δεδομένα στη περιφερειακή μονάδα μνήμης.
 - Την περιφερειακή μονάδα μνήμης (data logger), που συλλέγει τα πρωτογενή μετεωρολογικά στοιχεία από τους αισθητήρες. Επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτά σε δευτερογενή (μέσες τιμές, ωριαίες τιμές, τιμές εξάωρων, κλπ.), τα αποθηκεύει και τα μεταδίδει, ή τα αποθηκεύει δίχως επεξεργασία και τα μεταδίδει σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα στη κεντρική υπολογιστική μονάδα. Στην πρώτη περίπτωση είναι μειωμένος ο όγκος των μεταδιδόμενων δεδομένων, αλλά απαιτείται ένας επεξεργαστής δεδομένων σε κάθε απομακρυσμένο σταθμό. Στη δεύτερη περίπτωση απαιτείται πιο αξιόπιστο δίκτυο επικοινωνίας και κεντρικός υπολογιστής πολυπλοκότερου προγραμματισμού (Software), μεγαλύτερης ταχύτητας και μνήμης.
 - Την κεντρική υπολογιστική μονάδα (C.P.U.), που συγκεντρώνει, επεξεργάζεται, αποθηκεύει και εκτυπώνει τα μετρούμενα στοιχεία από τις περιφερειακές μονάδες Α.Μ.Σ.. Επιπλέον ελέγχει τη σωστή λειτουργία του συστήματος.
 - Τα κυκλώματα διασύνδεσης των παραπάνω τμημάτων.
- (Λιάπης, 2008)

2.1.2 Σημεία εφαρμογής τους στην Αττική

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, δηλ. 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 Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Όνομα	Θέση				
	WGS84		ΕΓΣΑ87		Υψόμετρο (m –asl)
	Γεωγρ. Μήκος	Γεωγρ. Πλάτος	X (m)	Y(m)	
Αθηνάς (ATH)	23,7268458638789	37,9782041956628	475861	4203144	75
Αριστοτέλους (ARI)	23,7276178492125	37,9880660501340	475932	4204238	75
Γεωπονική (GEO)	23,7051539409633	37,9841003103091	473958	4203804	40
Λιόσια (LIO)	23,6977817797894	38,0767419649980	473344	4214085	165
Λυκόβρυση* (LYK)	23,7889866802124	38,0677931723947	481341	4213070	234
Μαρούσι (MAR)	23,7873721482217	38,0308379318551	481190	4208970	170
Νέα Σμύρνη (SMY)	23,7130203990140	37,9319982117031	474631	4198021	50
Πατησίων (PAT)	23,7330536950717	37,9995879094567	476413	4205515	105
Πειραιάς I** (PIR)	23,6452301569805	37,9446567667974	468679	4199446	4
Περιστερί (PER)	23,6883617540273	38,0208112949686	472497	4207882	80
Αγ. Παρασκευή (AGP)	23,8194215757818	37,9951106089158	483995	4205000	290
Ελευσίνα (ELE)	23,5384325457763	38,0513221627153	459354	4211322	20
Θρακομα-κεδόνες (THR)	23,7581958361834	38,1435214274982	478662	4221479	550
Κορωπί (KOR)	23,8790262856793	37,9013083393701	489215	4194584	140
Αλιάρτος (ALI)	23,1103024874696	38,3752950048951	422136	4247543	110

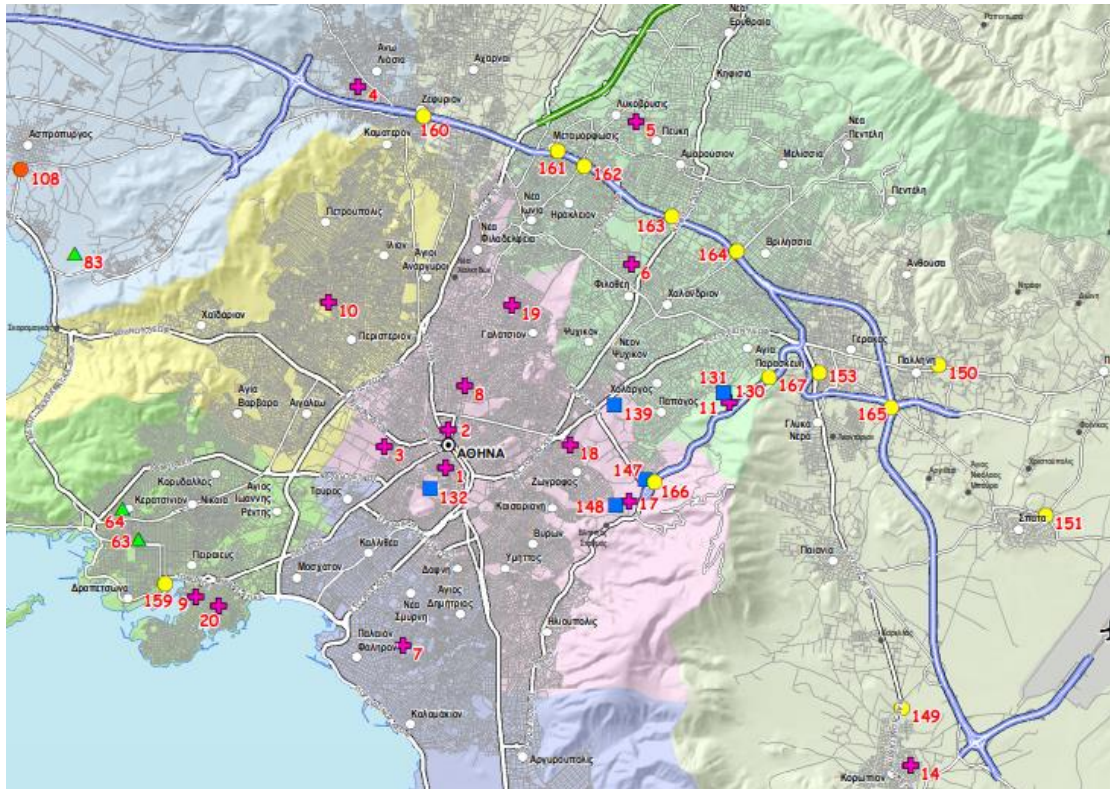
Πίνακας 2.1: Οι θέσεις των σταθμών του ΕΔΠΑΡ στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, όπου την ευθύνη λειτουργίας τους έχει το ΥΠΕΝ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας της Ατμόσφαιρας (ΚΑΠΑ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) στην περιοχή της Αττικής.

Το εγκατεστημένο δίκτυο που λειτουργεί στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής αποτελείται από 15 σταθμούς. Το όνομα και το είδος του κάθε σταθμού φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Όνομα	Χαρακτηρισμός	SO ₂	NO _x	CO	O ₃	AΣ ₁₀	AΣ _{2,5}	C ₆ H ₆
Αθηνάς (ATH)	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			
Αριστοτέλους (ARI)	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v			v	v	
Γεωπονική (GEO)	Περιαστικός-Βιομηχανικός		v	v	v			
Λιόσια (LIO)	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Λυκόβρυση* (LYK)	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Μαρούσι (MAR)	Αστικός-Υποβάθρου		v	v	v	v		
Νέα Σμύρνη (SMY)	Αστικός-Υποβάθρου		v	v	v	v		v
Πατησίων (PAT)	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v			v
Πειραιάς I** (PIR)	Αστικός-Κυκλοφορίας	v	v	v	v	v	v	v
Περιστέρι (PER)	Αστικός-Υποβάθρου		v		v	v		
Αγ. Παρασκευή (AGP)	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Ελευσίνα (ELE)	Περιαστικός-Βιομηχανικός	v	v		v	v	v	v
Θρακομακεδόνες (THR)	Περιαστικός-Υποβάθρου		v		v	v	v	
Κορωπί (KOR)	Περιαστικός-Υποβάθρου	v	v		v	v		
Αλίαρτος (ALI)	Υποβάθρου	v	v		v	v	v	

Πίνακας 2.ΙΙ: Όνομα και είδος κάθε σταθμού στην Αττική (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).



Εικόνα 2.3: Χάρτης σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αττική (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2020).

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξειδία του αζώτου (NO,NO ₂)	Χημειοφωταύγεια
Όζον (O ₃)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ ₁₀ -ΑΣ _{2,5})	Απορρόφηση β ακτινοβολίας (εκτός από την Ελευσίνα όπου χρησιμοποιείται η σταθμική)
Βενζόλιο (C ₆ H ₆)	Αέρια χρωματογραφία (GC)
Βαρέα Μέταλλα	Ατομική Απορρόφηση

Πίνακας 2.ΙΙΙ μέθοδος μέτρησης κάθε ρύπου (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020).

Βαθμονόμηση αυτομάτων οργάνων

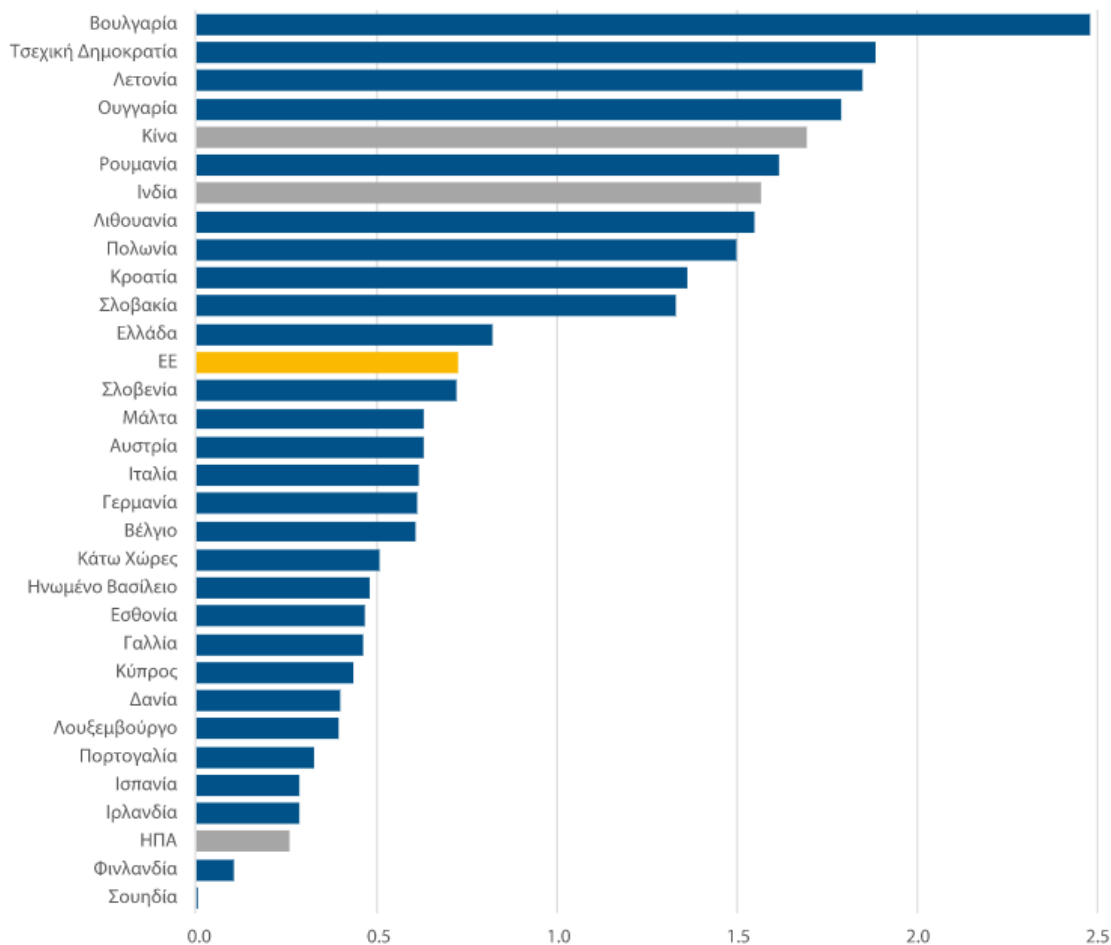
Η επιτόπια βαθμονόμηση των αυτόματων αναλυτών πραγματοποιείται με δυναμική αραίωση κάθε μήνα και μετά από κάθε επισκευή, ενώ ενδιάμεσοι έλεγχοι πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα σχετικά τεχνικά πρότυπα EN. Τα ροόμετρα των βαθμονομητών συστημάτων με τα οποία εφαρμόζεται η δυναμική αραίωση διακριβώνονται 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 (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2020).

2.1.3 Η Σημαντικότητα της ύπαρξης των σταθμών καταγραφής αέριας ρύπανσης

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο σημαντικότερος περιβαλλοντικός κίνδυνος για την υγεία στην Ε.Ε.. Στην Ε.Ε., προκαλεί κάθε χρόνο περίπου 400 000 πρόωρους θανάτους, ενώ το εξωτερικό κόστος που συνεπάγεται σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία ανέρχεται σε εκατοντάδες δισεκατομμύρια ευρώ. Ιδιαίτερα εκτεθειμένοι είναι οι άνθρωποι που ζουν σε αστικές περιοχές. Τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το όζον είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που ευθύνονται για τους περισσότερους από τους εν λόγω πρόωρους θανάτους.

Παρακάτω είναι φανερό ότι η απώλεια ετών υγιούς ζωής σε μερικά κράτη μέλη της Ε.Ε. είναι παρόμοια με εκείνη χωρών οι οποίες συνδέονται συχνά με κακή ποιότητα του αέρα, όπως η Κίνα και η Ινδία. Το 2013 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε ότι το συνολικό εξωτερικό κόστος που συνεπάγεται η ατμοσφαιρική ρύπανση σε ό,τι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία κυμαίνεται από 330 έως 940 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως.



Εικόνα 2.4: Απώλεια ετών υγιούς ζωής από ατμοσφαιρική ρύπανση ανά εκατό κατοίκους (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2020).

Σύμφωνα με τον Ε.Ο.Π., το 2015 περίπου το ένα τέταρτο των Ευρωπαίων που ζουν σε αστικές περιοχές, εξετέθη σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων τα οποία υπερβαίνουν μερικά πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της Ε.Ε. και έως 96 % των πολιτών της Ε.Ε. που ζουν σε αστικές περιοχές εξετέθη σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων τα οποία ο Π.Ο.Υ. θεωρεί επιβλαβή για την υγεία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση τείνει να πλήττει περισσότερο τους κατοίκους των πόλεων από ό,τι τους κατοίκους αγροτικών περιοχών, και η εξήγηση για αυτό είναι ότι η πυκνότητα του πληθυσμού των πόλεων συντείνει στο να εκλύονται ατμοσφαιρικοί ρύποι σε μεγαλύτερη κλίμακα (παραδείγματα χάριν, από οδικές μεταφορές) και η διασπορά είναι πιο δύσκολη στις πόλεις από ό,τι στην ύπαιθρο.

Ο Π.Ο.Υ. προσδιορίζει τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και το όζον (O₃) ως τους πιο επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία ατμοσφαιρικούς ρύπους. Κατά τον Ε.Ο.Π., το 2014, τα λεπτά σωματίδια (ΑΣ_{2,5}) προκάλεσαν περίπου 400 000 πρόωρους θανάτους πολιτών της Ε.Ε., το NO₂ προκάλεσε 75 000 πρόωρους θανάτους και το O₃ 13 600. Ο Ε.Ο.Π. προειδοποιεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει τους ανθρώπους σε καθημερινή βάση και ότι, παρότι η πλέον προβαλλόμενη επίπτωσή της είναι οι μέγιστες τιμές ρύπανσης, η μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλότερες δόσεις συνιστά μεγαλύτερο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ., καρδιακές νόσοι και εγκεφαλικά επεισόδια προκαλούν το 80 % των πρόωρων θανάτων που οφείλονται σε ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι πνευμονοπάθειες, συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του πνεύμονα, και άλλες ασθένειες έπονται. Στην παρακάτω εικόνα 2.5 συνοψίζονται οι κύριες επιπτώσεις στην υγεία των τεσσάρων ατμοσφαιρικών ρύπων που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 2.5: Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2020).

Όμως η ποιότητα του αέρα δεν εξαρτάται μόνο από τις εκπομπές ρύπων, εξαρτάται επίσης από:

- την εγγύτητα στην πηγή και το υψόμετρο στο οποίο εκλύονται οι ρύποι·
- μετεωρολογικές συνθήκες, μεταξύ άλλων από τον άνεμο και τη θερμότητα·
- τις χημικές μετατροπές (αντιδράσεις στο ηλιακό φως, αλληλεπιδράσεις ρύπων)·
- τις γεωγραφικές συνθήκες (τοπογραφία).

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων είναι κυρίως ανθρωπογενείς (π.χ. προέρχονται από μεταφορές, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή εργοστάσια). Μπορούν επίσης να προέρχονται από πυρκαγιές δασών, εκρήξεις ηφαιστειών και αιολική διάβρωση.

Βάση των παραπάνω δεδομένων είναι φανερό πλέον πως η ύπαρξη σταθερών σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρική ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων είναι αναγκαία και απαραίτητη. Διότι μόνο έτσι μπορούν όχι μόνο οι επιστήμονες αλλά και κάθε ένα πολίτης ξεχωριστά να καταλάβει πόσο επιβλαβές για τον ίδιο είναι η ρύπανση της ατμοσφαιράς. Επίσης βάση της 24ωρης λειτουργίας αυτών των σταθμών και των δεδομένων που παρέχουν η Ε.Ε. και το κάθε κράτος είναι στην θέση να προστατέψει τους πολίτες με τα όρια που καθορίζει (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2020).

2.2 Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χαμηλού κόστους

Τα τελευταία χρόνια, σημειώνεται μεγάλη ανάπτυξη πιο φθηνών και φιλικότερων προς το χρήστη φορητών συσκευών οι οποίες παράγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και δεν απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για να λειτουργήσουν. Το κόστος αυτών των συσκευών κυμαίνεται από 100 έως 15.000 δολάρια ανά συσκευή. Οι συσκευές αποτελούνται από αισθητήρες οι οποίοι σε συνδυασμό με μικροεπεξεργαστές που ελέγχουν τη συσκευή, μετατρέπουν το σήμα των αισθητήρων σε μια έξοδο και δίνει στο χρήστη τη πληροφορία για τους ρύπους που υπάρχουν στον ελεγχόμενο αέρα. Κάθε ρύπος απαιτεί διαφορετική τεχνολογία αισθητήρων. Οι συσκευές αυτές μπορούν να δημιουργήσουν μια νέα δυναμική στο τομέα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, εφόσον δίνουν τη δυνατότητα για άμεσα, εξατομικευμένα αποτελέσματα παρέχοντας επίσης αυξημένη διαθεσιμότητα και προσβασιμότητα των δεδομένων. Οι φορητοί αισθητήρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαμηλότερου κόστους, παρέχουν στους πολίτες την ευκαιρία να παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα σε τοπικό επίπεδο κάτι που μπορεί να επηρεάσει άμεσα την καθημερινότητά τους. Αποκτούν καλύτερη εικόνα για πιθανά ζητήματα ποιότητας του αέρα στην κοινότητά τους και μπορούν να αναπτύξουν καλύτερες κοινοτικές στρατηγικές για τη μείωση της έκθεσης τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση προστατεύοντας έτσι καλύτερα την υγείας τους.

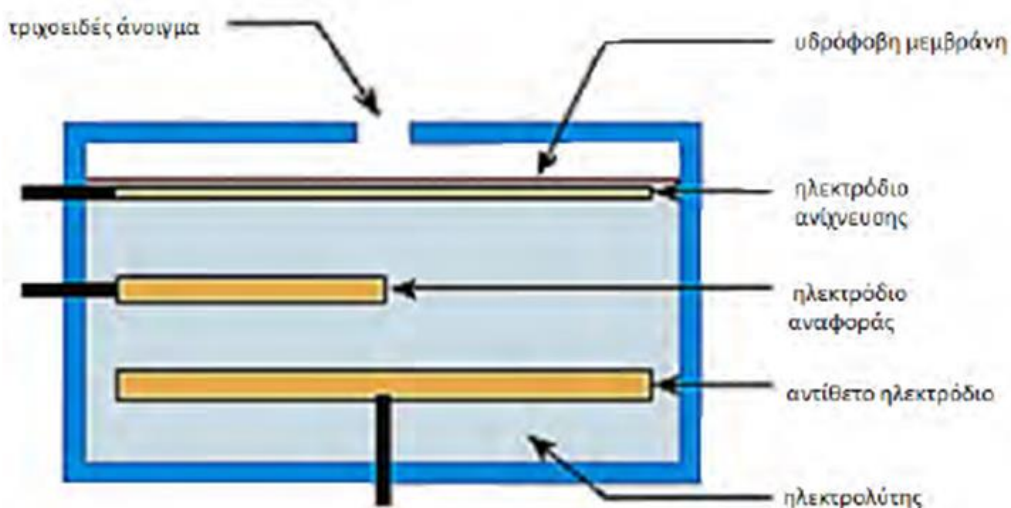
Μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές αυτών των συσκευών είναι στη βιομηχανία για πρόληψη ατυχημάτων και η χρήση τους σε έκτακτα περιστατικά. Το ανθρώπινο δυναμικό το οποίο φτάνει πρώτο σε ένα ατύχημα ή σε μια καταστροφή, συχνά δε γνωρίζει εάν εισέρχεται σε περιοχή που έχει δυνητικά επιβλαβείς χημικούς κινδύνους. Ο μικρός, φορητός ανιχνευτής εντοπίζει και ποσοτικοποιεί τον κίνδυνο, επιτρέποντας στους πρώτους ανταποκριτές να λάβουν γρήγορα μέτρα για να προστατεύσουν τον εαυτό τους και τους γύρω τους. Μια τέτοια συσκευή μπορεί επίσης να δείξει εάν υπάρχει ένα παράνομο εργαστήριο σε μια περιοχή, προσδιορίζοντας τους ατμούς των διαλυτών και τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ορισμένες παράνομες λειτουργίες (π.χ. παρασκευή φαρμάκων).

Παρά τις δυνατότητες αυτών των τεχνολογιών που είναι μεγάλες, υπάρχουν ακόμη σημαντικές προκλήσεις στην εφαρμογή τους. Ενώ ο παραδοσιακός εξοπλισμός παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα λειτουργεί σύμφωνα με καθιερωμένα πρωτόκολλα για τη διασφάλιση της ποιότητας οι νέες φορητές συσκευές πιθανόν να μην λειτουργούν σύμφωνα με τις αντίστοιχες απαιτήσεις κάνοντας την ερμηνεία των δεδομένων τους δύσκολη. Επίσης μερικοί αισθητήρες ενδέχεται να έχουν μειωμένη ακρίβεια λόγω της υγρασίας, της διαφοράς θερμοκρασίας κατά τη μετάβαση από εσωτερικούς σε εξωτερικούς χώρους και εξαιτίας γήρανσης (Ταπεινός, 2019).

Στους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες το αέριο-στόχος αλληλοεπιδρά με έναν ηλεκτρολύτη προκαλώντας ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που παράγουν ρεύμα. Αυτό το ρεύμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση του αερίου (με γραμμική ή λογαριθμική σχέση) και μπορεί να μετρηθεί. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες σε σχέση με τους αισθητήρες οξειδίων μετάλλων (βλ. παρακάτω) είναι συχνά ακριβότεροι και μεγαλύτεροι σε μέγεθος, αλλά έχουν πλεονεκτήματα που περιλαμβάνουν χαμηλότερες απαιτήσεις ισχύος, χαμηλότερα όρια ανίχνευσης αέριων ρύπων και επηρεάζονται λιγότερο από τα υπόλοιπα αέρια του περιβάλλοντος. Έχουν σχετικά βραχεία (περίπου 1 χρόνο) λειτουργική διάρκεια ζωής (Νικολής, 2019).

2.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για μελέτες προσωπικής έκθεσης, όπου οι πρόσφατες εξελίξεις στη νανοτεχνολογία έχουν συμβάλει στη βελτίωση της ευαισθησίας και της επιλεκτικότητας αυτής της τεχνικής, για εφαρμογή σε μετρήσεις χαμηλής συγκέντρωσης πάνω σε συνθήκες περιβάλλοντος. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις διαφόρων ειδών αερίου αναφέρονται γενικά ως αισθητήρες αμπερομετρικού αερίου (AGS). Η αρχή της λειτουργίας τους βασίζεται στην συσχέτιση της συγκέντρωσης του αερίου με το ρεύμα που παράγεται μέσα στην κυψέλη. Αυτό το ρεύμα περιορίζεται από το ρυθμό διάχυσης του αερίου το οποίο με τη σειρά του είναι ανάλογο με τη βαθμίδα συγκέντρωσης κατά μήκος του στοιχείου. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι χαμηλού κόστους, επιλεκτικοί, ευαίσθητοι και έχουν γρήγορους χρόνους απόκρισης. Ωστόσο, επηρεάζονται από εξωτερικές παραμέτρους όπως θερμοκρασία, RH και είναι επίσης ευαίσθητα σε διασταυρούμενες παρεμβολές. Τα είδη που μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική περιλαμβάνουν CO, NO, NO₂, O₃, H₂S και SO₂ (Porroola, 2012).

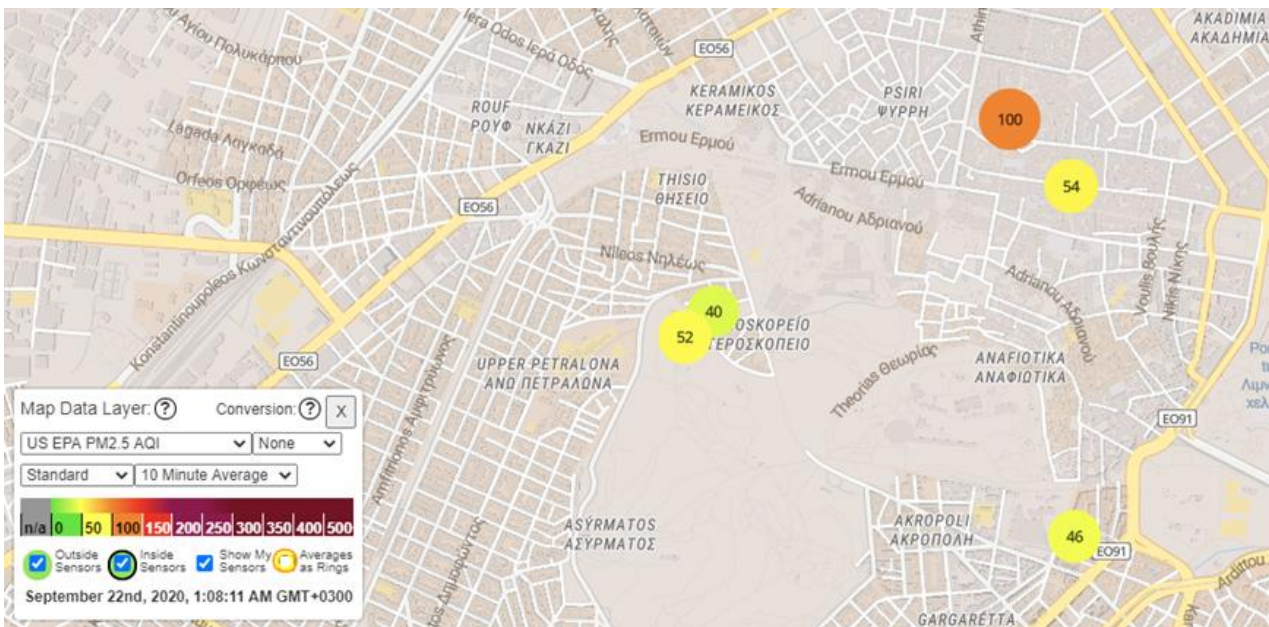


Εικόνα 2.6: Ανάλυση εσωτερικού ενός ηλεκτροχημικού αισθητήρα.

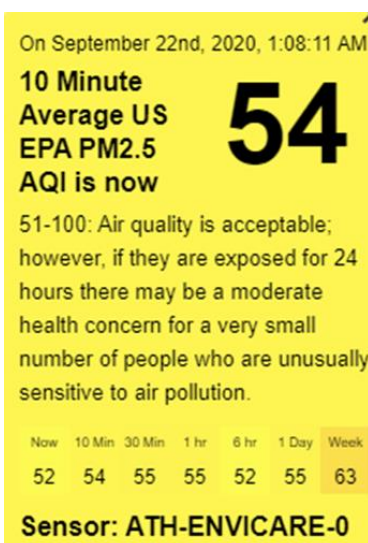
2.3 Ανασκόπησή κύριων χαρτών αποτύπωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Διαδραστικός χάρτης Purple air

Η Purple air είναι μια εταιρία παράγωγης ηλεκτροχημικών αισθητήρων χαμηλού κόστους. Όλοι της οι αισθητήρες συνδέονται σε ένα κοινό δίκτυο απεικόνισης δεδομένων, από το οποίο όλοι οι χρήστες μπορούν να κατεβάσουν τα δεδομένα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του διαδραστικού χάρτη που διαθέτει και που αποτυπώνονται σε αυτόν όλα τα διαθέσιμα σημεία όπου είναι εγκατεστημένοι αισθητήρες purple air. Επιλέγοντας το κάθε σημείο έχεις την τιμή των PM2.5 όπως και το AQI, αλλά και την κλίμακα που κρίνει τα επίπεδα της ρύπανσης (Purple air, 2020).



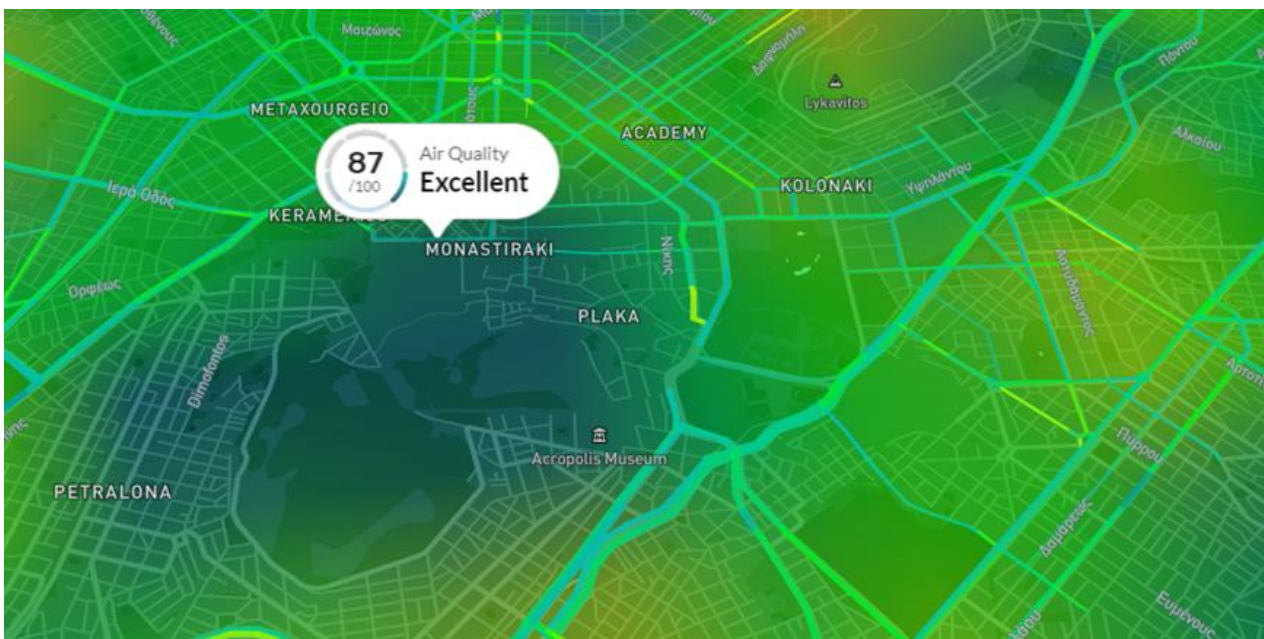
Εικόνα 2.7: Διαδραστικός χάρτης της Purple air (Purple air, 2020).



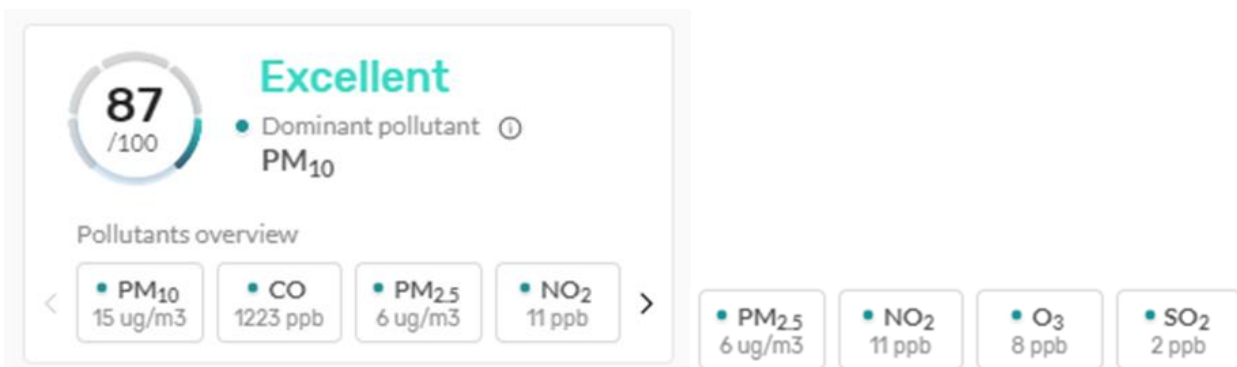
Εικόνα 2.8: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Purple air (Purple air, 2020).

Διαδραστικός χάρτης Breezometer

Το breezometer είναι ένα site απεικόνισης της αέριας ρύπανσης σε διαδραστικούς χάρτες, το οποίο χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα έξυπνης διαχείρισης δεδομένων, όπου όλο το 24ωρο συλλέγει δεδομένα μετρήσεων από όλο τον κόσμο. Στη συνέχεια τα κατηγοριοποιεί, τα επεξεργάζεται και ύστερα τα αποτυπώνει πάνω στον χάρτη. Ουσιαστικά παρουσιάζει την τιμή των PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, SO₂ και O₃ σε οποιοδήποτε σημείο επιλέξει ο χρήστης. Τέλος έχει δημιουργήσει την δική του κλίμακα API με την οποία θέλοντας να είναι κατανοητή από όλες τις χώρες παρουσιάζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας με τη δική του κλίμακα. Η παρούσα εταιρία διαθέτει τους χάρτες της επίσης και από εφαρμογές κινητών τηλεφώνων. (Breezometer, 2020).



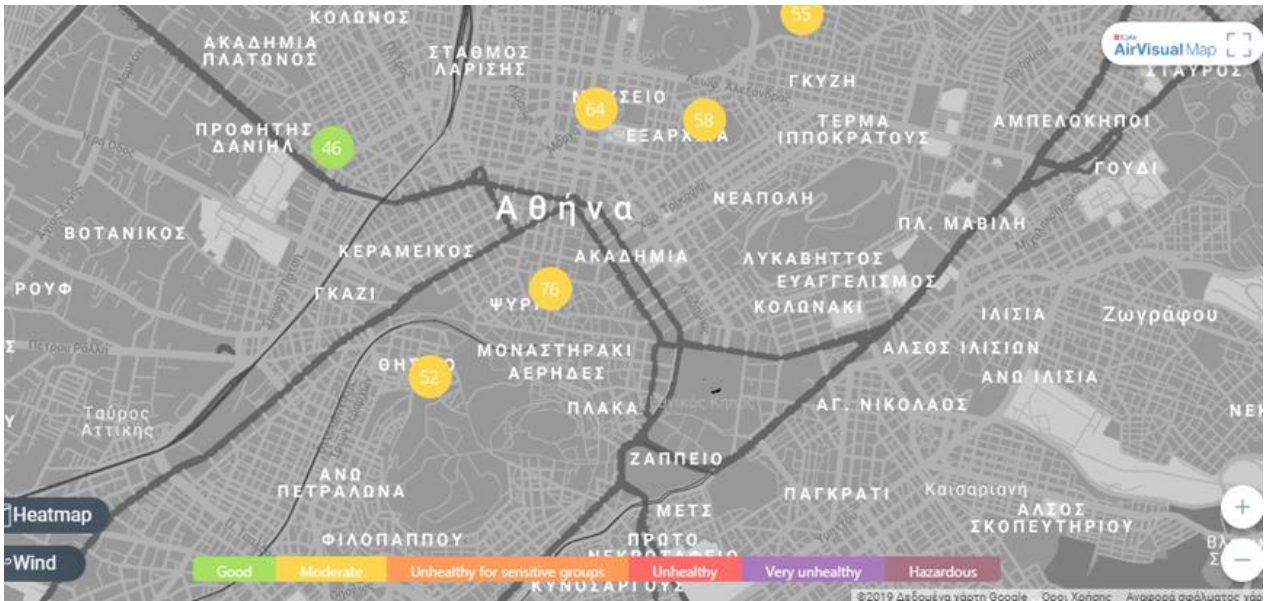
Εικόνα 2.9: Διαδραστικός χάρτης Breezometer (Breezometer, 2020).



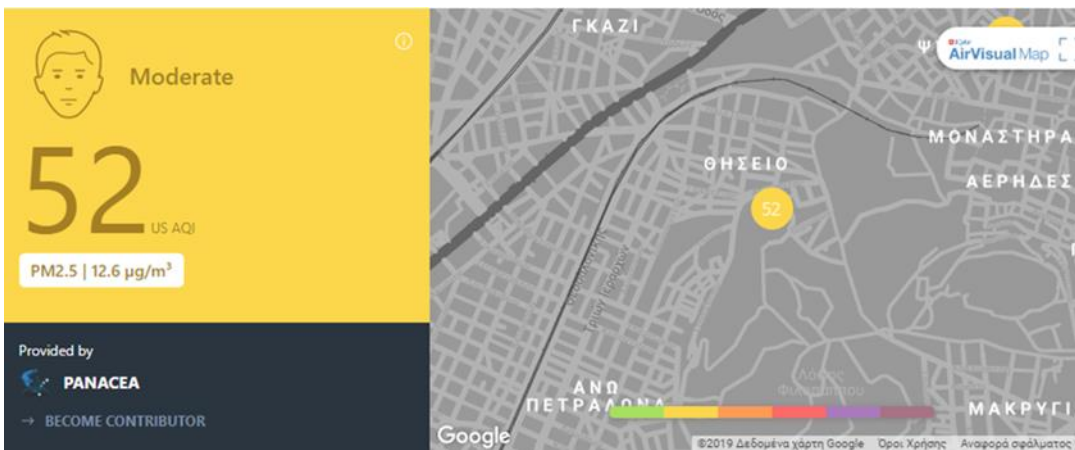
Εικόνα 2.10: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Breezometer (Breezometer, 2020).

Διαδραστικός χάρτης Airvial

Το airvial είναι ένα site απεικόνισης της αέριας ρύπανσης σε διαδραστικούς χάρτες, το οποίο χρησιμοποιεί επί το πλείστον ένα δίκτυο από χαμηλού κόστους αισθητήρες της εταιρίας purple air. Ουσιαστικά παρουσιάζει την τιμή των PM_{2.5} και του AQI στο συγκεκριμένο σημείο αναλύοντας εάν είναι σε καλά επίπεδα η ρύπανση βάση του AQI. Επίσης έχει την δυνατότητα να δεις και τις τιμές ρύπανσης των προηγούμενων ημερών (Air visual, 2020).



Εικόνα 2.11: Διαδραστικός χάρτης της Airvial (Air visual, 2020).



2 Other Sources



Data validated and calibrated
by AirVisual



Sensor By PurpleAir

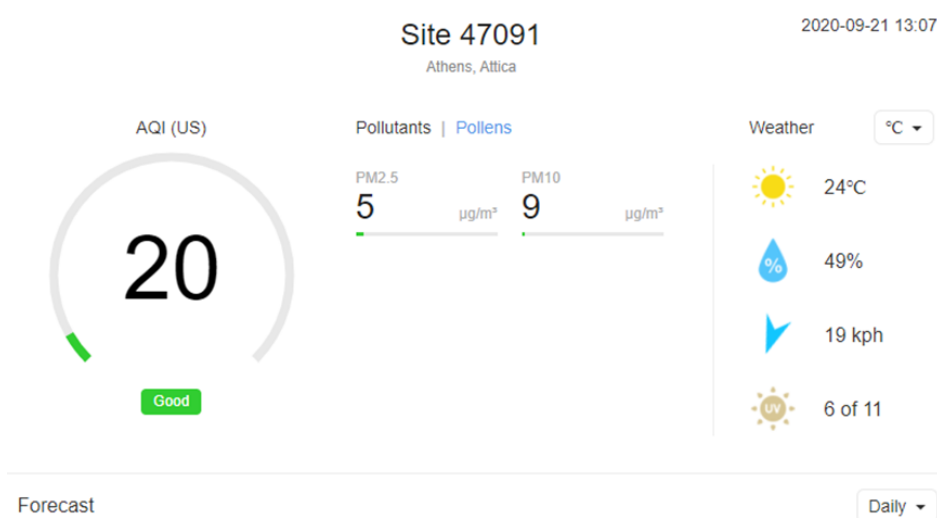
Εικόνα 2.12: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Airvial (Air visual, 2020).

Διαδραστικός χάρτης Air-quality

Το air-quality είναι ένα site απεικόνισης της αέριας ρύπανσης σε διαδραστικούς χάρτες, το οποίο χρησιμοποιεί ένα δίκτυο από σταθερούς σταθμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι οποίοι διαθέτουν όργανα υψηλής ακρίβειας. Ουσιαστικά παρουσιάζει την τιμή των PM10, PM2.5 , AQI και των μετεωρολογικών δεδομένων στο συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται ο κάθε σταθμός αναλύοντας εάν είναι σε καλά επίπεδα η ρύπανση βάση του AQI. Επίσης έχει την δυνατότητα να δεις και τις τιμές ρύπανσης των προηγούμενων ημερών, όπως επίσης παρουσιάζει και διαγράμματα συγκρίνοντας τις (Air-quality, 2020).



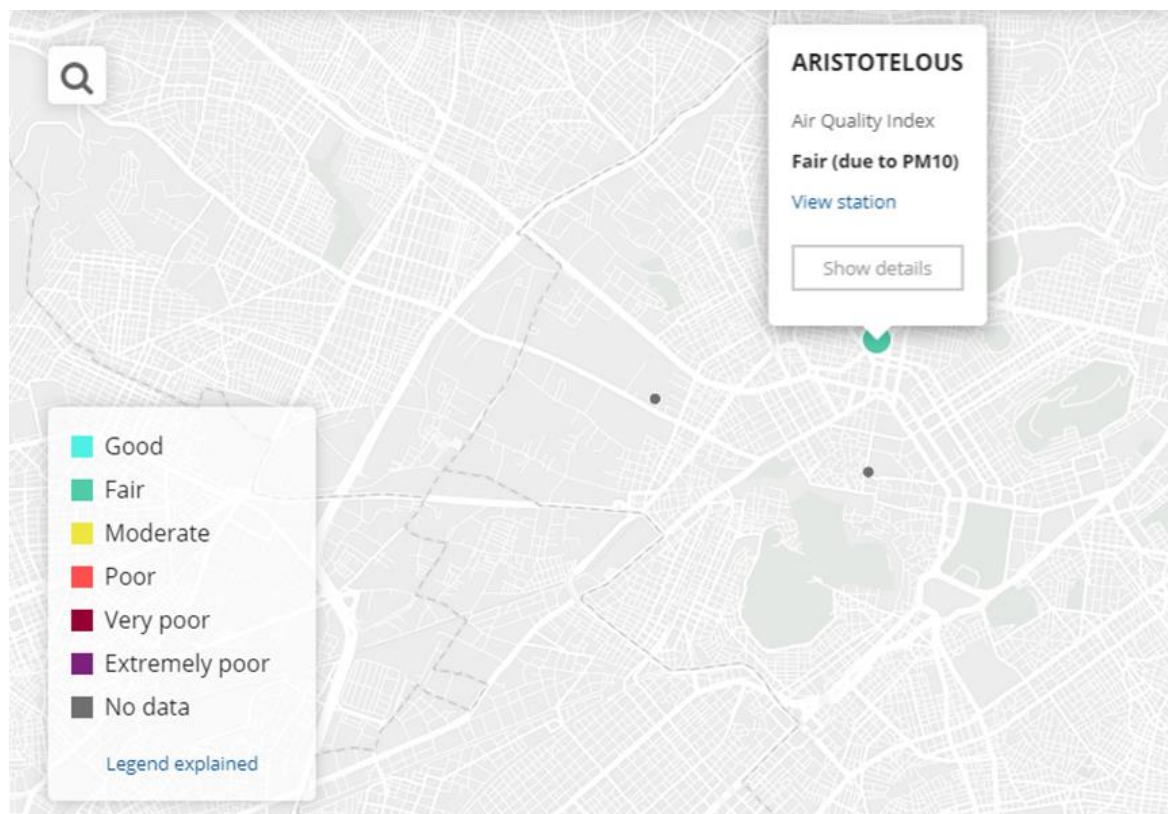
Εικόνα 2.13: Διαδραστικός χάρτης της Air-quality (Air-quality, 2020).



Εικόνα 2.14: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Air-quality (Air-quality, 2020).

Διαδραστικός χάρτης Airindex

Το airindex είναι ένα site της Ευρωπαϊκής ένωσης που απεικονίζει την αέρια ρύπανση σε χάρτες, το οποίο χρησιμοποιεί επί το πλείστον ένα δίκτυο από συνεργαζόμενους σταθμούς. Ουσιαστικά παρουσιάζει την τιμή των AQI για PM10, PM2.5, NO₂, O₃ και SO₂ μέσω κλίμακας για τον κάθε ρύπο ώστε να δείξει πόσο επιβλαβές είναι η ατμόσφαιρα της εκάστοτε περιοχής (Air index, 2020).

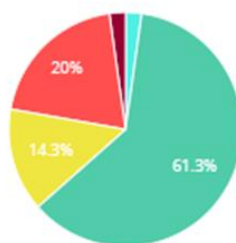


Εικόνα 2.15: Διαδραστικός χάρτης της Airindex (Air index, 2020).

ARISTOTELOUS (GR0003A)

Accumulated past 365 days

Air Quality Index	Fair (due to PM10)
Date	2020-09-19 18:00 UTC+3
Country	Greece
Location	Αθήνα
Classification	Traffic
Area	Urban



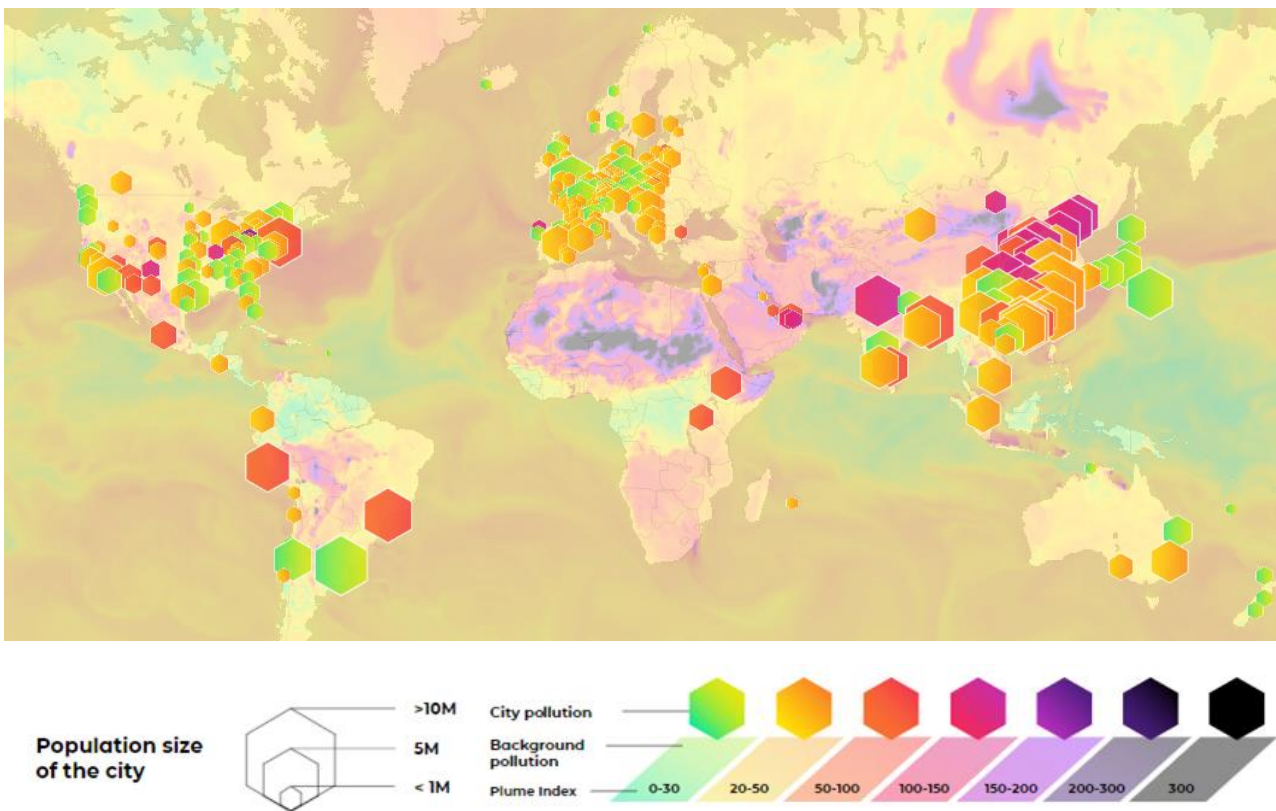
General population

Enjoy your usual outdoor activities.

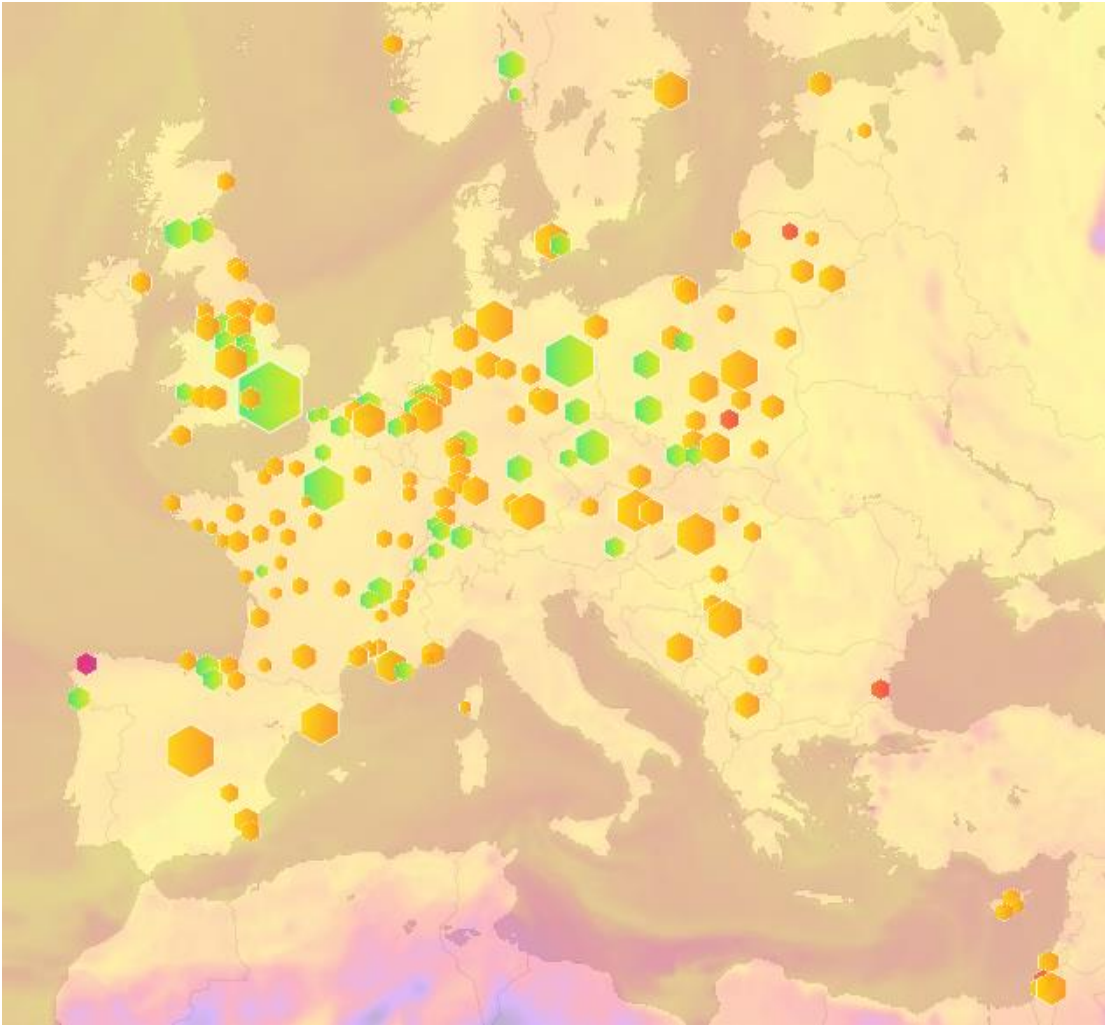
Εικόνα 2.16: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Airindex (Air index, 2020).

Διαδραστικός χάρτης Air Plume Labs

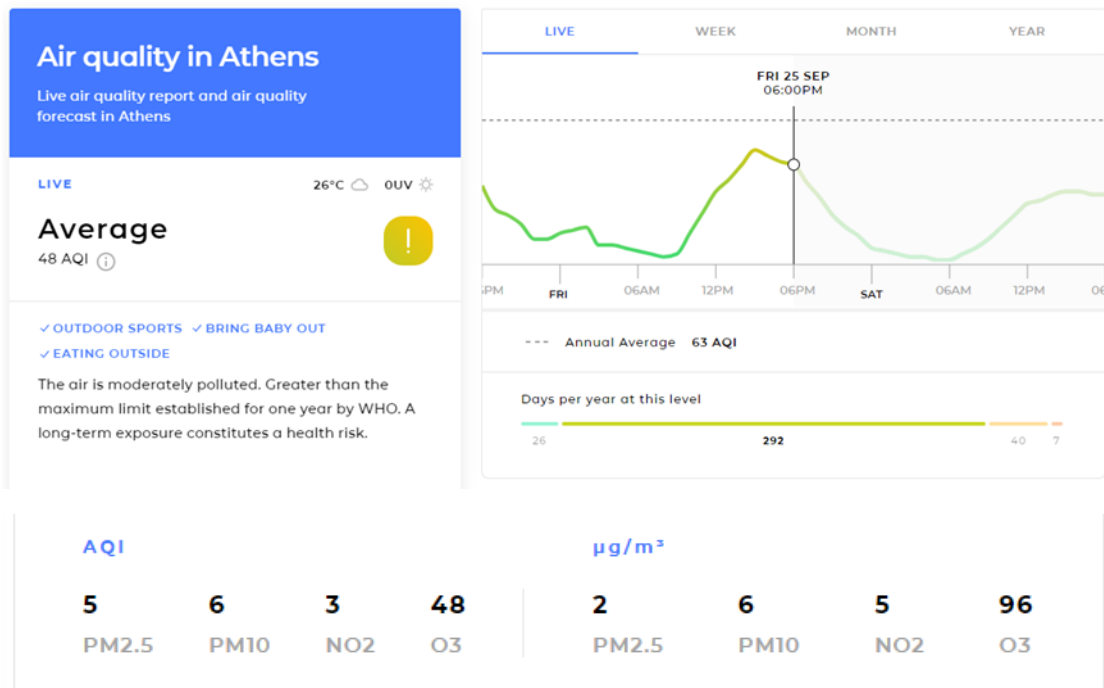
Η Air Plume Labs είναι μια εταιρία η οποία παράγει αισθητήρες χαμηλού κόστους μέτρησης αέριας ρύπανσης τους 'flow'. Συλλέγοντας τα δεδομένα και τις γεωγραφικές συντεταγμένες των αισθητήρων η εταιρία έχει δημιουργήσει και διαθέσει στο κοινό έναν διαδραστικό χάρτη αποτύπωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης για πολλές από τις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου. Στην Ελλάδα δεν λειτουργεί κάποιος αισθητήρας της εταιρίας, οπότε μέσω ενός συστήματος έξυπνης διαχείρισης δεδομένων μας δίνει τιμές και για την χώρα μας. Ουσιαστικά παρουσιάζει την τιμή των PM10, PM2.5, NO₂ και O₃ καθώς και των AQI τους μέσω μιας κλίμακας ώστε να γίνει πιο κατανοητή η ρύπανση. Τέλος έχει και την δική της εφαρμογή για έξυπνα κινητά τηλέφωνα για την καλύτερη ενημέρωση των πολιτών (Air Plume Labs 2020).



Εικόνα 2.17: Διαδραστικός χάρτης της Air Plume Labs (Air Plume Labs 2020).



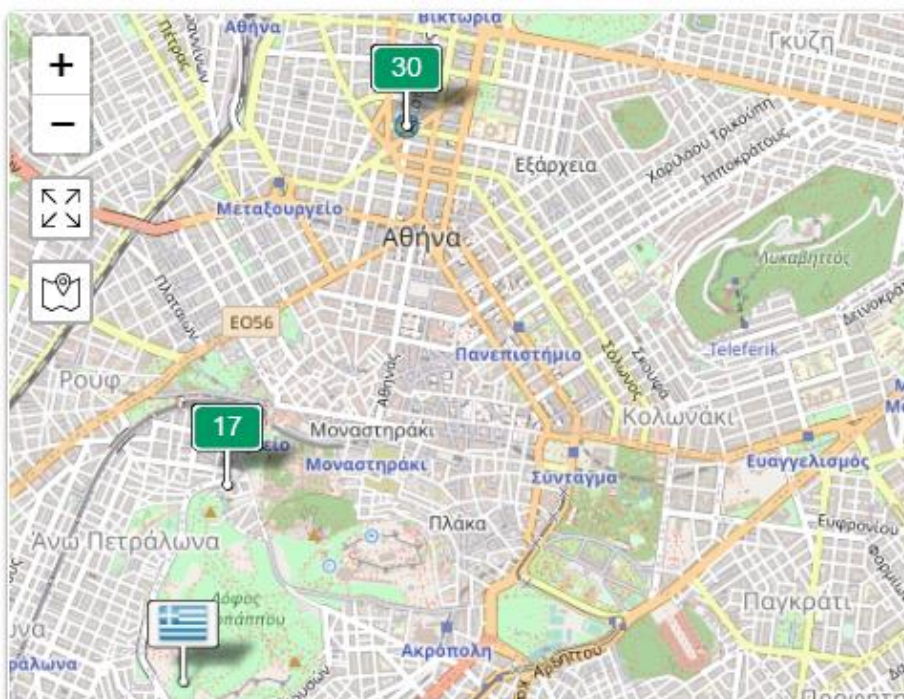
Εικόνα 2.18: Διαδραστικός χάρτης Ευρώπης της Air Plume Labs (Air Plume Labs 2020).



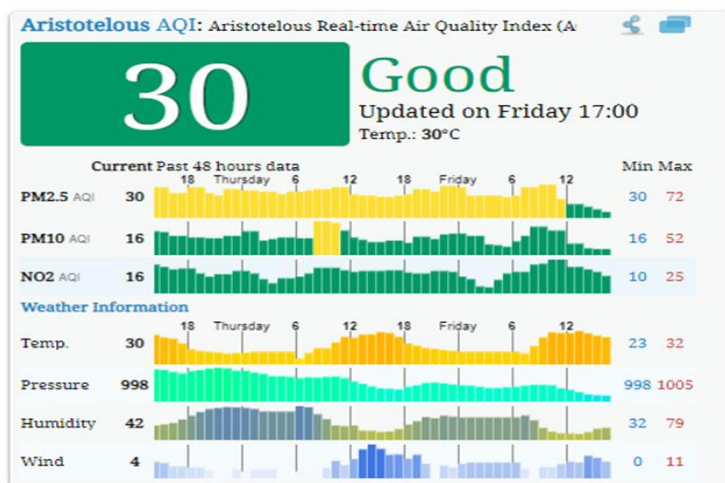
Εικόνα 2.19: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Air Plume Labs (Air Plume Labs 2020).

Διαδραστικός χάρτης Aqicn

Το Aqicn είναι ένα site απεικόνισης της αέριας ρύπανσης σε διαδραστικούς χάρτες, το οποίο χρησιμοποιεί τα δεδομένα από ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ και από European Environment Agency. Έτσι με το δίκτυο αυτό από σταθερούς σταθμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οι οποίοι διαθέτουν όργανα υψηλής ακρίβειας, όπου παρουσιάζει την τιμή των PM10, PM2.5, AQI και των μετεωρολογικών δεδομένων στο συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται ο κάθε σταθμός, αναλύοντας εάν είναι σε καλά επίπεδα η ρύπανση βάση του AQI. Επιπλέον έχει την δυνατότητα να δεις και τις τιμές ρύπανσης των προηγούμενων ημερών, όπως επίσης παρουσιάζει και διαγράμματα για την καλύτερη κατανόηση (Aqicn 2020).



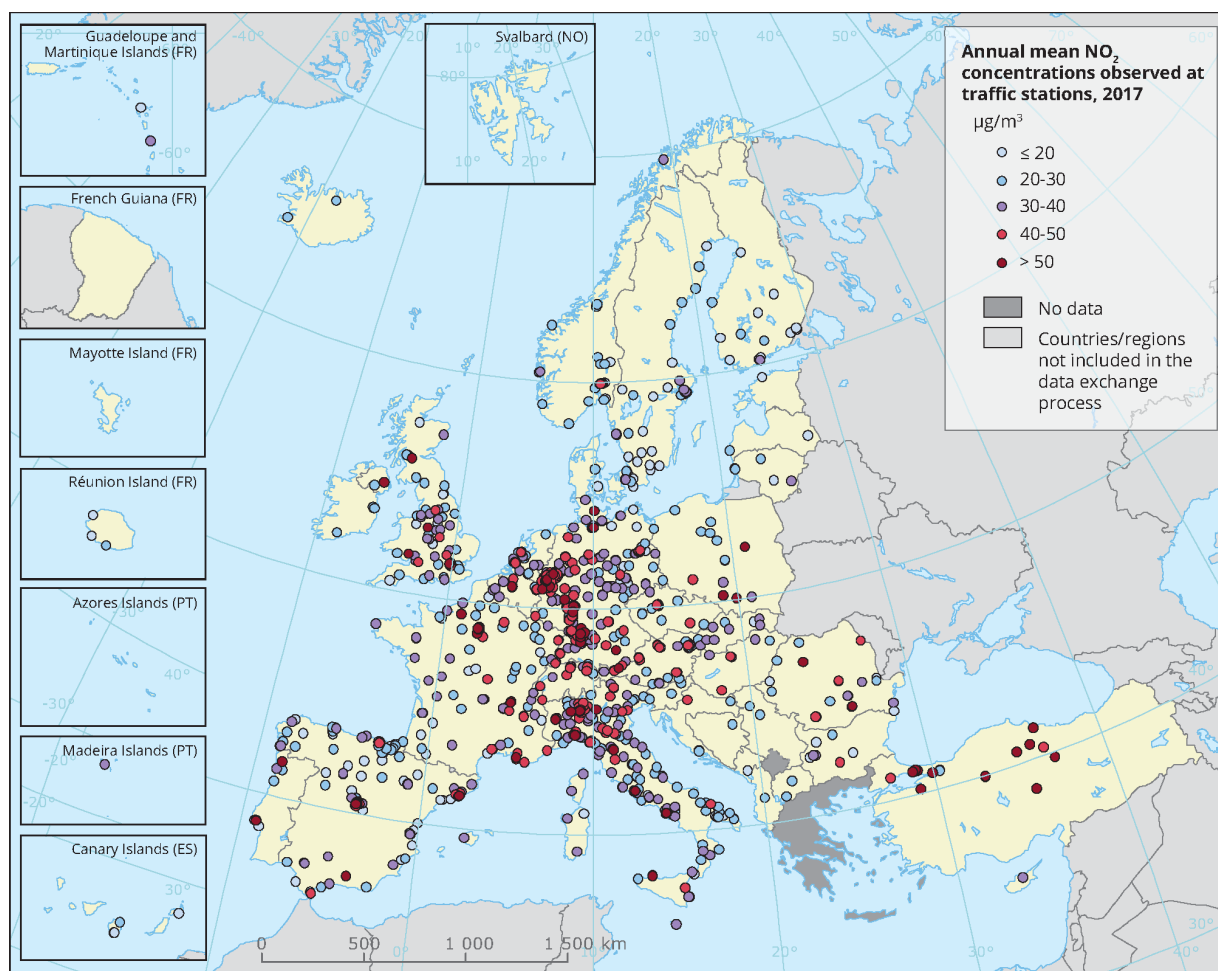
Εικόνα 2.20: Διαδραστικός χάρτης της Aqicn (Aqicn 2020).



Εικόνα 2.21: Απεικόνιση δεδομένων διαδραστικού χάρτη της Aqicn (Aqicn 2020).

Χάρτης NO₂ European Environmental Agency

Στο ηλεκτρονικό σάιτ του European Environmental Agency παρουσιάζεται ένας ολοκληρωμένος χάρτης της Ευρώπης, αναλύοντας την ποσότητα του NO₂ στις πόλεις της. Παίρνει τα δεδομένα από σταθερούς σταθμούς από όλη την Ευρώπη και παρουσιάζει τα αποτελέσματα με μια κλίμακα ποιότητας της ατμόσφαιρας. Δεν υπάρχουν δεδομένα για την Ελλάδα (European Environmental Agency 2020).



Εικόνα 2.22: Χάρτης NO₂ του European Environmental Agency (European Environmental Agency 2020).

2.4 Εφαρμογές μετρήσεων με αισθητήρες χαμηλού κόστους

Σε αυτό το σημείο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατίθενται κάποιες από τις πιο πρόσφατες έρευνες πάνω στις μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως στην χρήση των αισθητήρων χαμηλού κόστους για την επίτευξη των στόχων τους.

- Σε μια πρόσφατη μελέτη (Blythe et al., 2008) στο Gateshead του Ηνωμένου Βασιλείου, παρακολουθήθηκαν μόνο CO και NO₂ κατά την ανάπτυξη δικτύου αισθητήρων. Επιπλέον, η μετάδοση δεδομένων κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης έγινε μέσω ενός πρωτοκόλλου όπου τα δεδομένα έπρεπε να περάσουν από 2 ή περισσότερα δίκτυα για να φτάσουν στην διεύθυνση του προορισμού.
- Η ομάδα επιστημόνων (Weissert et al., 2019) από την Νέα Ζηλανδία έκαναν μια μελέτη στο Auckland με αφορμή την υψηλή κυκλοφορία ντίζελ αυτοκινήτων, όπου έχει ως επακόλουθο την παράγωγη μεγάλης ρύπανση. Η μελέτη γίνεται σε ένα πολυσύχναστο δρόμο 2 χιλιομέτρων, τέσσερα χιλιόμετρα μακριά από το κέντρο. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν 8 χαμηλού κόστους αισθητήρες σε αποστάσεις από 100-1000 μέτρα κοντά σε στάσεις λεωφορείων. Τα συμπεράσματα που έβγαλαν είναι πως υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις του NO₂ για διάφορες 100 μέτρων και οι συγκεντρώσεις του ακόμα και την μέρα δεν ξεπέρασαν τα 20 μg/m³.
- Σύμφωνα με την μελέτη (Schneider et al., 2017) οι ερευνητές κατά την διάρκεια του έτους 2016 χαρτογραφούν την ρύπανση σε NO₂ της ατμοσφαιράς του Όσλο, με μετρήσεις που πήραν από ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Ουσιαστικά μας λένε πως επειδή δεν ήταν πολύ σωστές οι μετρήσεις μόνο με τους αισθητήρες χρησιμοποίησαν μια μέθοδο όπου συνέπτυξαν αυτές τις μετρήσεις με τιμές που πήραν από προγράμματα πρόβλεψης. Έβγαλαν ποσοστό ακριβείας 89%.
- Οι ερευνητές αυτής της μελέτης (Lim et al., 2019) χρησιμοποίησαν χαμηλού κόστους αισθητήρες (250 δολάρια) βασισμένους σε κινητό τηλέφωνο για να μετρήσουν PM_{2.5} στην Σεούλ της Νότιας Κορέας. Πήραν συνολικά 169 ώρες δεδομένων και μέσω του OpenStreetMap τα έκαναν εξαγωγή. Έπειτα μέσω κάποιων μοντέλων μηχανικής μάθησης με την χρήση αλγορίθμων πήραν κάποια ποσοστά ακρίβειας και διάλεξαν το καλύτερο. Δηλαδή εξισοροπήσαν τις μετρήσεις με αυτόν τον τρόπο .
- Σε μια άλλη εργασία (Tasic et al., 2016) οι ερευνητές χρησιμοποιεί χαμηλού κόστους αισθητήρες συνδεδεμένους με Arduino για να μετρήσει PM_{2.5} εντός του σπιτιού. Το Arduino τρέχει ένα λογισμικό (Osiris) ώστε να καλιμπράρει τις μετρήσεις.
- Σε αυτήν την εργασία (Oliveira et al., 2019) οι ερευνητές συλλέγουν μετρήσεις CO, CO₂, NO₂, και O₃ όπως επίσης θερμοκρασία, υγρασία, υψόμετρο και ταχύτητα στο Sao Paulo της Βραζιλίας. Οι μετρήσεις έγιναν σε 5 ταξίδια με εξοπλισμένα αυτοκίνητα με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. Για την αποτύπωση αυτών των μετρήσεων χρησιμοποίησαν την τεχνική αυτό-οργανωμένων χαρτών (SOM). Επίσης αντιμετώπισαν προβλήματα με την ακρίβεια των μετρήσεων από τους ρύπους.
- Μια επιπλέον μελέτη (Sifakis et al., 2005) αφορά την Αθήνα και έχει διεξαχθεί από το αστεροσκοπείο Αθηνών. Μελέτησαν τις μεταβολές των σωματιδίων στο λεκανοπέδιο

Αθηνών από το 1984 έως το 2000 και πήραν μετρήσεις με ένα δορυφόρο υψηλή χωρικής λεπτομέρειας. Έτσι από φωτογραφίες με θερμικά κανάλια μπορούσαν να βγάλουν τα συμπεράσματα τους για την ρύπανση της περιοχής.

3. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

3.1 Μετρήσεις με τον εξοπλισμό του κινητού εργαστήριου (βαν)

Κατά τη διενέργεια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρικό βαν του εργαστήριου ήπιων μορφών ενέργειας, του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στο οποίο είναι εγκατεστημένο εντός του, ένα ολοκληρωμένο εργαστήριο το οποίο καθίσταται πλέον κινητό. Εντός του υπάρχουν όργανα υψηλής ακριβείας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για ημερήσια μέτρηση στο κέντρο της Αθήνας, στην περιοχή όπου βρίσκεται το Μοναστηράκι.



Εικόνα 3.1: Το κινητό εργαστήριο (βαν).

3.1.1 Περιγραφή του εξοπλισμού του κινητού εργαστήριου

Εντός του ηλεκτρικού βαν υπάρχει ένας κεντρικός υπολογιστής στον οποίο είναι συνδεδεμένοι οι τέσσερις αναλυτές που υπάρχουν επίσης εντός. Οι αναλυτές αυτοί μετράνε O_3 , CO , NO_x , SO_2 και για να γίνουν εφικτές οι μετρήσεις χρειάζονται δείγμα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, το οποίο γίνεται στην πράξη με την χρήση αντλιών οι οποίες των μεταφέρουν μέσα από σωληνάκια μικρής διαμέτρου. Στον υπολογιστή γίνεται εφικτή η σύνδεση με τους αναλυτές μέσω συγκεκριμένων καλωδίων και θηρών. Έπειτα ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι σε θέση να απεικονίσει και να καταγράψει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό γίνεται εφικτό μέσω του προγράμματος WinAQMS το οποίο είναι εγκατεστημένο και ανοίγει αυτόματα. Εν τέλη εντός του βαν υπάρχει μονάδα κλιματισμού η οποία είναι αναγκαία για την διατήρηση της θερμοκρασίας μεταξύ $25-27^{\circ}C$ ώστε να λειτουργούν οι αναλυτές σωστά (Σπυρόπουλος, 2017).



Εικόνα 3.2: Η διάταξη εντός του βαν με τους αναλυτές και τον ηλεκτρονικός υπολογιστής.

3.1.2 Περιγραφή αναλυτών

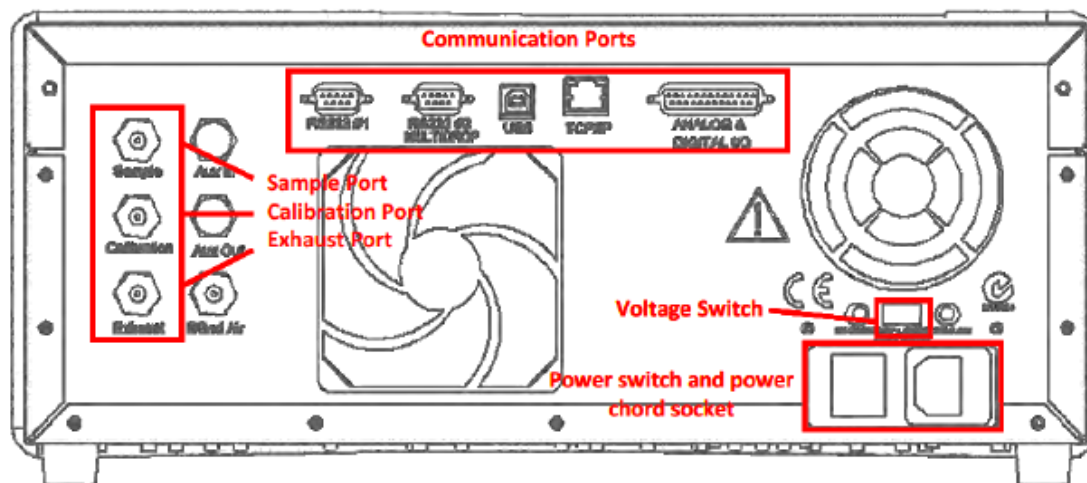
Οι αναλυτές που υπάρχουν στο ηλεκτρικό βάν έχουν την ακόλουθη μορφή εξωτερικά, όπως στη εικόνα 3.3 . Πιο συγκεκριμένα στην οθόνη απεικονίζεται, η στιγμιαία τιμή της συγκέντρωσης του ρύπου σε ppm και η μέση τιμή του ενός λεπτού. Επιπλέον αναγράφεται η ημερομηνία και η ώρα καθώς επίσης και η ένδειξη ανίχνευσης usb.



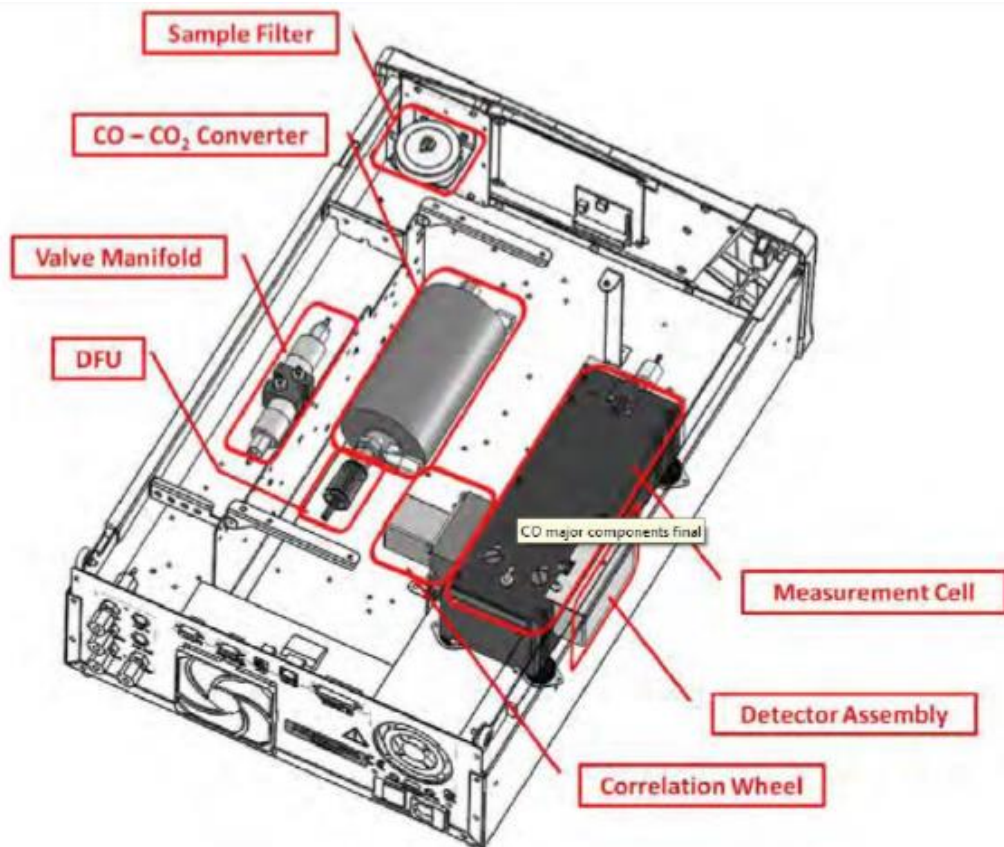
Εικόνα 3.3 : Εξωτερική μορφή αναλυτών.

Αναλυτής CO

Ο αναλυτής CO έχει ένα εξάρτημα (εσωτερικά) το οποίο πρέπει να βιδώνεται κατά τη μεταφορά του αναλυτή και να ξεβιδώνεται όταν γίνεται μέτρηση.



Εικόνα 3.4: Το πίσω μέρος του αναλυτή.



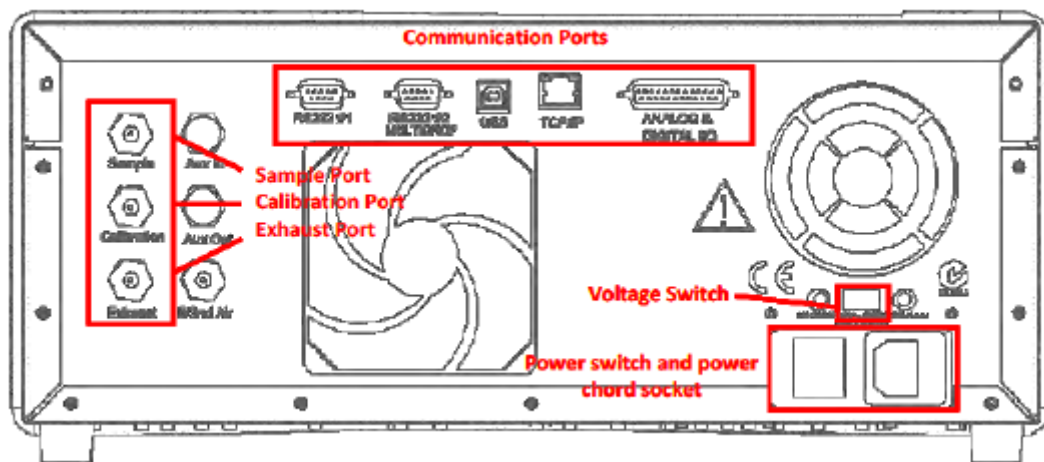
Εικόνα 3.5: Το εσωτερικό του αναλυτή.

Προδιαγραφές

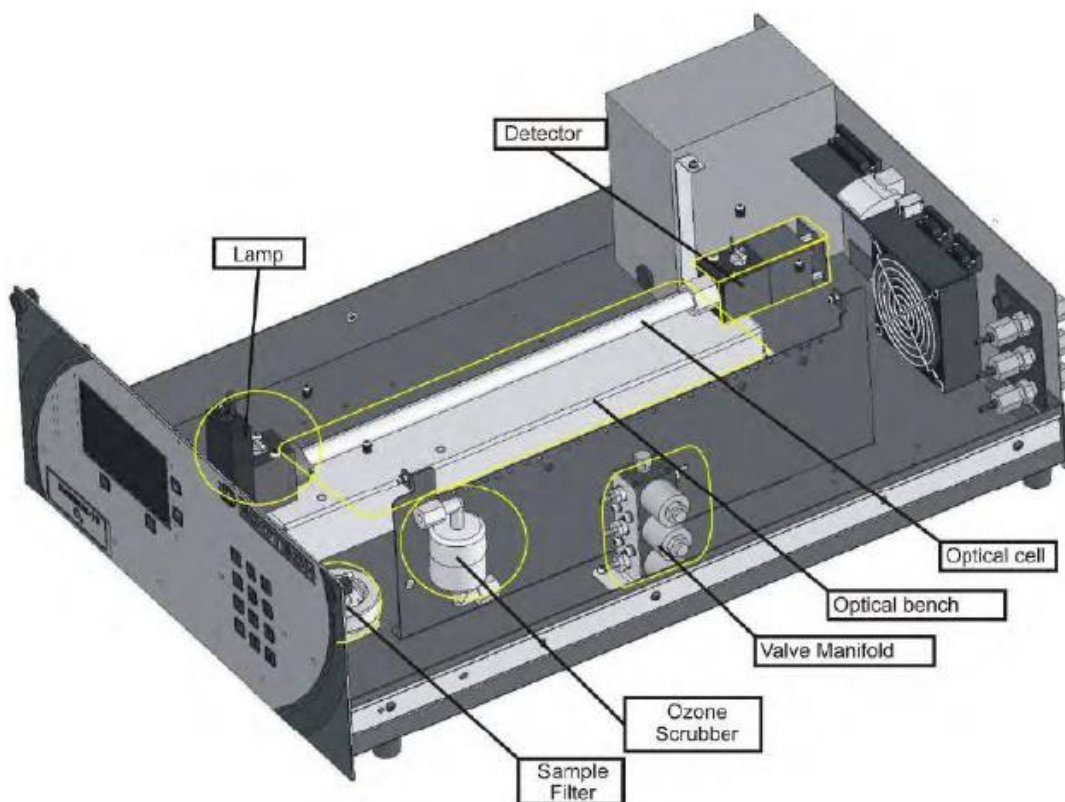
- Εύρος: 0-200ppm
- Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος: 5 °C-40 °C
- Θερμοκρασία δείγματος: 5% αλλαγή στην πίεση προκαλεί λιγότερο από 1% μεταβολή στην τιμή ανάγνωσης.
- Μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας: 3000 μέτρα από το όριο της θάλασσας.

Αναλυτής O₃

- Ozone scrubber: Υψηλές συγκεντρώσεις αρωματικών υδρογονανθράκων μπορεί να έχουν επίπτωση στις μετρήσεις όζοντος.
- Lamp Driver PCB: Προσοχή: Έχει υψηλή τάση. Ο αναλυτής πρέπει να είναι σβηστός όταν επεμβαίνουμε σε αυτό το εξάρτημα
- Στον αναλυτή όζοντος, λόγω κατακράτησης οργανικών στοιχείων στα φίλτρα τα οποία αντιδρούν με το όζον και επηρεάζουν τις μετρήσεις, η αντικατάσταση των φίλτρων θα πρέπει να γίνεται συχνότερα σε σχέση με τους υπόλοιπους αναλυτές



Εικόνα 3.6: Το πίσω μέρος του αναλυτή.



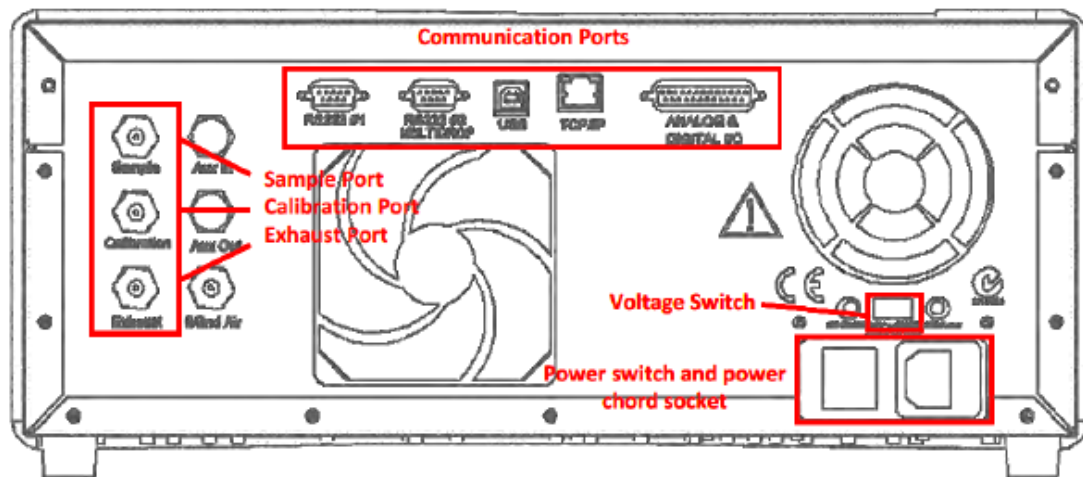
Εικόνα 3.7: Το εσωτερικό του αναλυτή.

Προδιαγραφές

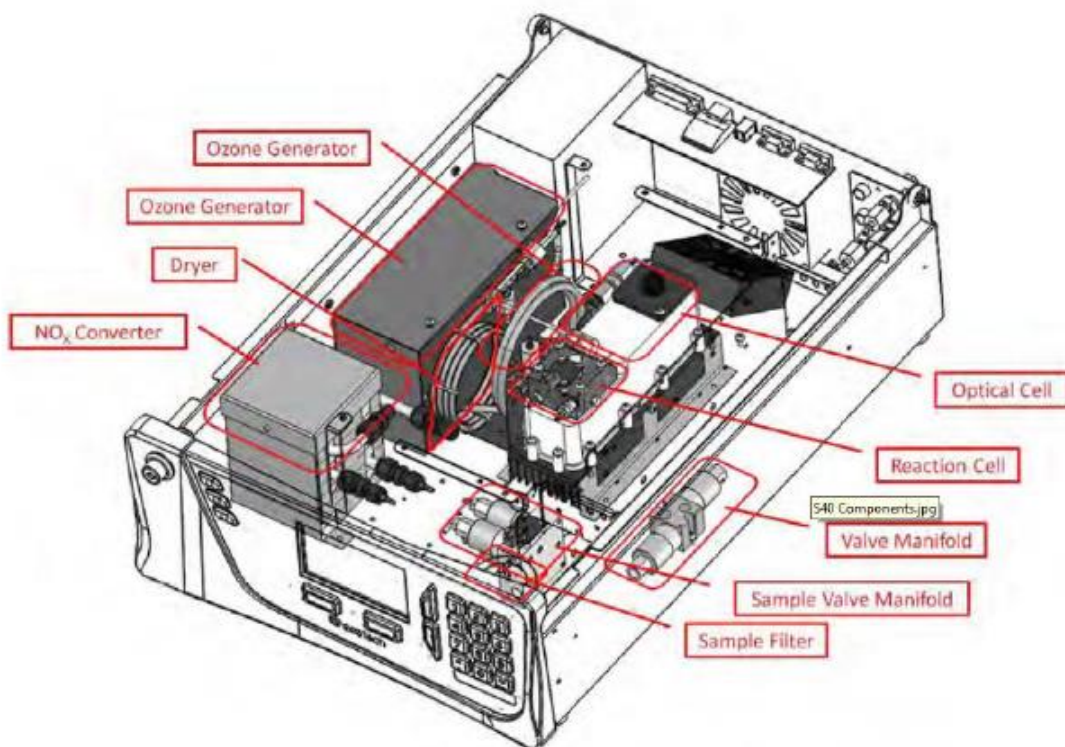
- Εύρος: 0-20ppm
- Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος: 5 °C - 40 °C
- Θερμοκρασία δείγματος: 5% αλλαγή στην πίεση προκαλεί λιγότερο από 1% μεταβολή στην τιμή ανάγνωσης.
- Μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας: 3000 μέτρα από το όριο της θάλασσας.

Αναλυτής NO_x

- Χρειάζεται παραπάνω χρόνο προθέρμανσης από τους υπόλοιπους αναλυτές, περίπου 60 λεπτά προθέρμανση για να φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία
- Ο αναλυτής οξειδίων του αζώτου πρέπει να λειτουργεί με δικιά του αντλία.



Εικόνα 3.8: Το πίσω μέρος του αναλυτή.

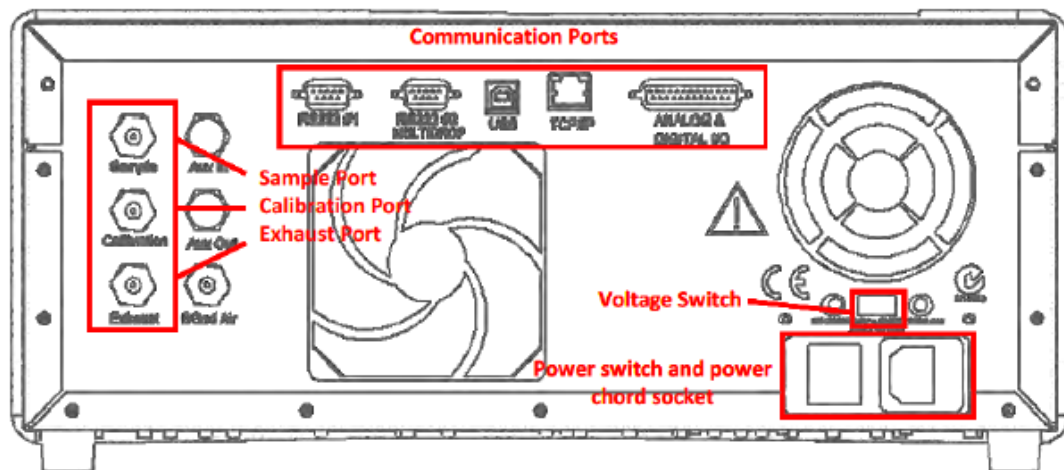


Εικόνα 3.9: Το εσωτερικό του αναλυτή.

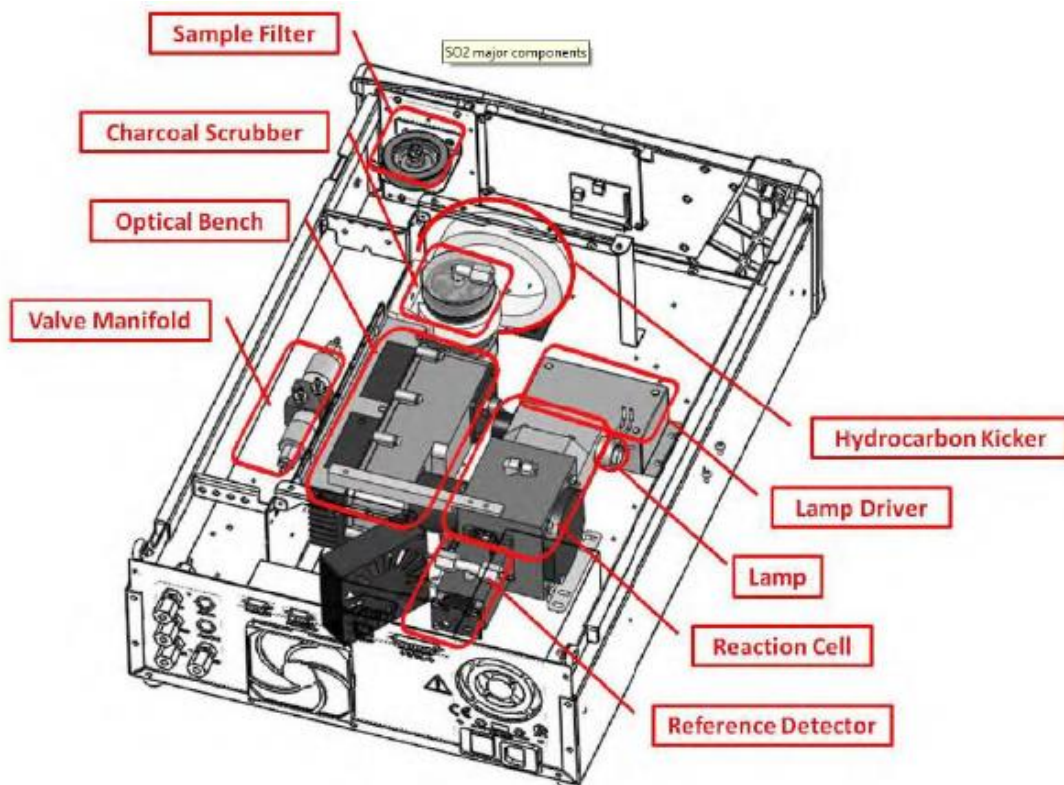
Προδιαγραφές

- Εύρος: 0-20ppm, 0-50ppb
- Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος: 5 °C-40 °C
- Θερμοκρασία δείγματος: 5% αλλαγή στην πίεση προκαλεί λιγότερο από 1% μεταβολή στην τιμή ανάγνωσης.
- Μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας: 3000 μέτρα από το όριο της θάλασσας.

Αναλυτής SO₂



Εικόνα 3.10: Το πίσω μέρος του αναλυτή.



Εικόνα 3.11: Το εσωτερικό του αναλυτή.

Προδιαγραφές

- Εύρος: 0-20ppm
- Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος : 5 °C-40 °C
- Θερμοκρασία δείγματος: 5% αλλαγή στην πίεση προκαλεί λιγότερο από 1% μεταβολή στην τιμή ανάγνωσης.
- Μέγιστο υψόμετρο λειτουργίας: 3000 μέτρα από το όριο της θάλασσας.

3.1.3 Σύνδεση αναλυτών με τα πνευματικά συστήματα

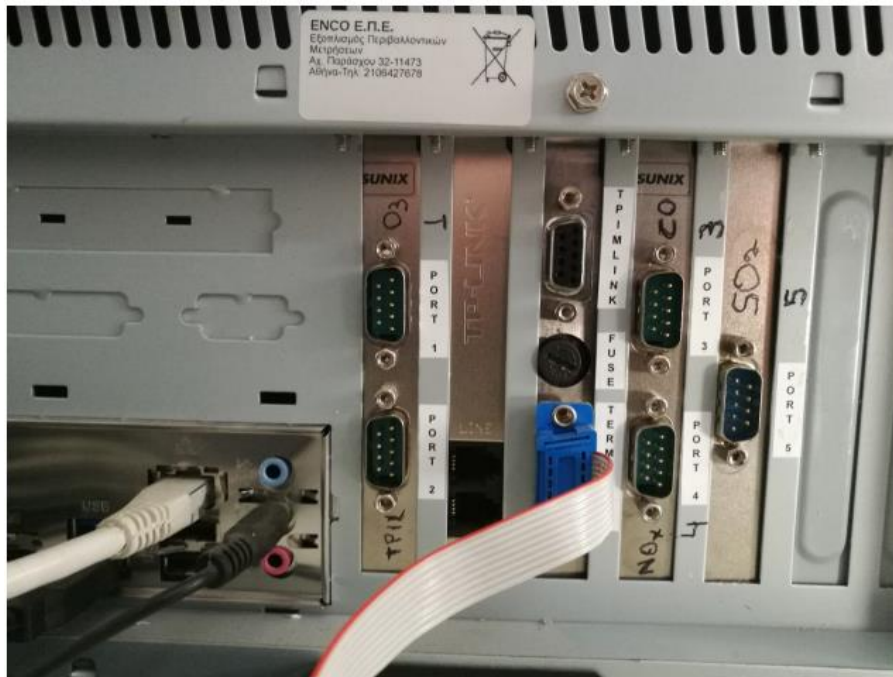
Και οι 4 αναλυτές διαθέτουν πνευματικές θύρες εισόδου (3 για τον αναλυτή O₃ και 4 για τους αναλυτές CO, NO_x και SO₂) στην πίσω πλευρά τους. Όλα τα σωληνάκια και τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να ακολουθούν τις εξής οδηγίες:

- Θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από τεφλόν, kynar, ανοξείδωτο ατσάλι, γυαλί ή από οποιοδήποτε αποδεκτό αδρανές υλικό.
- Το σωληνάκι εισαγωγής από την αντλία προς τον αναλυτή, δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 2 μέτρα σε μήκος με 1/8 inch εσωτερική διάμετρο και ¼ inch εξωτερική διάμετρο.
- Η πίεση εισόδου του δείγματος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5kPa πάνω από την πίεση του περιβάλλοντος.
- Οι σωληνώσεις θα πρέπει να κοπούν με τετραγωνική διατομή και να αφαιρεθούν τα γρέζια.

Μετά το πέρας της μέτρησης μέσω της σωλήνωσης εξαερισμού το δείγμα απομακρύνεται στο περιβάλλον (Σπυρόπουλος, 2017).

3.1.4 Σύνδεση αναλυτών με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή

Οι αναλυτές θα πρέπει να συνδεθούν με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν οι κατάλληλες σημάνσεις στην πίσω πλευρά του υπολογιστή ,που μας βοηθούν να καταλαβαίνουμε σε ποια θύρα συνδέεται ο κάθε αναλυτής.

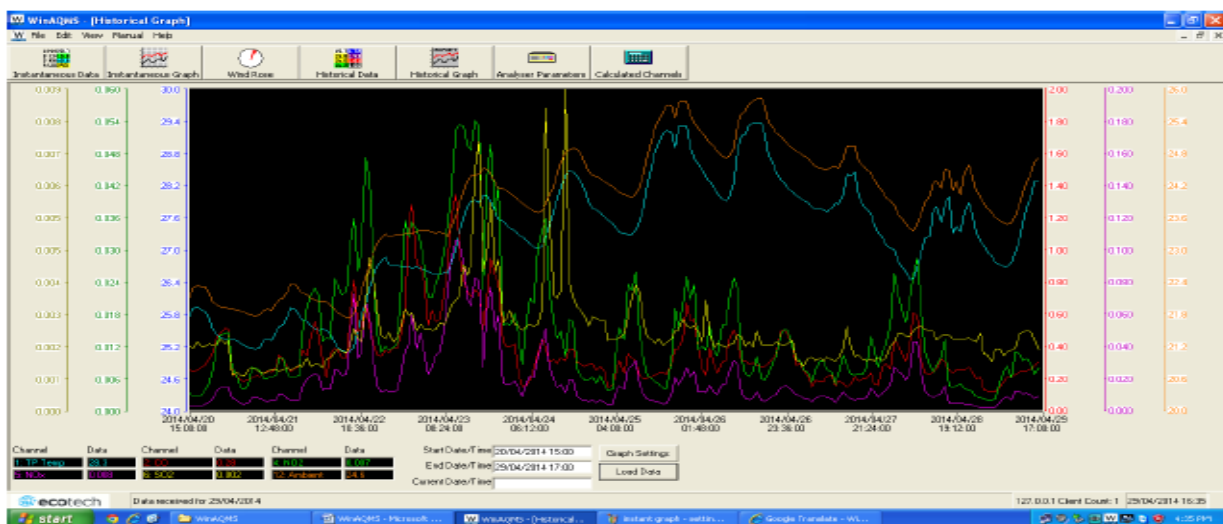


Εικόνα 3.12: Η πίσω πλευρά του υπολογιστή με τις σημάνσεις.

Όπως παρατηρούμε, σε κάθε θύρα του υπολογιστή υπάρχει ένας αριθμός αλλά και το στοιχείο που μετράει ο κάθε αναλυτής, ώστε να είναι σαφές σε ποια θύρα συνδέεται το καλώδιο του εκάστοτε αναλυτή. Παρόμοιες ενδείξεις υπάρχουν και πάνω στα καλώδια των αναλυτών για να μας διευκολύνουν στην σύνδεση τους μετά από κάποια μεταφορά (Σπυρόπουλος, 2017).

3.1.5 Λειτουργία προγράμματος WinAQMS

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που υπάρχει στο βαν είναι εγκατεστημένο και τρέχει αυτόματα το πρόγραμμα WinAQMS, το οποίο καταγραφεί τα δεδομένα κατά την λειτουργία των αναλυτών και έχει την δυνατότητα να βλέπουμε τις τιμές των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη. Επίσης καταγράφει το ιστορικό αυτών και είναι εφικτό να γίνουν διαγράμματα και συγκρίσεις. (Σπυρόπουλος, 2017).



Εικόνα 3.13 : Παράδειγμα απεικονίσεις γραφήματος στο πρόγραμμα WinAQMS.

3.2 Διαδικασία και μέθοδος καταγραφής μετρήσεων με το κινητό εργαστήριο

Αρχικά επιλέξαμε το Μοναστηράκι στο κέντρο της Αθήνας θέλοντας να καταγράψουμε την ατμοσφαιρική ρύπανση σε ένα από τα πιο κεντρικά και πολυσύχναστα μέρη της Αθήνας, ώστε να έχουμε την ευκαιρία να μελετήσουμε ενδιαφέρον αποτελέσματα που αφορούν ένα μεγάλο κομμάτι των πολιτών που περνούν από εκεί καθημερινά. Πολλοί ερευνητές είχαν επιλέξει να κάνουν κάποιες διαδρομές με τα κινητά εργαστήρια τους όπως οι (Oliveira et al. 2019) οι οποίοι χρησιμοποίησαν χαμηλού κόστους όργανα. Εμείς από την άλλη, χρησιμοποιώντας υψηλής ακρίβειας όργανα που είναι εντός του κινητού εργαστήριου, μας ενδιέφερε περισσότερο η στάθμευση στο συγκεκριμένο σημείο και η περισυλλογή δεδομένων, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση και ανάλυση και με τα χαμηλού κόστους όργανα που διαθέτουμε. Στα θετικά του κινητού εργαστήριου, είναι πως γίνεται εφικτή η μεταφορά και λειτουργία όλων αυτών των οργάνων ακρίβειας χωρίς να τίθεται θέμα βάρους κατά την μεταφορά, αλλά και πως λόγω του ότι είναι ηλεκτροκίνητο δεν παρεμβάλλει στις μετρήσεις που παίρνουμε. Παρακάτω θα αναλυθεί η διαδικασία καταγραφής ρύπων με το ηλεκτροκίνητο βαν, όπως επίσης και οι σχετικές διαδικασίες για την χορήγηση των απαιτούμενων αδειών αυτή της ενέργειας.

3.2.1 Ενέργειες επιλογής σημείου στάθμευσης

Το σημείο που έγινε η στάθμευση πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά ώστε να καλύπτει της ανάγκες μας αλλά και του κινητού εργαστήριου. Επομένως χρειάζεται να καλύπτει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Να βρίσκεται εντός του ιστορικού κέντρου και των πολυσύχναστων οδών του.
- Να είναι σε οριζόντιο σημείο χωρίς κλίση το έδαφος, ώστε οι αναλυτές να παίρνουν χωρίς διακοπές και παρεμβολές έγκυρες μετρήσεις (η μορφολογία του εδάφους).
- Να έχει πρόσβαση σε παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγο του ότι τα όργανα που περιέχονται είναι υψηλής ακρίβειας και χρειάζονται σταθερή παροχή ενέργειας.
- Να επιτρέπεται η στάθμευση. Λόγο ότι βρισκόμαστε στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας σε πολλά από τα σημεία που πληρούσαν τις δυο παραπάνω επιλογές απαγορευόταν η στάθμευση.
- Να αποφεύγεται σημείο με σκιά. Διότι επηρεάζονται οι τιμές του όζοντος, ο οποίος είναι φωτοχημικός ρύπος.

Έτσι για να διαπιστωθεί πως πληρούνται όλα τα παραπάνω, αρχικά πήραμε τους χάρτες από τον δήμο Αθηνών με όλα τα διαθέσιμα κουτιά παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή που μας ενδιέφερε. Έπειτα με φυσική παρουσία μεταβήκαμε σε όλα τα σημεία ώστε να ελέγξουμε ποια από αυτά καλύπτουν τις ανάγκες που αναφέρω παραπάνω για να έχουμε την βέλτιστη λειτουργία των οργάνων μας. Διότι το να βρεθεί το κατάλληλο σημείο είναι πολύ σημαντικό στην περίπτωση μας αφού τα όργανα και οι αναλυτές χρειάζονται χρόνο για να ανοίξουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αν το σημείο δεν καλύπτει όλες τις ανάγκες και υπάρξει πρόβλημα δηλαδή χρειαστεί η μετακίνηση του να χάσουμε ένα σημαντικό χρονικό διάστημα για να ξανά ενεργοποιηθούν τα όργανα και οι αναλυτές. Εκτός από αυτά αφού βρεθεί το κατάλληλο σημείο στάθμευσης χρειάζονται νόμιμες άδειες από τους αρμόδιους φορείς για να ξεκινήσει η μετρητική διαδικασία, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

3.2.2 Ανάλυση απαραίτητων εγκρίσεων για την στάθμευση και ηλεκτροδότηση

Για να αποκτήσουμε την άδεια ώστε να μπορούμε να σταθμεύσουμε νόμιμα, ακολουθήσαμε μια χρονοβόρα διαδικασία αφού δεν ήταν φανερό εξ αρχής σε ποιον έπρεπε να απευθυνθούμε. Τελικά μετά από αρκετό ψάξιμο και προσωπικό χρόνο καταφέραμε να λύσουμε αυτό το πρόβλημα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να απευθυνθούμε στους εξής υπεύθυνους:

- Στη Τροχαία η οποία είναι υπεύθυνη για την κυκλοφορία στους δρόμους και την διατήρηση της νομιμότητας.
- Στον αντιδήμαρχο Αθηνών ο οποίος είναι υπεύθυνος για την στάθμευση σε πεζοδρόμους της Αθήνας.
- Στην Δημοτική Αστυνομία η οποία είναι αρμόδια για τη στάθμευση σε δρόμους της Αθήνας.
- Στην εφορία αρχαιοτήτων η οποία διευθετεί θέματα σχετικά με τα αρχαία μνημεία της γύρω περιοχή.

Εκτός από τους παραπάνω για την παροχή ρεύματος για τις ανάγκες των μετρήσεων χρειάστηκε να απευθυνθούμε

- Στον διευθυντή του Ηλεκτρολογικού τμήματος Αθηνών
- Στον Γενικό Γραμματέα του δήμου Αθηνών
- Στον Προϊστάμενο του τμήματος ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας της διεύθυνσης στρατηγικού σχεδιασμού

3.2.3 Εγκατάσταση οργάνων και λειτουργία του μετρητικού εξοπλισμού

Στην περίπτωση της δική μας έρευνα έχουμε επιλέξει να κάνουμε μια σταθερή ολόημερη μέτρηση. Η επιλογή αυτή έγινε ώστε να κάνουμε φανερό την χρονική μεταβολή των ρύπων εντός της ημέρας σε ένα σημείο όπου χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία.



Εικόνα 3.14: Σημείο στάθμευσης βαν με εγκατεστημένο τον εξοπλισμό του.



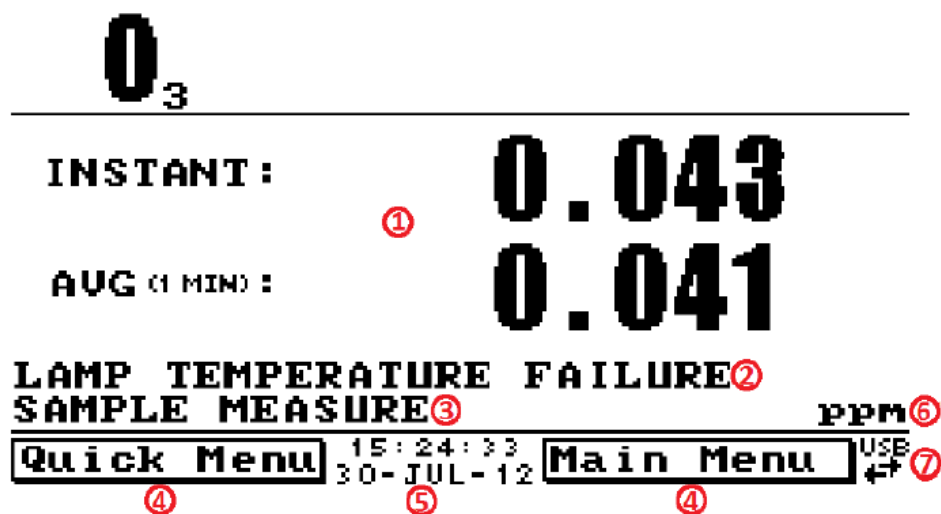
Εικόνα 3.15: Σημείο στάθμευσης βαν με εγκατεστημένο τον εξοπλισμό του.

Η ημερομηνία πραγματοποίησης των μετρήσεων ήταν στις 5/3/2020 και είχε διάρκεια από τις 8.00 το πρωί έως τις 10.30 το βράδυ ώστε να μπορεί να αποτυπωθεί μια ολοκληρωμένη μεταβολή. Επίσης για να έχουμε τον χρόνο να ενεργοποιήσουμε τα όργανα αλλά και να βρούμε ελεύθερη την θέση στάθμευσης που έχει επιλεχθεί ξεκινήσαμε πολύ νωρίτερα. Παρακάτω θα αναλυθούν περρεταίρω τα βήματα εγκατάστασης των οργάνων:

- Καταρχήν, συνδέουμε το κεντρικό πολύπριζο του κινητού εργαστήριου με την παροχή ρεύματος από το κουτί ηλεκτροδότησης του δήμου.
- Συναρμολογούμε τον μετρητικό εξοπλισμό (βροχόμετρο, πυρανόμετρο, ανεμόμετρο κλπ.) και τον τοποθετούμε στην οροφή του βαν.
- Ξεβιδώνουμε τους κοχλίες συγκράτησης της πλάκας του αναλυτή CO.
- Μετά ελέγχετε αν είναι ενεργοποιημένη η μπαταρία στην κύρια πλακέτα ελέγχου.
- Βγάζουμε στο έξω μέρος του οχήματος τα σωληνάκια δειγματοληψίας των αντλίες που έχουν οι αναλυτών. Είναι σημαντικό τα σωληνάκια να είναι από την μεριά του πεζοδρομίου ώστε να μην είναι πιθανόν να κλείσουν από κάποιο αντικείμενο αλλά και να μην επηρεάζονται από τον αέρα.
- Πριν ενεργοποιήσουμε τους αναλυτές ενεργοποιούμε πρώτα τις αντλίες.
- Έπειτα ενεργοποιούμε του αναλυτές και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για την λήψη δεδομένων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά, γίνεται έλεγχος εάν το usb είναι τοποθετημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να αποθηκεύονται εκεί οι τιμές που μετράνε τα όργανα.
- Κάνουμε έλεγχο εάν στέλνονται δεδομένα από τους αναλυτές προς τον υπολογιστή
- Ύστερα από αυτό χρειάζονται 30 λεπτά προκειμένου να προθερμαθούν οι αναλυτές.
- Γίνεται ρύθμιση του χρόνου δειγματοληψίας στο ένα λεπτό και έλεγχος την ημερομηνία και της ώρας που φαίνεται στις οθόνες των αναλυτών.



Εικόνα 3.16 : Οθόνη αναλυτή.

Πρέπει να έχουμε υπόψιν μας την ανάγκη για σταθερή θερμοκρασία οπότε πρέπει να γίνεται συχνός έλεγχος και αν παρατηρηθεί να ξεπερνά τους 26 °C πρέπει να ανοίξει το κλιματιστικό που έχει το βαν.

4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν 10 ημερήσιες μετρήσεις όπου σε κάθε μέρα έγιναν 3 διαδρομές. Για την πραγματοποίηση αυτών χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτροχημικοί αισθητήρες της εταιρίας Libelium.

4.1 Περιγραφή του εξοπλισμού των ηλεκτροχημικών αισθητήρων Libelium

Τα όργανα χαμηλού κόστους που χρησιμοποιήσαμε είναι αρκετά ελαφρύτερα και έτσι μας δίνουν την δυνατότητα μεταφοράς τους σε σύγκριση με τα υψηλής ακρίβειας όργανα, αφού αποτελούνται

- από το κεντρικό σώμα της συσκευής μέτρησης, όπου εκεί βρίσκονται όλες οι θύρες σύνδεσης και η κεντρική μπαταρία.
- από τον αισθητήρα μέτρησης σωματιδίων.
- από 4 αισθητήρες (CO, O₃, NO₂, SO₂).
- από 1 αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας.
- από μια μπαταρία και ένα μικρό φωτοβολταϊκό (εάν χρειαστούν).

Στη περίπτωση που οι μετρήσεις θα γίνονταν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς την δυνατότητα άμεσης σύνδεσης της συσκευής στο ηλεκτρικό ρεύμα, δίνονται ακόμη φωτοβολταϊκό και μπαταρία. (Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2015)



Εικόνα 4.1 : Ολοκληρωμένη διάταξη ηλεκτροχημικών αισθητήρων χαμηλού κόστους.

4.1.1 Κεντρικό σώμα συσκευής

Το κεντρικό σώμα της συσκευής libelium που χρησιμοποιήσαμε στην περίπτωση μας είναι το μοντέλο Waspote Plug & Sense και παρακάτω θα αναλυθούν όλες οι εισοδοί και έξοδοί του.

Στο εμπρός μέρος του οργάνου υπάρχουν οι υποδοχείς για τους αισθητήρες (CO, O₃, NO₂, SO₂) όπως επίσης και για τη συσκευή μέτρησης σωματιδίων. Επίσης εκεί συνδέεται και ο αισθητήρας της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας (Εικόνα 4.2).



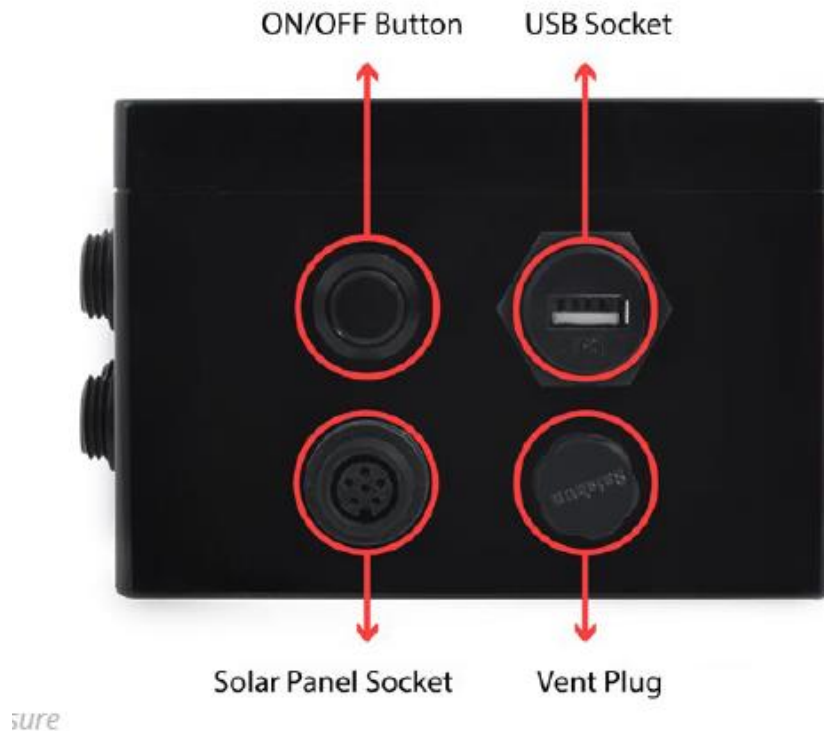
Εικόνα 4.2: Εμπρός μέρος κεντρικού οργάνου με υποδοχείς για αισθητήρες.

Στην αριστερή μεριά του οργάνου υπάρχει υποδοχή για την κεραία η οποία είναι πολύ ευαίσθητη. Από αυτήν λαμβάνετε το σήμα ιντερνέτ ώστε το όργανο να στέλνει τις μετρήσεις στον κεντρικό υπολογιστή. Στην περίπτωση του δικού μας οργάνου οι δυο παρακάτω θύρες (εικόνα 4.3) δεν χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 4.3: Αριστερή μεριά κεντρικού οργάνου Libelium.

Στην δεξιά μεριά του οργάνου υπάρχουν οι υποδοχές για σύνδεση με usb και σύνδεση με φωτοβολταϊκό. Επιπλέον υπάρχει και το κουμπί ON/OFF του οργάνου (εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Δεξιά μεριά κεντρικού οργάνου Libelium.

Οι προδιαγραφές του είναι οι παρακάτω:

- Υλικό: πολυανθρακικό
- Σφράγιση: πολουρεθάνη
- 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 ° C *
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος (μέγ.): 70 ° C *
- Κατά προσέγγιση βάρος: 800 g

(Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2015)

4.1.2 Περιγραφή των αισθητήρων και της εφαρμογής τους

Οι αισθητήρες έρχονται τοποθετημένοι μέσα σε έναν πλαστικό κύλινδρο που λειτουργεί ως προστασία έναντι βροχής και νερού από τον κατασκευαστή τους, αλλά επιτρέποντας στον αισθητήρα να αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον για τη μέτρηση των απαραίτητων παραμέτρων. Εκτός του ότι ο αισθητήρας πρέπει να διατηρείται πάντα ευθείς, το μέγεθος και το σχήμα των ανιχνευτών τυποποιούνται όσο το δυνατόν μέγιστα. Επίσης φέρουν ετικέτα που αναγράφεται το είδος του αναλυτή.



Εικόνα 4.5: Μέγεθος και δομή του κάθε αισθητήρα.

Ακόμα πρέπει να γνωρίζουμε πως οι αισθητήρες αερίων έχουν διάρκεια βαθμονόμησης 6 μήνες. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε στο όργανο μέτρησης μας είναι: αισθητήρας θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας σε ένα ενιαίο στέλεχος καθώς επίσης και αισθητήρες CO, O₃, NO₂, SO₂



Εικόνα 4.6: Τρόπος εγκατάστασης αισθητήρα στο κεντρικό όργανο.

Οι γενικές προδιαγραφές αισθητήρων παρουσιάζονται παρακάτω:

- Τάση τροφοδοσίας: 3,3 V
- Τυπικό ρεύμα ύπνου: 0,1 μ A
- Μέγιστο ρεύμα ύπνου: 0,3 μ 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 μ A
- Μέγιστη κατανάλωση: 2,8 μ A

Οι προδιαγραφές του αισθητήρα θερμοκρασίας

- Εύρος λειτουργίας: -40 ~ +85 °C
- Πλήρες εύρος ακρίβειας: 0 ~ +65 °C
- Ακρίβεια: ± 1 °C (εύρος 0 °C ~ +65 °C)
- Χρόνος απόκρισης: 1,65 δευτερόλεπτα (απόκριση 63% από +30 έως +125 °C).
- Τυπική κατανάλωση: 1 μ 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: $\leq \pm 100$ ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στο αέρα του εργαστηρίου
- Χρόνος απόκρισης: ≤ 20 δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία: 220 έως 375 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: 3 χρόνια στον αέρα



Εικόνα 4.7: Μέγεθος και αναγραφόμενη ετικέτα κάθε αισθητήρα.

Οι προδιαγραφές του αισθητήρα O₃

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 18 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 50 ppm
- Μακροπρόθεσμη ευαισθησία Μετατόπιση: -20 έως -40% αλλαγή / έτος
- Χρόνος απόκρισης (T90): ≤ 45 δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία: -200 έως -550 nA / ppm
- Ακρίβεια: έως και ± 0,2 ppm
- Υψηλή διασταυρούμενη ευαισθησία με αέριο NO₂. Διόρθωση μπορεί να είναι απαραίτητη σε περιβάλλοντα με NO₂.
- Εύρος θερμοκρασίας: -20 °C έως 40 °C
- Υγρασία λειτουργίας: 15 έως 85% RH χωρίς συμπύκνωση
- Εύρος πίεσης: 80 έως 120 kPa
- Θερμοκρασία αποθήκευσης: 3 °C έως 20 °C
- Αναμενόμενη διάρκεια λειτουργίας: > 24 μήνες στον αέρα

Οι προδιαγραφές του αισθητήρα NO₂:

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 250 ppm
- Μακροχρόνια μετατόπιση εξόδου: <2% σήματος / μήνα
- Χρόνος απόκρισης : ≤ 30 δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία: 600 ± 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 SO₂ :

- Ονομαστική περιοχή: 0 έως 20 ppm
- Μέγιστη υπερφόρτωση: 100 ppm
- Μακροπρόθεσμη μετατόπιση ευαισθησίας: <± 15% αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου
- Μακροχρόνια μηδενική μετατόπιση: <20 ppb ισοδύναμη αλλαγή / έτος στον αέρα του εργαστηρίου.
- Χρόνος απόκρισης : ≤ 20 δευτερόλεπτα
- Ευαισθησία: 320 ± 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

(Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2015)

4.1.3 Ανάλυση αισθητήρα μέτρησης σωματιδίων

Η τοποθέτηση του παρόντος αισθητήρα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, όπου κατά την λειτουργία του, να μην εμποδίζεται η ροή αέρα από την είσοδο και την έξοδο του. Ουσιαστικά η λειτουργία του γίνεται απορροφώντας αέρα από το περιβάλλον με την αντλία που βρίσκεται σε αυτόν, την ανάλυση του και την αποβολή του από την έξοδο στο περιβάλλον.



Εικόνα 4.8: Διάταξη αισθητήρα μέτρησης σωματιδίων.

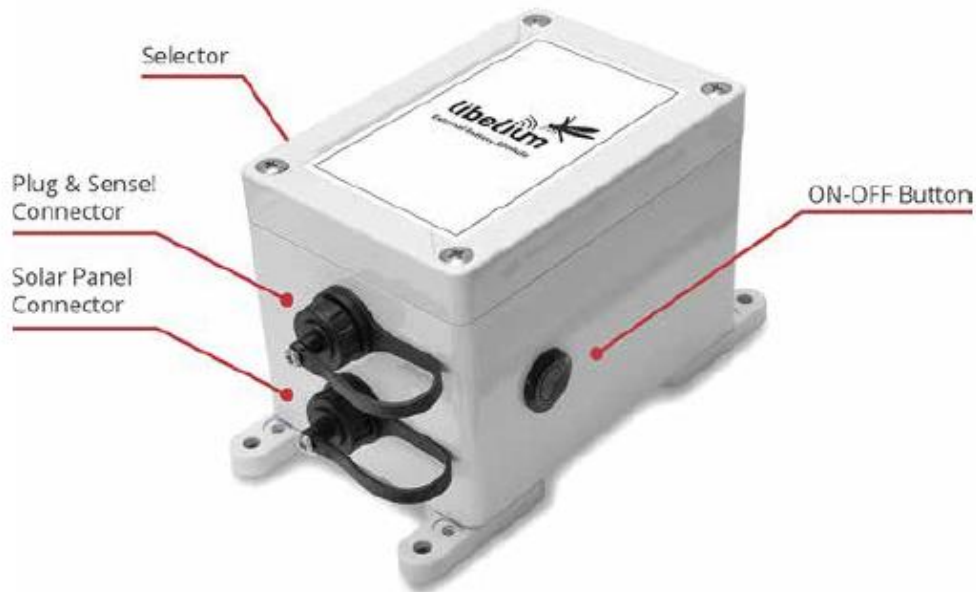
Οι προδιαγραφές αισθητήρα σωματιδίων:

- Εύρος σωματιδίων (μm): 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

(Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2015)

4.1.4 Διάταξη μπαταρίας και φωτοβολταϊκού

Η Εξωτερική Μονάδα Μπαταρίας είναι ένα εξάρτημα για την παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας του κεντρικού οργάνου. Η ημερήσια περίοδος χρέωσης είναι επιλέξιμη μεταξύ 5, 15 και 30 λεπτών φόρτισης την ημέρα με διακόπτη επιλογής και μπορεί να συνδυαστεί με ηλιακό πάνελ για επέκταση ακόμη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας του. 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 επιλογής δεν θα έχει κανένα αποτέλεσμα. Τυπικά σενάρια για αυτό το αξεσουάρ είναι απομακρυσμένα μέρη όπου δεν υπάρχει παροχή ρεύματος.



Εικόνα 4.9: Μπαταρία παροχής ρεύματος της συσκευής.

Προδιαγραφές μπαταρίας

- 26 A · h υψηλής απόδοσης μη επαναφορτιζόμενη μπαταρία.
- Διαστάσεις: 122 mm x 82 mm x 84 mm (χωρίς πόδια στήριξης)
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -30 °C έως 70 °C *
- Χαμηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης.
- IP65 αδιάβροχο, πολυανθρακικό περίβλημα.
- Διακόπτης έναρξης / λήξης.
- Επιλογέας τρόπου λειτουργίας (3 διαφορετικοί τρόποι).
- Τάση ηλιακού πλαισίου: έως 18 V
- Διατίθενται 2 διαφορετικές επιλογές ηλιακού πλαισίου.

Ο φωτοβολταϊκός συλλέκτης πρέπει να συνδεθεί με την μπαταρία για παραπάνω παροχή ενέργειας. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Εξωτερικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη

- Μέγιστη ισχύς: 3W
- Μέγιστη τάση ισχύος: 5,8 V
- Μέγιστο ρεύμα: 520 mA
- Διαστάσεις: 234 x 160 x 17 mm
- Βάρος: 0,54 κιλά

(Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L, 2015)



Εικόνα 3.26: Τρόπος σύνδεσης φωτοβολταϊκού με μπαταριά.

4.2 Διαδικασία και μέθοδος καταγραφής μετρήσεων με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους

Στα πλαίσια της συγκεκριμένη έρευνας πραγματοποιήσαμε μετρήσεις με όργανα χαμηλού κόστους της εταιρίας Libelium στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας. Ουσιαστικά έγιναν 10 ημερήσιες μετρήσεις, οι οποίες αποτελούνταν από τρεις διαφορετικές διαδρομές του κέντρου των Αθηνών (πρωί, μεσημέρι, βράδυ). Αλλά πριν από αυτό έγιναν δοκιμές διαστήματος 40 ημερών σε σύγκριση με τα όργανα ακριβείας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, ώστε να προσδιοριστεί η ακρίβεια και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίζαμε. Επιπλέον έγινε ημερήσια μέτρηση και σύγκριση με το κινητό εργαστήριο το οποίο έχει όργανα ακριβείας επίσης στο κέντρο. Επιπροσθέτως επιλέξαμε να καταγράψουμε συγκεκριμένα τους αέριους ρύπους (O_3 , SO_2 , NO_2 , CO) και τους σωματιδιακούς (PM) διότι είναι οι πιο επικίνδυνοι για την υγεία και ταυτόχρονα είναι εκείνοι που επικρατούν περισσότερο στα αστικά κέντρα.

Σημαντικό είναι να τονιστεί πως για τη λειτουργία και μεταφορά αρχείων από τα όργανα χαμηλού κόστους στον υπολογιστή υπάρχει εγκατεστημένος ένας server (TCP) ο οποίος κάνει ταυτοποίησή της συσκευής μέσω του λογισμικού (firmware). Για τη σύνδεση της συσκευής στο διαδίκτυο απαιτείται ένας διαμεσολαβητής ο οποίος πρέπει να μεταδίδει το σήμα ασύρματα (έξυπνο τηλέφωνο, ρούτερ).

4.2.1 Ανάλυση της δοκιμαστικής διαδικασίας σωστής λειτουργίας των οργάνων χαμηλού κόστους

Αρχίζοντας αναζητήσαμε έναν κατάλληλο τρόπο ώστε να είμαστε σε θέση να εξακριβώσουμε αν είναι έγκυρες οι μετρήσεις που μας δίνουν οι αισθητήρες χαμηλού κόστους που διαθέτουμε, αλλά

και να εξακριβώσουμε τι προβλήματα μπορεί να αντιμετωπίσουμε στην πορεία. Η λύση που βρέθηκε ήταν να εγκατασταθούν 40 ημέρες στην τοποθεσία που βρίσκεται το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και μετά το πέρας αυτού του χρόνου να συγκρίνουμε τις τιμές μας με αυτές των ακριβών οργάνων υψηλής ακρίβειας που βρίσκονται εκεί.

Ο χρόνος των 40 ημερών αποφασίστηκε διότι υπήρχαν προβλήματα στη σύνδεση της συσκευής με το μόντεμ του Αστεροσκοπείου, με αποτέλεσμα την διακεκομμένη λειτουργία τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χρειάζεται χειροκίνητη επανεκκίνηση.

Η εγκατάσταση των 2 οργάνων μας έγινε στο ίδιο σημείο όπου βρίσκονται και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ώστε να έχουμε την βέλτιστη ακρίβεια. Επιπλέον ήταν σημαντικό τα καλώδια να μην πιέζονται με κανένα τρόπο όπως επίσης και όλα τα όργανα να είναι συγχρονισμένα.



Εικόνα 4.10: Εγκατάσταση οργάνων χαμηλού κόστους στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Κατά τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων μας παρουσιάστηκαν προβλήματα και διακοπές στην σύνδεση των οργάνων με το Wi-Fi, το οποίο μας δημιούργησε αρκετά θέματα, διότι έπρεπε πολύ συχνά να τα επανεκκινούμε έτσι ώστε να συνδεθούν και πάλι στο διαδίκτυο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χρειαστεί να παραμείνουν παραπάνω χρονικό διάστημα τα όργανα στην τοποθεσία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Αλλά και επίσης να πραγματοποιηθούν εκ νέου δοκιμές στο εργαστήριο ώστε να μπορέσουμε να λύσουμε το πρόβλημα.

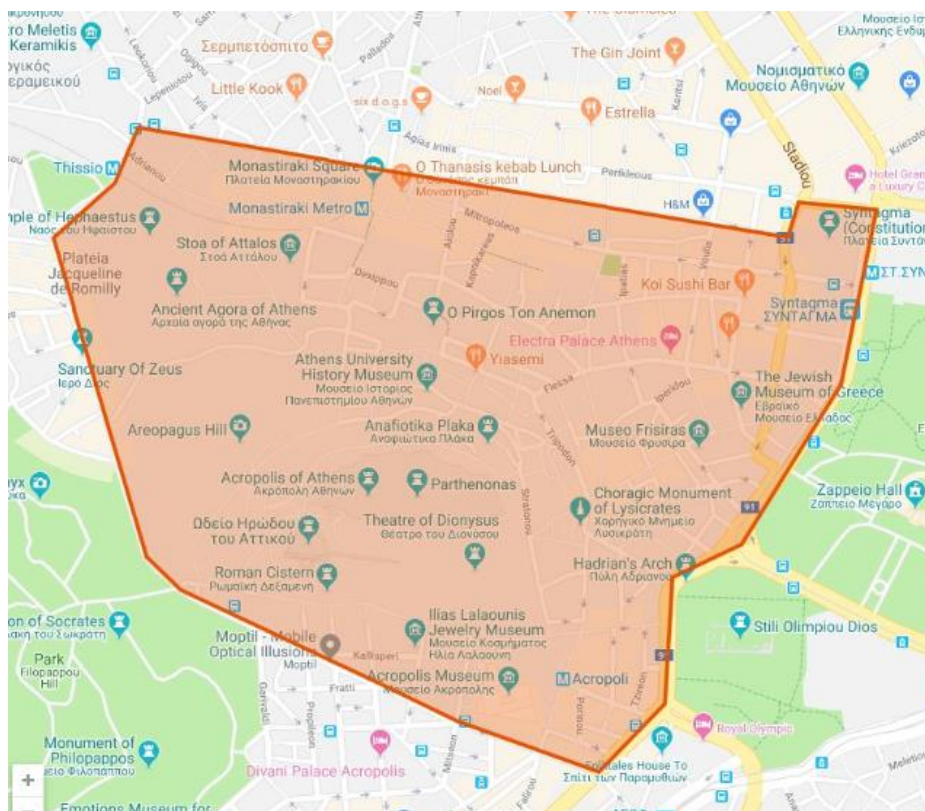
Μετά από αρκετές δοκιμές με ρούτερ από διαφορετικές εταιρίες αλλά και με προσπάθειες σύνδεσης από κινητό τηλέφωνο μέσω την λειτουργίας hotspot, καταλάβαμε πως δημιουργούνται προβλήματα διακοπών σύνδεσης με όλες τις εταιρίες εκτός από την Cosmote είτε με ρούτερ είτε με καρτοτηλέφωνο.

4.2.2 Διαδικασία μετρήσεων με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες στο κέντρο της Αθήνας

Η πρώτη ημέρα μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στις 18/12/2019 με το πιο ακριβές όργανο χαμηλού κόστους από τα δύο που είχαμε στην διάθεσή μας. Εντός της ημέρας έγιναν 3 διαδρομές με τα πόδια και έχοντας στην διάθεσή μας ένα κινητό τηλέφωνο με δίκτυο και δεδομένα της Cosmote.

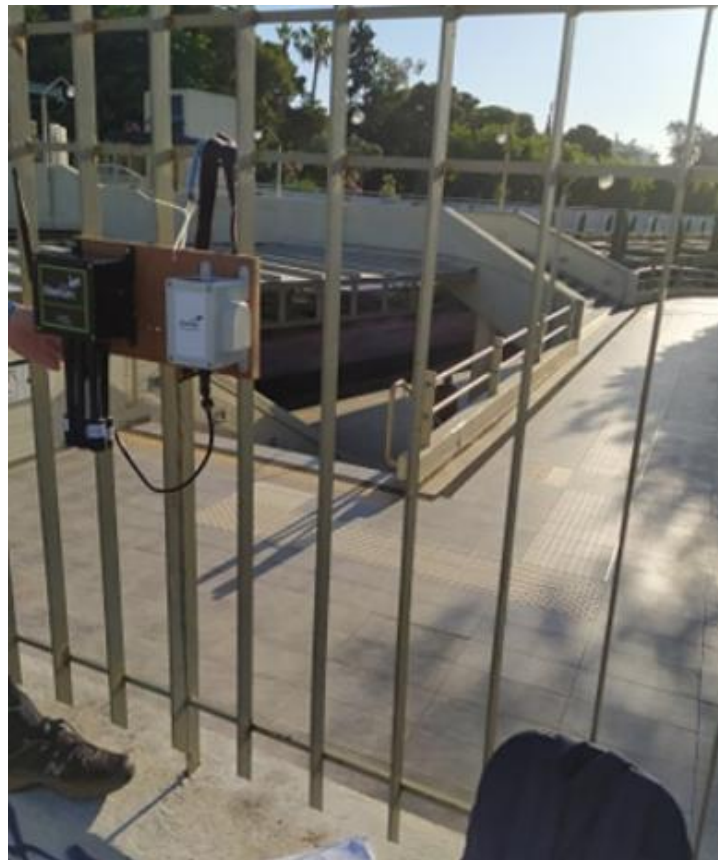
Έχοντας υπόψιν μας πως θέλουμε να αναλύσουμε τα σημεία που περνάει ο περισσότερος κόσμος και δημιουργείτε η πιο πολύ ρύπανση, φτιάξαμε μια διαδρομή με τα 6 σημαντικότερα σημεία ενδιαφέροντος κατά την γνώμη μας. Αυτά είναι τα εξής:

- Ο σταθμός ηλεκτρικού του Θησείου
- Η πλατεία της Ακρόπολης
- Το πεζοδρόμιο απέναντι από την πύλη Αδριανού
- Η πλατεία Συντάγματος
- Η διασταύρωση Ερμού και Ευαγγελίστριας
- Η πλατεία στο Μοναστηράκι



Εικόνα 4.11: Ενδεικτικός χάρτης των σημείων της διαδρομής.

Οι αποστάσεις από το ένα σημείο στο άλλο είναι περίπου 10 λεπτά με τα πόδια και το σύνολο μιας ολοκληρωμένης διαδρομής 3 χιλιόμετρα κατά προσέγγιση, το οποίο μπορεί να γίνει σε περίπου 1.30-2 ώρες αν υπολογίσουμε επίσης πως στο κάθε σημείο θα παραμείνουμε 10 λεπτά, δηλαδή το όργανο θα στείλει περίπου 5 μετρήσεις. Στη δική μας περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 3 διαδρομές ανά ημέρα τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας ώστε να απεικονίσουμε και την χρονική μεταβολή των ρύπων εντός της ημέρας. Ο συνολικός αριθμός που εκτελέσαμε ήταν 30 διαδρομές σε 10 τυχαίες ημέρες. Επίσης πρέπει να τονιστεί πως το όργανο κατά τη μεταφορά από το ένα σημείο στο άλλο παρέμεναν ανοιχτά.



Εικόνα 4.12: Σημείο μέτρησης σταθμός ηλεκτρικού Θησείου.



Εικόνα 4.13: Σημείο μέτρησης πλατεία Ακροπόλεως.



Εικόνα 4.14: Σημείο μέτρησης πύλης του Αδριανού.



Εικόνα 4.14: Σημείο μέτρησης Ερμού και Ευαγγελίστριας.



Εικόνα 4.15: Σημείο μέτρησης πλατεία στο Μοναστηράκι.

Επιπλέον όπως φαίνεται και στις εικόνες η τοποθέτηση των οργάνων έχει γίνει πάνω σε ένα τμήμα ξύλου ώστε να παρέχεται προστασία κατά την μεταφορά αλλά και στήριξη όλων των εξαρτημάτων.



Εικόνα 4.16: Σταθεροποίηση οργάνων χαμηλού κόστους.

5. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

5.1 Σύγκριση δεδομένων χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικών αισθητήρων με όργανα ακριβείας Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος

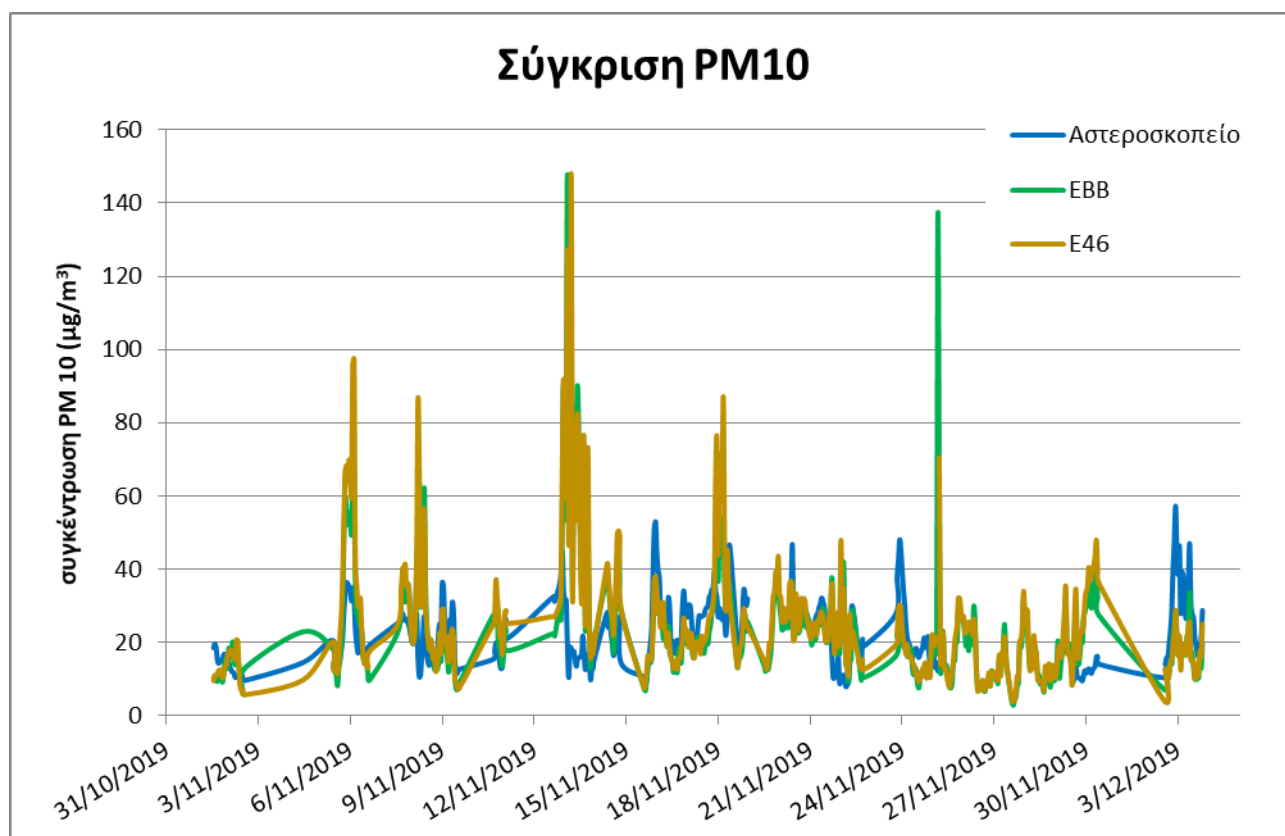
Αφού αναλύθηκε παραπάνω η διαδικασία εγκατάστασης των αισθητήρων χαμηλού κόστους στον χώρο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος . Σε αυτό το σημείο θα γίνει η σύγκριση μετρήσεων που πήραμε από τα δυο χαμηλού κόστους όργανα (EBB και E46), με τις μετρήσεις που μας δόθηκαν από το αστεροσκοπείο την ίδια χρονική περίοδο. Κατά αυτόν τον τρόπο, στο πρώτο στάδιο θέλουμε να καταλάβουμε κατά πόσο υπάρχει συσχέτιση στις μετρήσεις των ρύπων σε σύγκριση με τα ακριβείας όργανα του αστεροσκοπείου.

5.1.1 Επεξεργασία μετρήσεων

Για να μπορέσει να γίνει μια σωστή και κατανοητή απεικόνιση πρέπει οι πρωτογενείς μετρήσεις να επεξεργαστούν αναλόγως την κάθε περίπτωση. Αρχικά οι μετρήσεις που πήραμε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Ελλάδος μετατράπηκαν από ppb σε ppm για τους ρύπους ώστε να έχουν τις ίδιες μονάδες μετρήσεις με αυτές των οργάνων χαμηλού κόστους. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε η έλλειψη μετρήσεων του SO₂ από τις 1/11/2019 έως της 14/11/2019 και από 28/11/2019 έως και τις 3/12/2019 όπου ήταν και η τελευταία μέρα σύγκρισης. Επιπλέον όπως θα φανεί και παρακάτω στα διαγράμματα το όργανο EBB για κάποιους ρύπους έδειχνε μηδενικές τιμές.

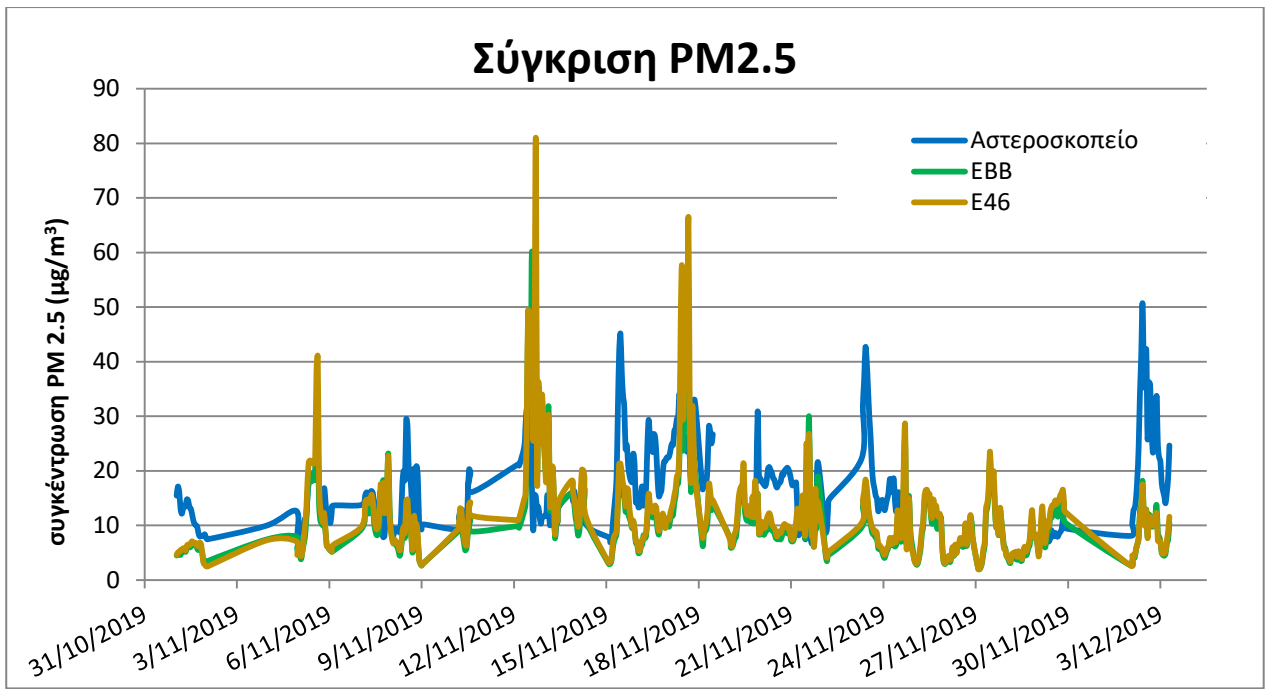
5.1.2 Σύγκριση και αποτύπωση δεδομένων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης των συγκεντρώσεων για του ρύπους PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, CO, NO₂, SO₂ και O₃ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος με τις συγκεντρώσεις από τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους, για το χρονικό διάστημα που λειτουργούσαν ταυτόχρονα στο ίδιο σημείο.



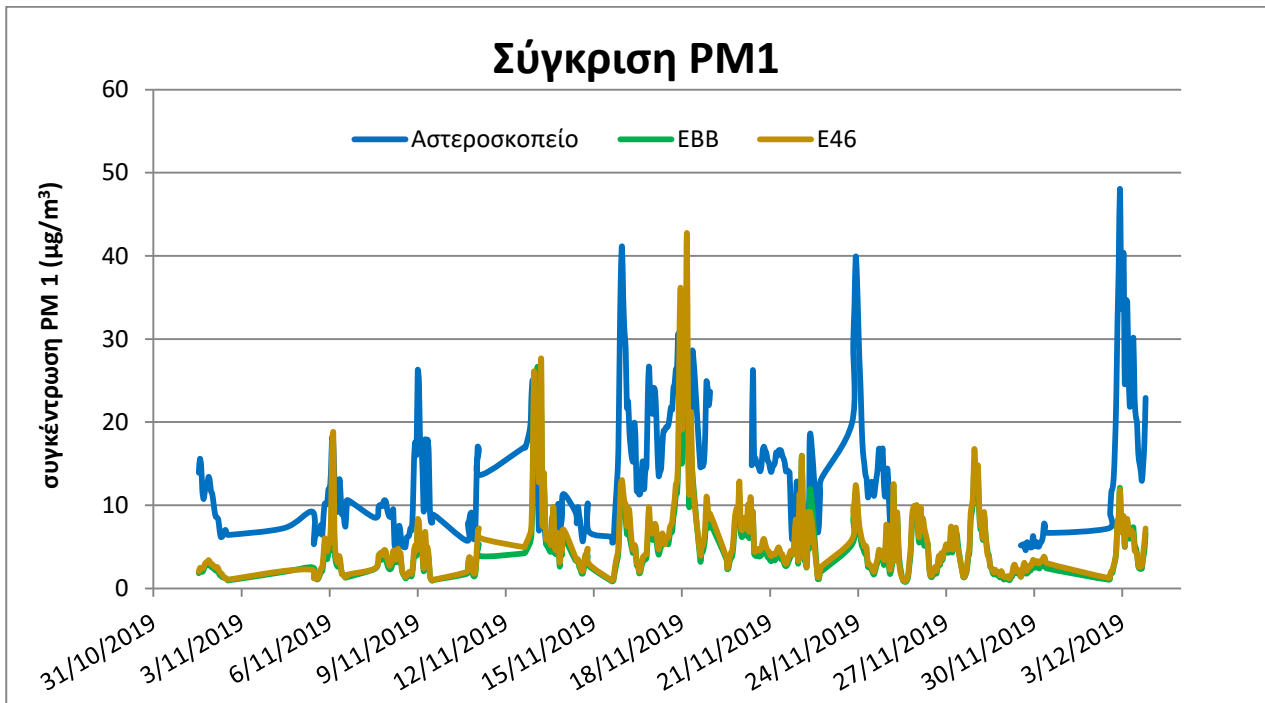
Διάγραμμα 5.1: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης PM 10 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους

Στο διάγραμμα 5.1 διακρίνεται πολύ καλή συσχέτιση των σωματιδίων PM₁₀. Όπως φαίνεται στις περισσότερες από τις μέρες που υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης στο αστεροσκοπείο το ίδιο συμβαίνει και στις τιμές που μας δίνουν τα χαμηλού κόστους όργανα. Επίσης φαίνεται πως τα όργανα χαμηλού κόστους δίνουν το ίδιο εύρος συγκεντρώσεων σε ppm με τα όργανα του αστεροσκοπείου.



Διάγραμμα 5.2: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης PM 2.5 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

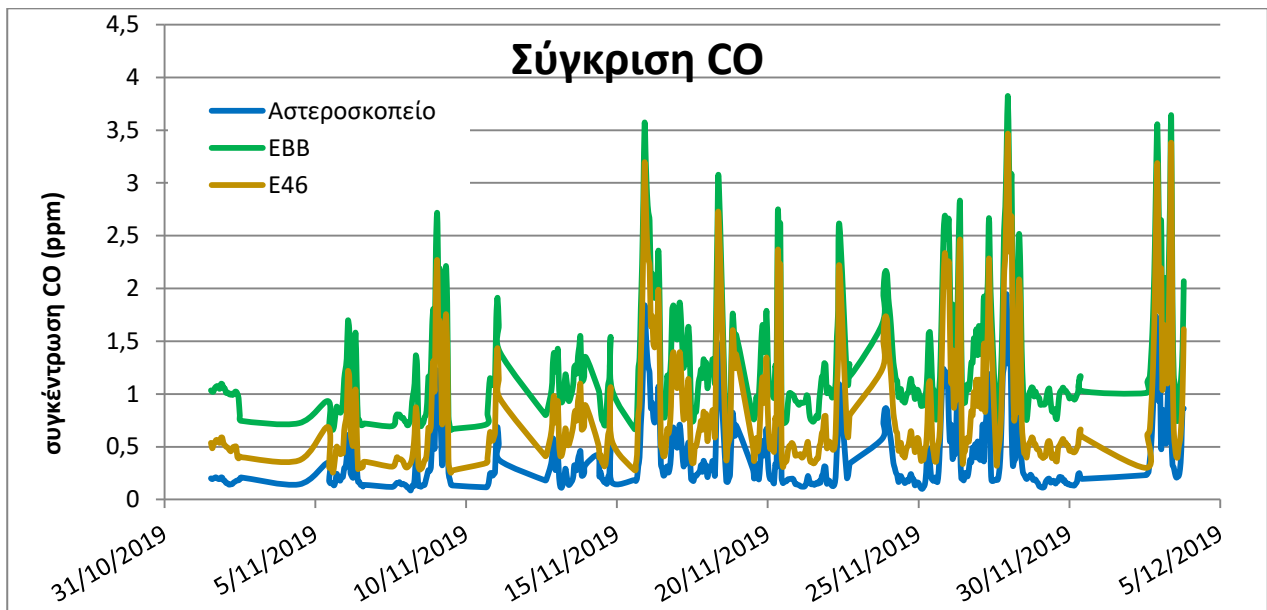
Στο διάγραμμα 5.2 διακρίνεται μια αρκετά καλή συσχέτιση των σωματιδίων PM2.5. Όπως μπορούμε να δούμε στις περισσότερες από τις μέρες που υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης στο αστεροσκοπείο το ίδιο συμβαίνει και στις τιμές που μας δίνουν τα χαμηλού κόστους όργανα



Διάγραμμα 5.3: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης PM 1 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

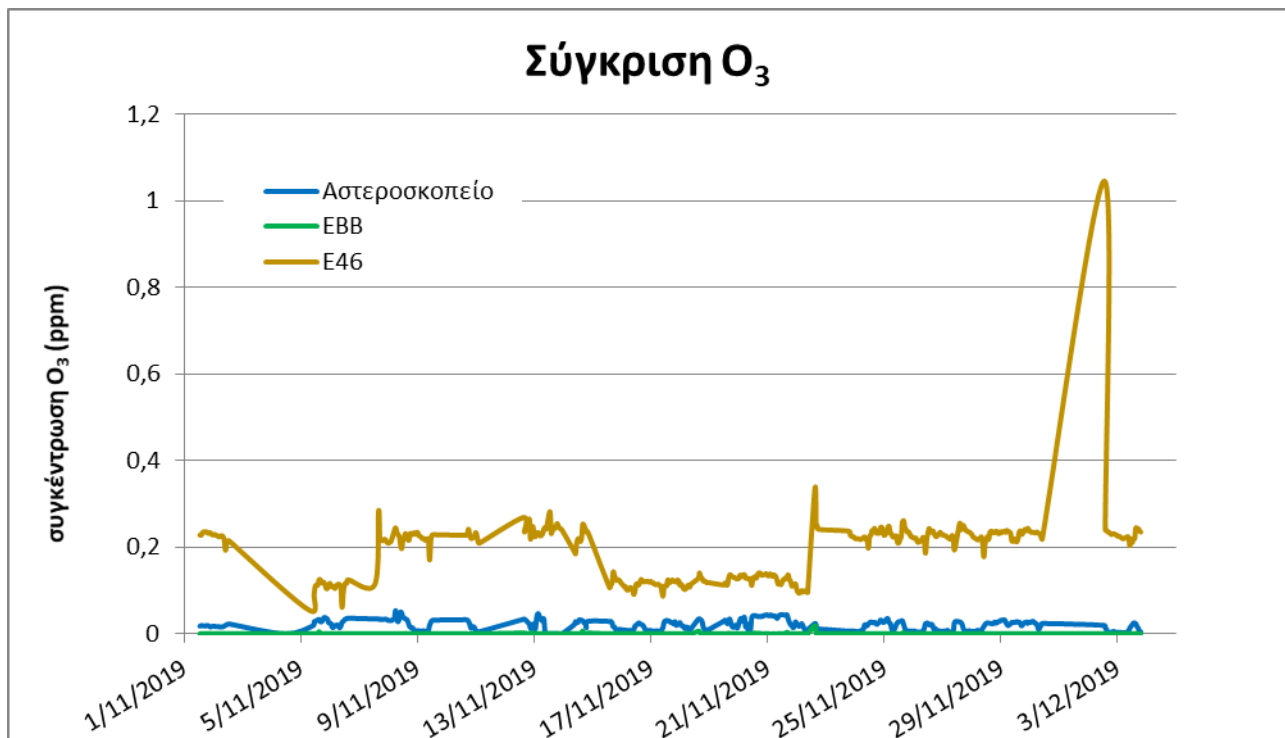
Στο διάγραμμα 5.3 διακρίνεται επίσης μια αρκετά καλή συσχέτιση των σωματιδίων PM1. Όπως μπορούμε να δούμε στις περισσότερες από τις μέρες που υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης στο

αστεροσκοπείο το ίδιο συμβαίνει και στις τιμές που μας δίνουν τα χαμηλού κόστους όργανα Επίσης μπορούμε να δούμε πως οι μετρήσεις του αστεροσκοπείου είναι περίπου $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ υψηλότερες.



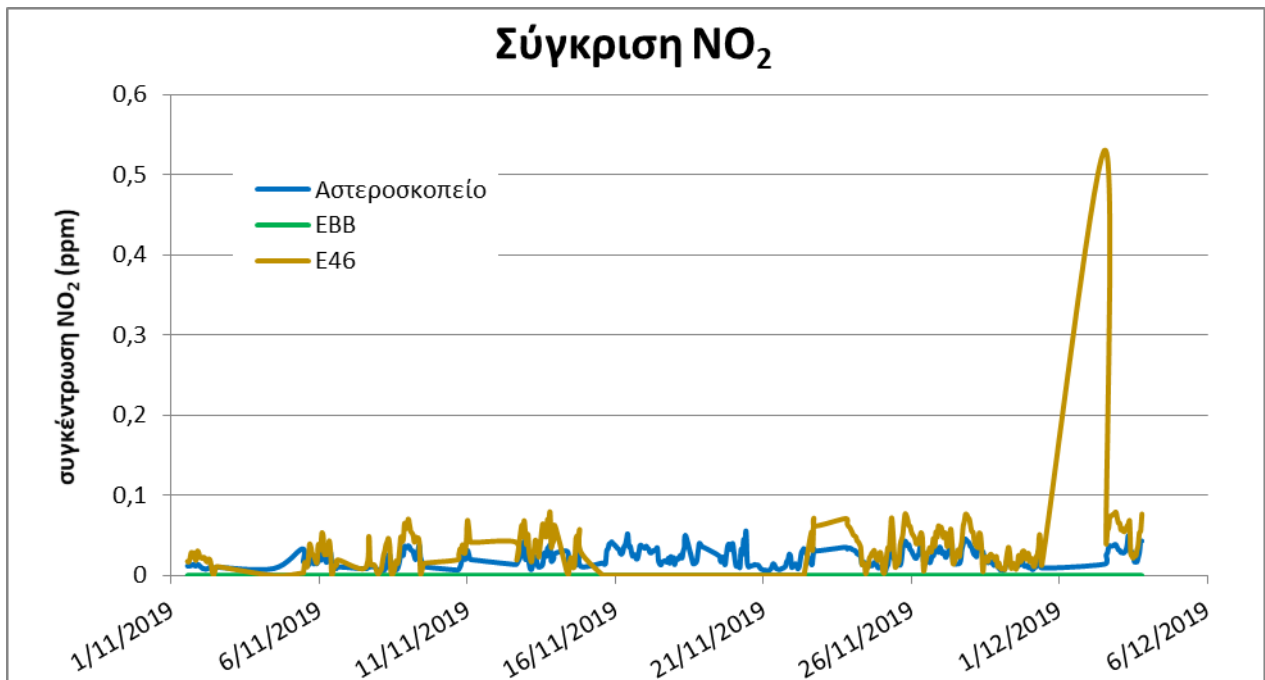
Διάγραμμα 5.4: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης CO Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.4 διακρίνεται πολύ καλή συσχέτιση του ρύπου CO. Βλέπουμε στις μέρες που υπάρχουν αυξήσεις ή μειώσεις της συγκέντρωσης στο αστεροσκοπείο το ίδιο συμβαίνει και στις τιμές που μας δίνουν τα χαμηλού κόστους όργανα Επίσης μπορούμε να δούμε πως το όργανο χαμηλού κόστους E46 είναι πιο κοντά στο εύρος των τιμών που μας δίνει το αστεροσκοπείο σε σύγκρισή με το EBB.



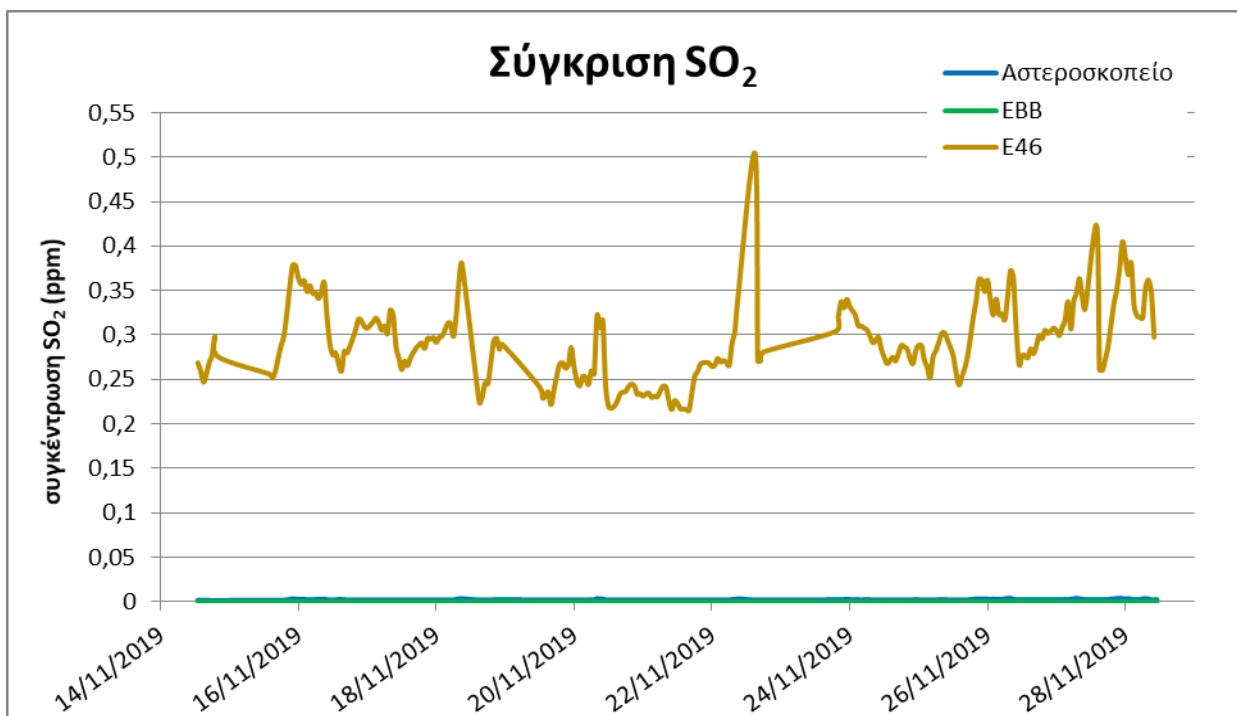
Διάγραμμα 5.5: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης O_3 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.5 δεν διακρίνεται να υπάρχει συσχέτιση του ρύπου O_3 . Παρατηρούμε στις μέρες που υπάρχουν αυξήσεις ή μειώσεις της συγκέντρωσης στο αστεροσκοπείο το όργανο E46 δεν ακολουθεί την ίδια συσχέτιση και το όργανο EBB μας δίνει μηδενικές μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια.



Διάγραμμα 5.6: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης NO_2 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.6 δεν διακρίνεται να υπάρχει συσχέτιση του ρύπου NO_2 . Παρατηρούμε στις μέρες που υπάρχουν αυξήσεις ή μειώσεις της συγκέντρωσης στο αστεροσκοπείο το όργανο E46 δίνει και αυτό μετρήσεις χωρίς όμως καμία φανερή συσχέτιση από την άλλη το όργανο EBB μας δίνει μηδενικές μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια.



Διάγραμμα 5.7: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης SO_2 Αστεροσκοπείου με όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.7 δεν διακρίνεται να υπάρχει συσχέτιση του ρύπου SO₂. Παρατηρούμε πως οι τιμές του αστεροσκοπείου είναι πάρα πολύ μικρές πολύ κοντά στο μηδέν. Από την άλλη το όργανο E46 δίνει μετρήσεις πολύ υψηλότερες και το όργανο EBB μας δίνει μηδενικές μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια. Επίσης ο χρόνος της σύγκρισης αυτού του ρύπου είναι λιγότερος λόγω της έλλειψης μετρήσεων το πρώτο διάστημα από το αστεροσκοπείο.

5.1.3 Συμπεράσματα σύγκρισης των οργάνων χαμηλού κόστους με τα όργανα ακριβείας του εθνικού αστεροσκοπείου.

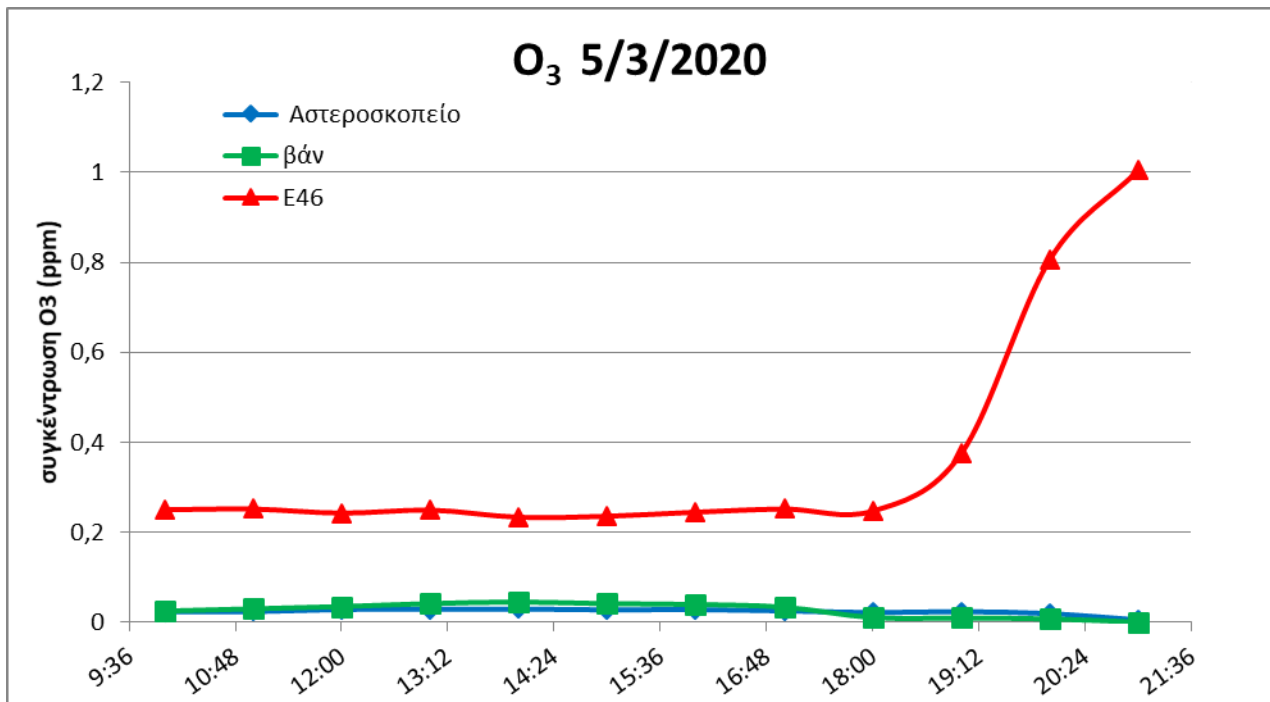
Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση για τα σωματίδια PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀ όπως και για τον ρύπο CO ανάμεσα στα όργανα χαμηλού κόστους που χρησιμοποιήσαμε και τα υψηλής ακριβείας του αστεροσκοπείου. Αλλά δεν υπάρχει καμία συσχέτιση για τους ρύπους NO₂, SO₂, O₃. Επίσης βλέπουμε πως το όργανο EBB για πολλές περιπτώσεις μας έδωσε μηδενικές τιμές. Βάση των παραπάνω έχω επιλέξει για την διενέργεια των 10 διαδρομών να χρησιμοποιήσω το όργανο E46.

5.2 Σύγκριση δεδομένων κινητού εργαστήριου με χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες με όργανα ακριβείας Εθνικού Αστεροσκοπείου Ελλάδος

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα γίνει η σύγκριση των δεδομένων που πήραμε στις 5/3/2020. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν το κινητό εργαστήριο (βαν) τα χαμηλού κόστους όργανα τα οποία ήταν σε σταθερό σημείο στο Μοναστηράκι και το αστεροσκοπείο Αθηνών που βρίσκεται στο Θησείο.

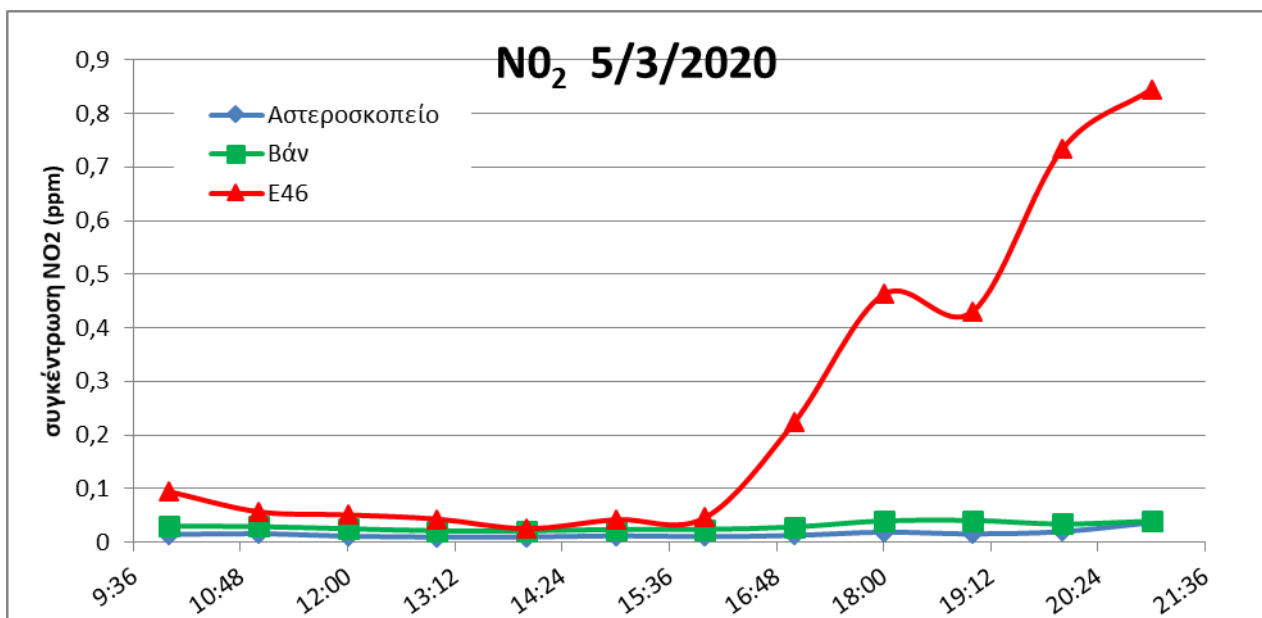
5.2.1 Επεξεργασία μετρήσεων και αποτύπωση συγκρινόμενων δεδομένων

Αρχικά έγιναν οι κατάλληλες μετατροπές στις μονάδες μέτρησης ώστε όλες οι μετρήσεις να είναι σε ppm. Επίσης να τονίσουμε πως το διάστημα των μετρήσεων είναι από τις 10 το πρωί μέχρι τις 9 το βραδύ. Όπως και ότι το βαν δεν μετράει τα σωματίδια αλλά και οι μετρήσεις που πήραμε από το αστεροσκοπείο δεν περιείχαν μέσα τα σωματίδια. Οπότε θα παρουσιαστούν οι ρύποι μόνο.



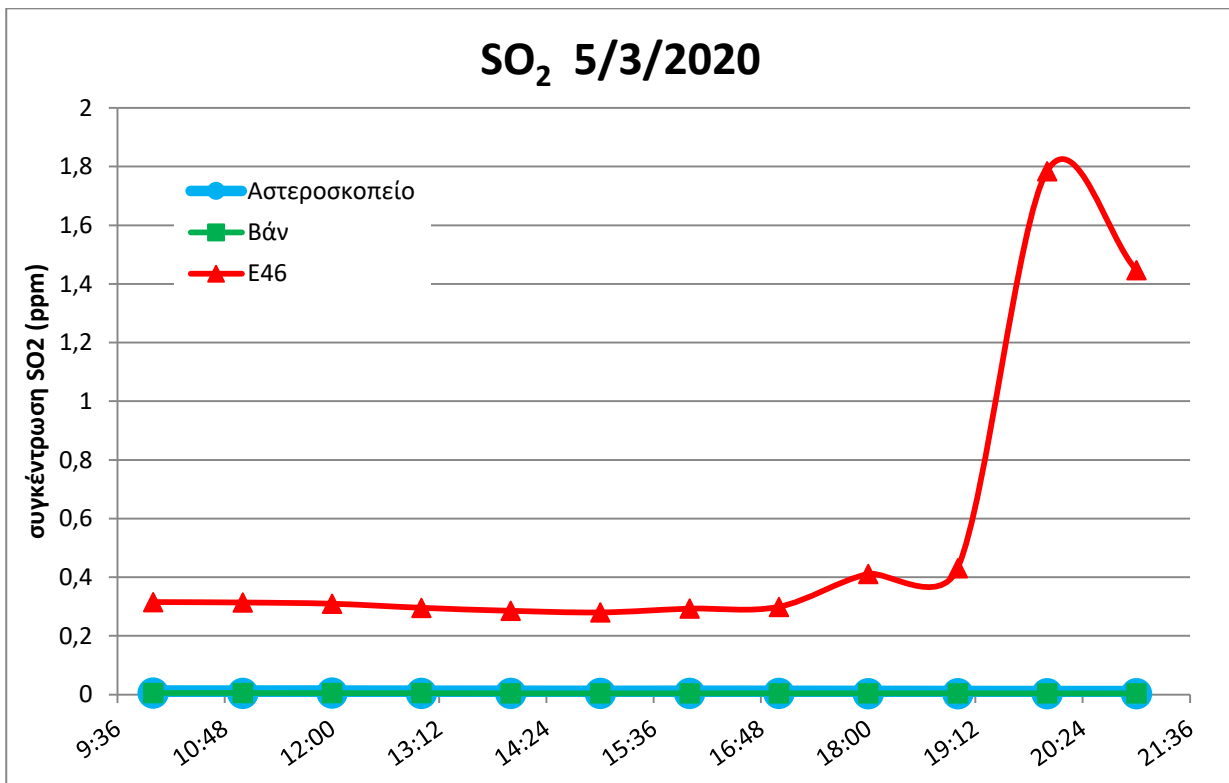
Διάγραμμα 5.8: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης O₃ Αστεροσκοπείου με κινητό εργαστήριο (βαν) και όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.8 διακρίνεται να υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση του ρύπου O₃ για της μετρήσεις από το αστεροσκοπείο και το κινητό εργαστήριο (βαν), αλλά όχι με το όργανο χαμηλού κόστους .

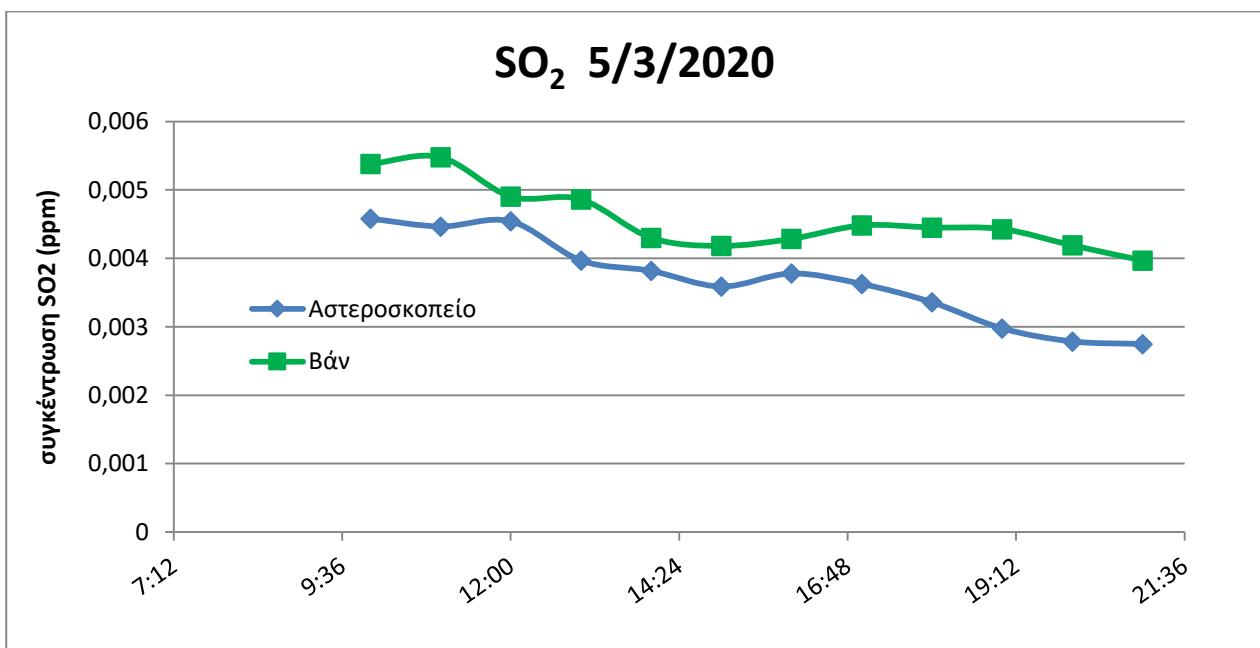


Διάγραμμα 5.9: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης NO₂ Αστεροσκοπείου με κινητό εργαστήριο (βαν) και όργανα χαμηλού κόστους .

Στο διάγραμμα 5.9 διακρίνεται να υπάρχει αρκετά μεγάλη συσχέτιση του ρύπου NO₂ για τις μετρήσεις από το αστεροσκοπείο και το κινητό εργαστήριο (βαν). Στο όργανο χαμηλού κόστους φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση με τα υπόλοιπα μέχρι τις 16.00.

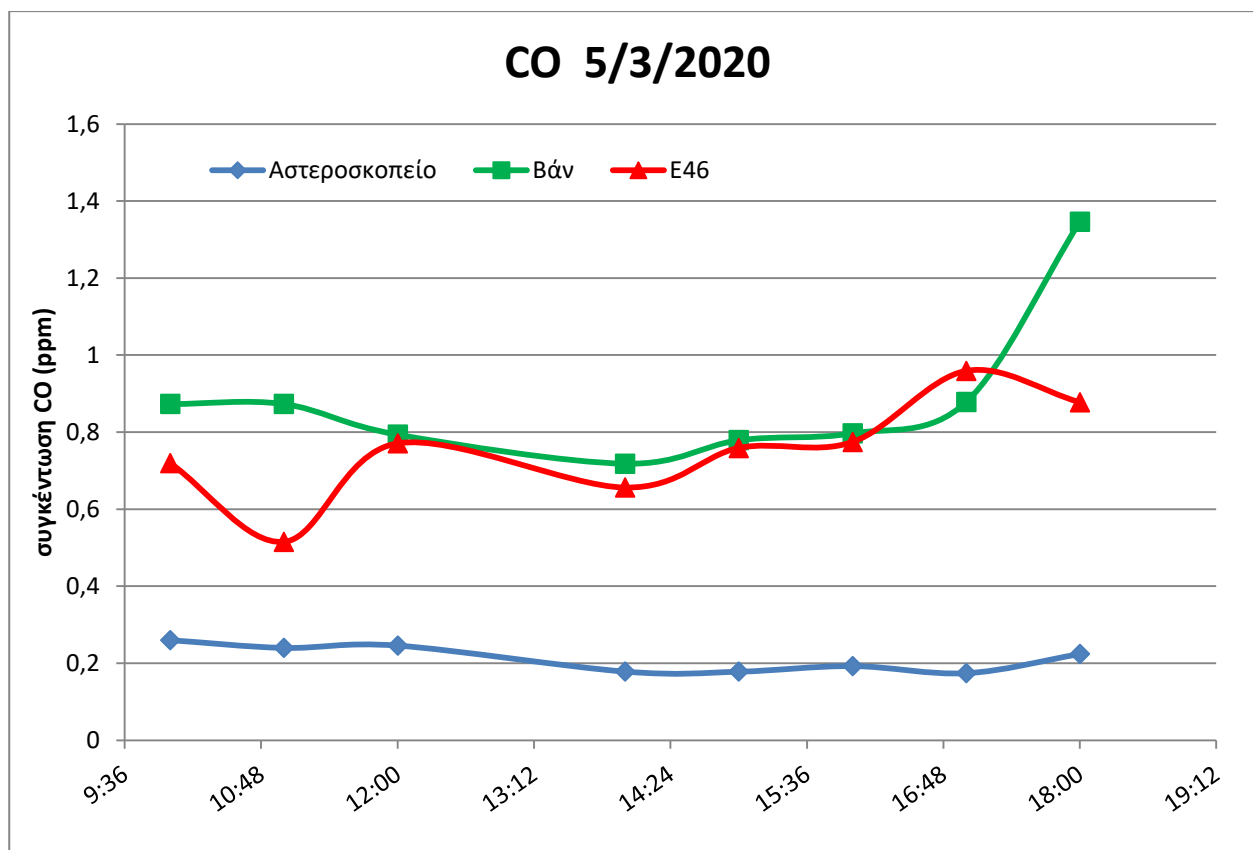


Διάγραμμα 5.10: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης SO₂ Αστεροσκοπείου με κινητό εργαστήριο (βαν) και όργανα χαμηλού κόστους.



Διάγραμμα 5.11: Ειδικότερη σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης SO₂ Αστεροσκοπείου με κινητό εργαστήριο (βαν).

Στα διάγραμμα 5.10-5.11 διακρίνεται να υπάρχει μεγάλη συσχέτιση του ρύπου SO₂ για τις μετρήσεις από το αστεροσκοπείο και το κινητό εργαστήριο (βαν). Ενώ οι μετρήσεις του οργάνου χαμηλού κόστους δεν συσχετίζονται με τα υπόλοιπα.



Διάγραμμα 5.12: Σύγκριση μετρήσεων συγκέντρωσης CO Αστεροσκοπείου με κινητό εργαστήριο (βαν) και όργανα χαμηλού κόστους.

Στο διάγραμμα 5.12 παρατηρείται να υπάρχει μια συσχέτιση του ρύπου CO για τις μετρήσεις από το αστεροσκοπείο και το κινητό εργαστήριο (βαν). Αλλά για το όργανο χαμηλού κόστους, ενώ φαίνεται να είναι στο ίδιο εύρος τιμών με το βαν δεν προκύπτει ιδιαίτερη συσχέτιση.

5.2.2 Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε την αρκετά καλή συσχέτιση των οργάνων υψηλής ακρίβειας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και των οργάνων που διαθέτει το κινητό εργαστήριο μας. Οι μικρές διαφορές στην συσχέτιση δικαιολογούνται διότι δεν βρίσκονται στην ίδια τοποθεσία αλλά σε κοντινή οπότε σίγουρα θα υπήρχαν διαφορές λόγω του ότι τα όργανα του αστεροσκοπείου βρίσκονται στο Θησείο γύρω από δέντρα ενώ του κινητού εργαστηρίου (βαν) πάνω στον δρόμο στο Μοναστηράκι. Από την άλλη, στα όργανα χαμηλού κόστους παρατηρείτε αρχικά μια συσχέτιση που στην πορεία και περίπου μετά της 16.00 χάνεται τελείως.

5.3 Διαδικασία απεικόνισης ρύπανσης για μέσες τιμές συγκέντρωσης πρωινών μεσημεριανών και βραδινών διαδρομών.

Στο τελικό στάδιο της μετρητικής διαδικασίας αυτής της εργασίας έγιναν 10 ολοήμερες διαδρομές του κέντρου της Αθήνας με το όργανο χαμηλού κόστους E46. Έτσι ώστε να μπορέσουμε ένα έχουμε μια ολοκληρωμένη άποψη για την ρύπανση της περιοχής.

5.3.1 Επεξεργασία μετρήσεων

Αρχικά κατά την επεξεργασία των μετρήσεων διαχωριστήκαν οι μετρήσεις ανάλογα το σημείο μέτρησης, βάση των ωρών που είχαμε σημειώσει κατά την μετρητική διαδικασία. Στη συνέχεια βγήκε ο μέσος όρος του κάθε σημείου, για την πρωινή, μεσημεριανή και βραδινή διαδρομή της κάθε ημέρας και οι μετρήσεις χωρίστηκαν ανά σημείο μέτρησης. Κατά την διαδικασία αυτή παρατηρήθηκε πως οι μετρήσεις του NO₂ ήταν οι περισσότερες μηδέν. Επιπλέον παρατηρήθηκε πως οι μετρήσεις των SO₂ και O₃ ήταν κατά 90% έως 0,2 ppm το οποίο είναι και η ακρίβεια του αισθητήρα. Βάση των παραπάνω, αλλά και των συμπερασμάτων που βγήκαν από την σύγκριση με τα όργανα ακρίβειας του αστεροσκοπείου, βλέπουμε πως για τους ρύπους NO₂, SO₂ και O₃ τα όργανα χαμηλού κόστους δεν είχαν την ακρίβεια να μετρήσουν σωστά στο περιβάλλον. Έτσι αποφασίστηκε να μην απεικονιστούν αφού δεν ήταν αντιπροσωπευτικές οι μετρήσεις. Τέλος δημιουργήθηκαν διαγράμματα, τα οποία αφορούν τον κάθε ρύπο στο κάθε σημείο μέτρησης και περιέχουν τις 10 ημέρες μετρήσεων, το πρωί, το μεσημέρι και το βραδύ.

Εκτός από αυτά, με τη χρήση του προγράμματος google my map δημιουργήθηκαν χάρτες απεικόνισης των σημείων της διαδρομής, στα οποία έχουν εισαχθεί τα δεδομένα από το excel για μια τυπική ημέρα την 2/7/2020 το πρωί. Έτσι δημιουργήθηκαν έξι χάρτες, όπου στον κάθε έναν εμφανίζεται το κάθε σημείο μέτρησης αναλυτικά, με τα δεδομένα που μετρήθηκαν τη συγκεκριμένη ημέρα. (Google my maps 2020)

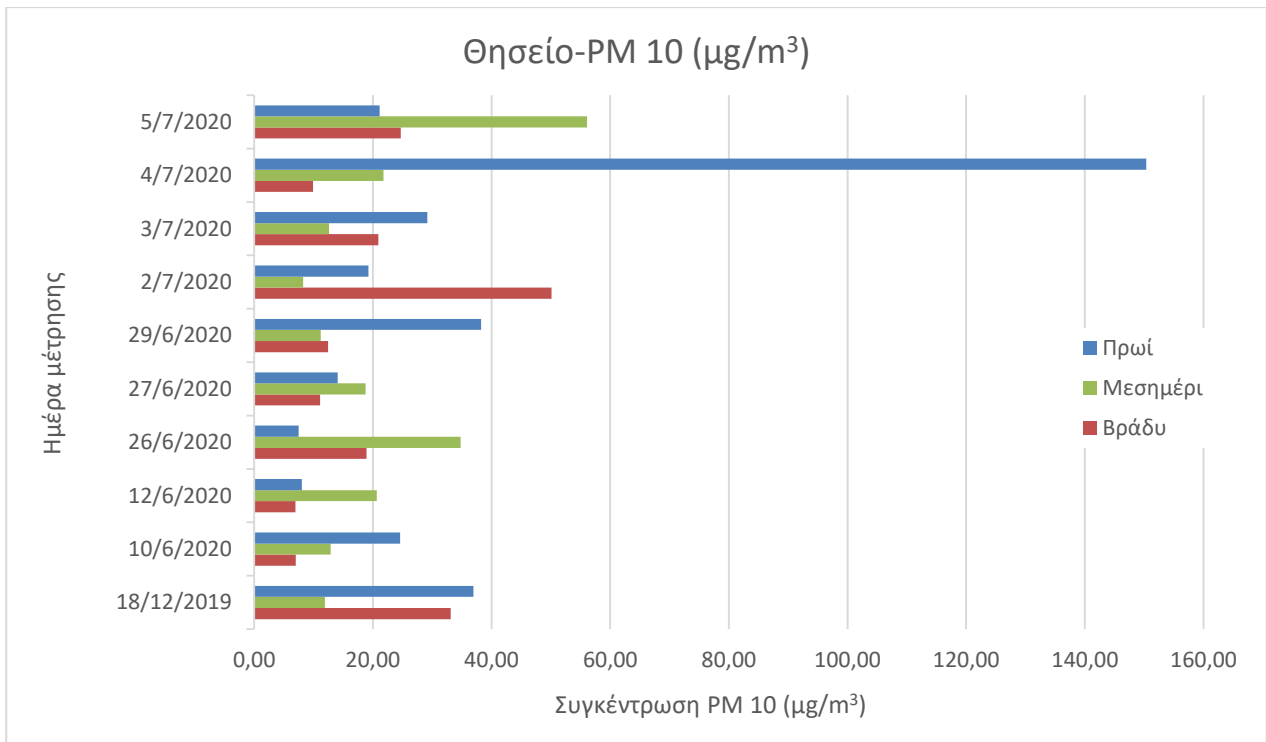
Το google my map είναι ένα online πρόγραμμα της google, που σου δίνει την δυνατότητα μέσω του gmail να έχεις ένα προφίλ ώστε να μπορείς να δημιουργήσεις και να επεξεργαστείς χάρτες. Μέσο αυτού του προφίλ μπορείς να ελέγξεις την μορφολογία τους χάρτη, όπως και τον τρόπο απεικόνισης των δρόμων. επίσης, έχεις την δυνατότητα να βάλεις τα δικά σου σημεία, είτε χειροκίνητα είτε εισάγοντας συντεταγμένες. Κύρια λειτουργία αυτών των χαρτών είναι η εισαγωγή δεδομένων από ένα φύλλο excel και η δυνατότητα διαμόρφωσης τους μέσα στον χάρτη. Σημαντικό επίσης είναι ότι μπορούν να εισαχθούν φωτογραφίες και κείμενο, για το κάθε σημείο, ως ένα αποκλειστικό δεδομένο που με διαδραστικό τρόπο εμφανίζεται. Τέλος αποθηκεύονται όλα στο google drive οπότε μπορείς να επεξεργαστείς τους χάρτες σου και τα δεδομένα σου από οποιονδήποτε υπολογιστή.

5.3.2 Απεικόνιση και χαρτογράφηση της ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

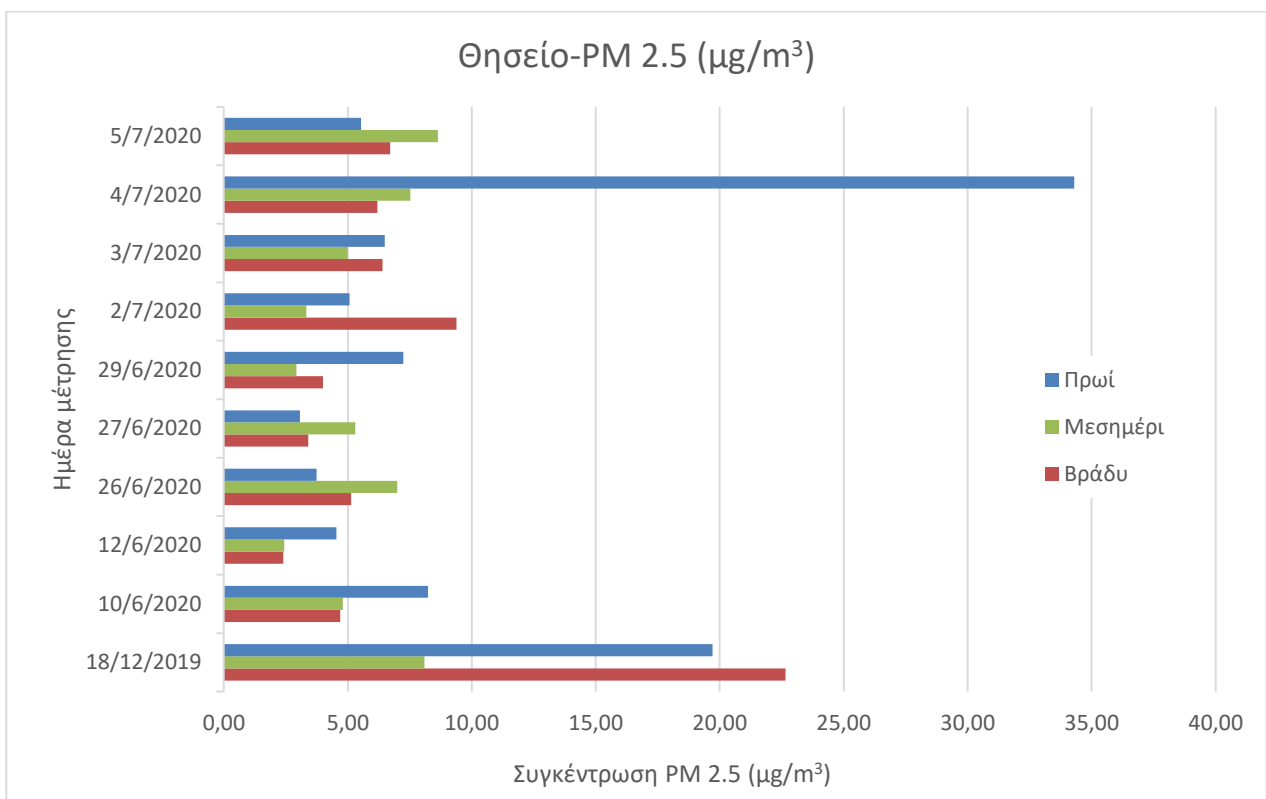
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τις μέσες τιμές συγκέντρωσης% πρωινών, μεσημεριανών και βραδινών διαδρομών της κάθε ημέρας, σε όλα τα σημεία που μέτρησης. Τα σημεία που μετρήσαμε είναι το Θησείο, η Ακρόπολη, η Πύλη του Αδριανού, το Σύνταγμα, η Ερμού και Ευαγγελιστρίας και το Μοναστηράκι. Επιπλέον γίνεται απεικόνιση για τους ρύπους PM10, PM2.5,

PM1 και CO. Όπως επίσης υπάρχει η ύπαρξη χαρτών στους οποίους βρίσκονται τα σημεία μέτρησης και εμφανίζονται οι πρωινές τιμές μιας τυπικής ημέρας της 2/7/2020.

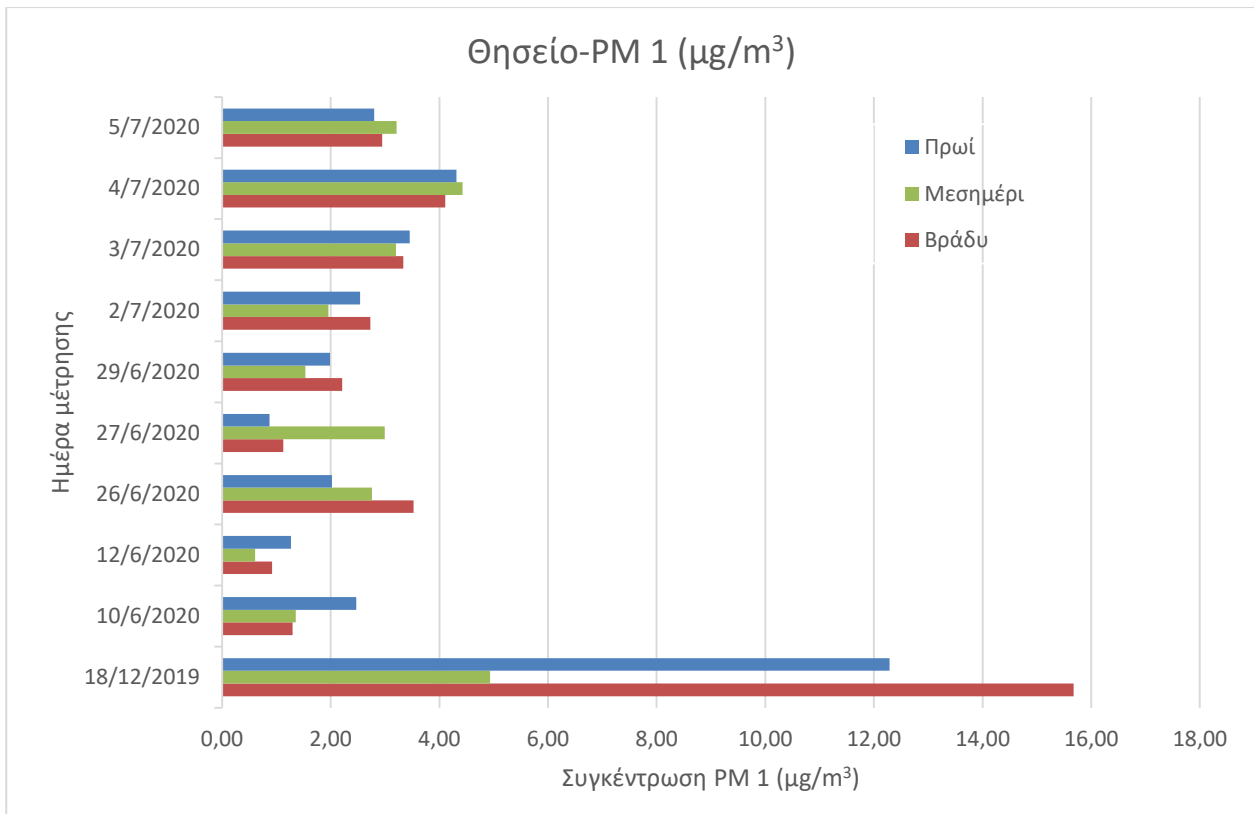
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για το Θησείο:



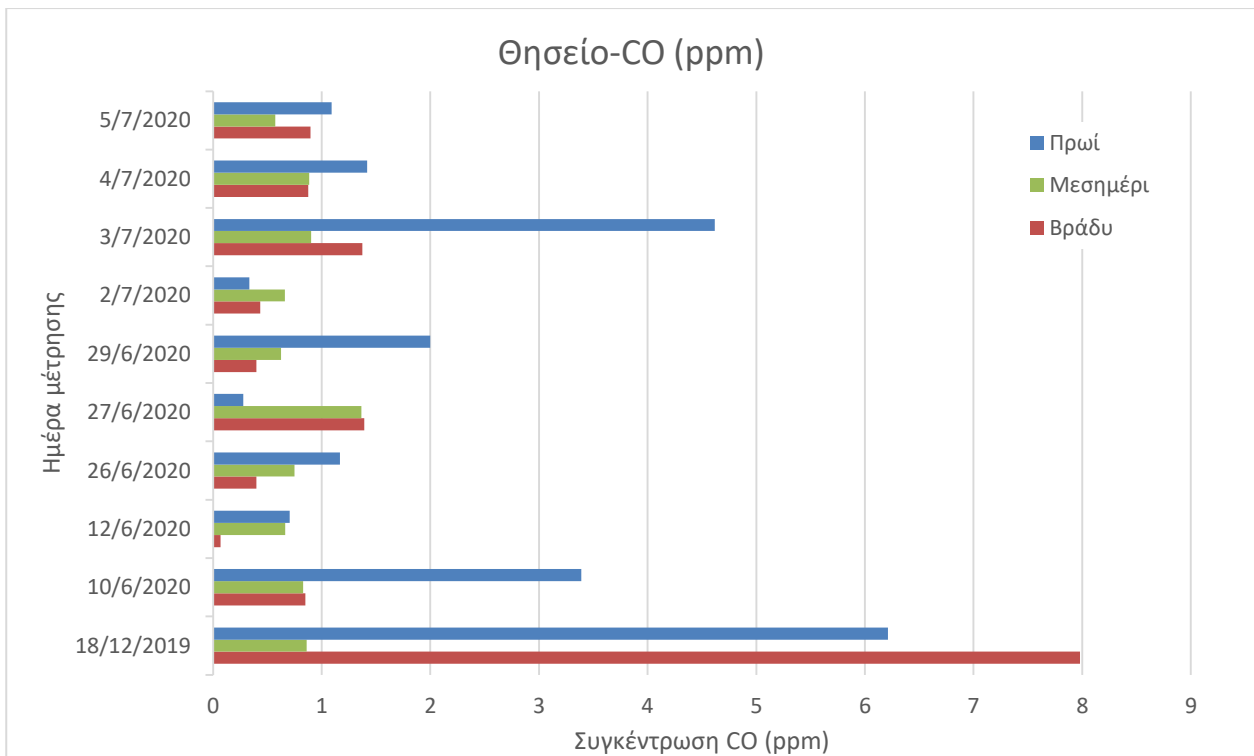
Διάγραμμα 5.13: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στο Θησείο.



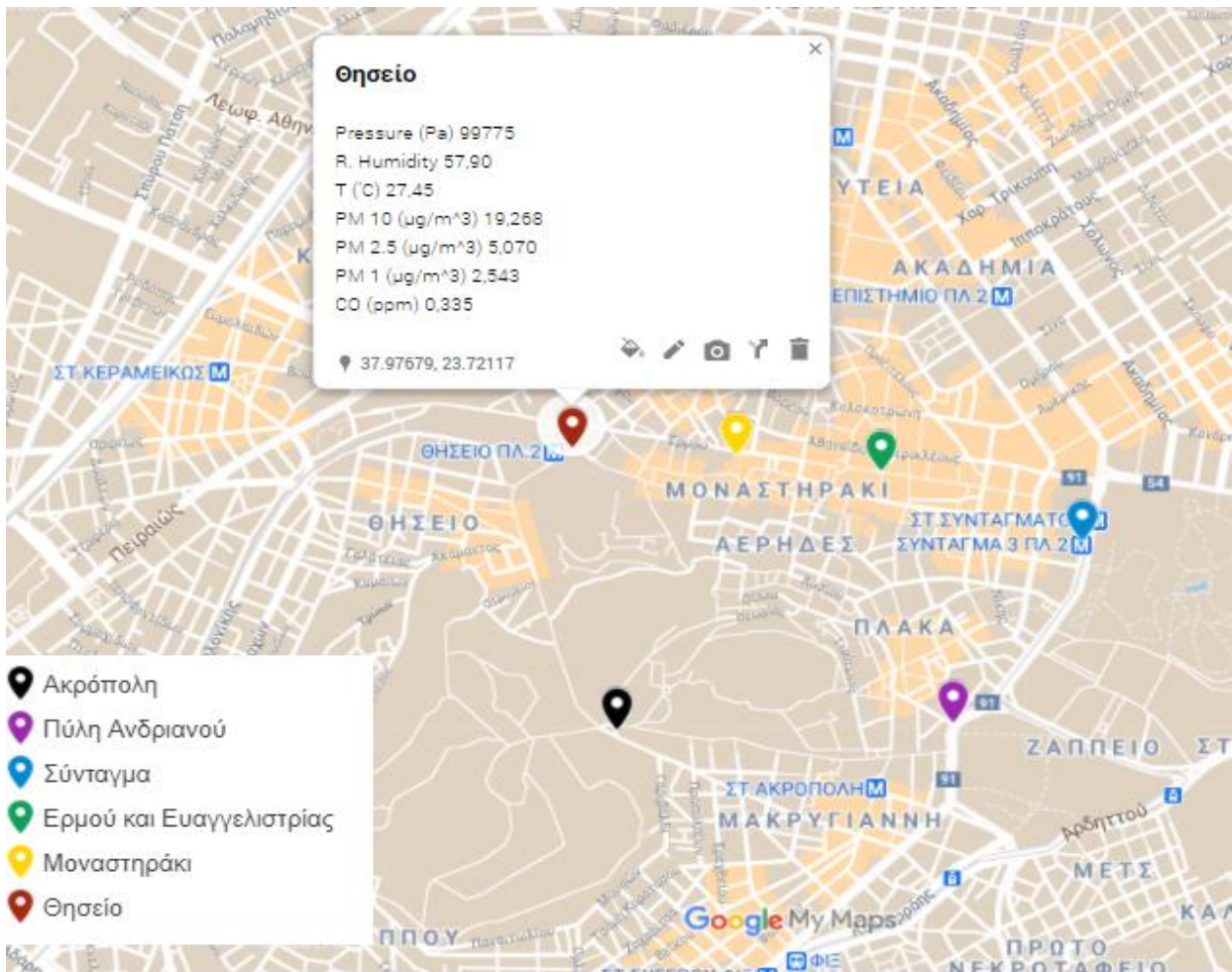
Διάγραμμα 5.14: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στο Θησείο.



Διάγραμμα 5.15: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στο Θησείο.



Διάγραμμα 5.16: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στο Θησείο.



Χάρτης 5.1: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στο Θησείο.

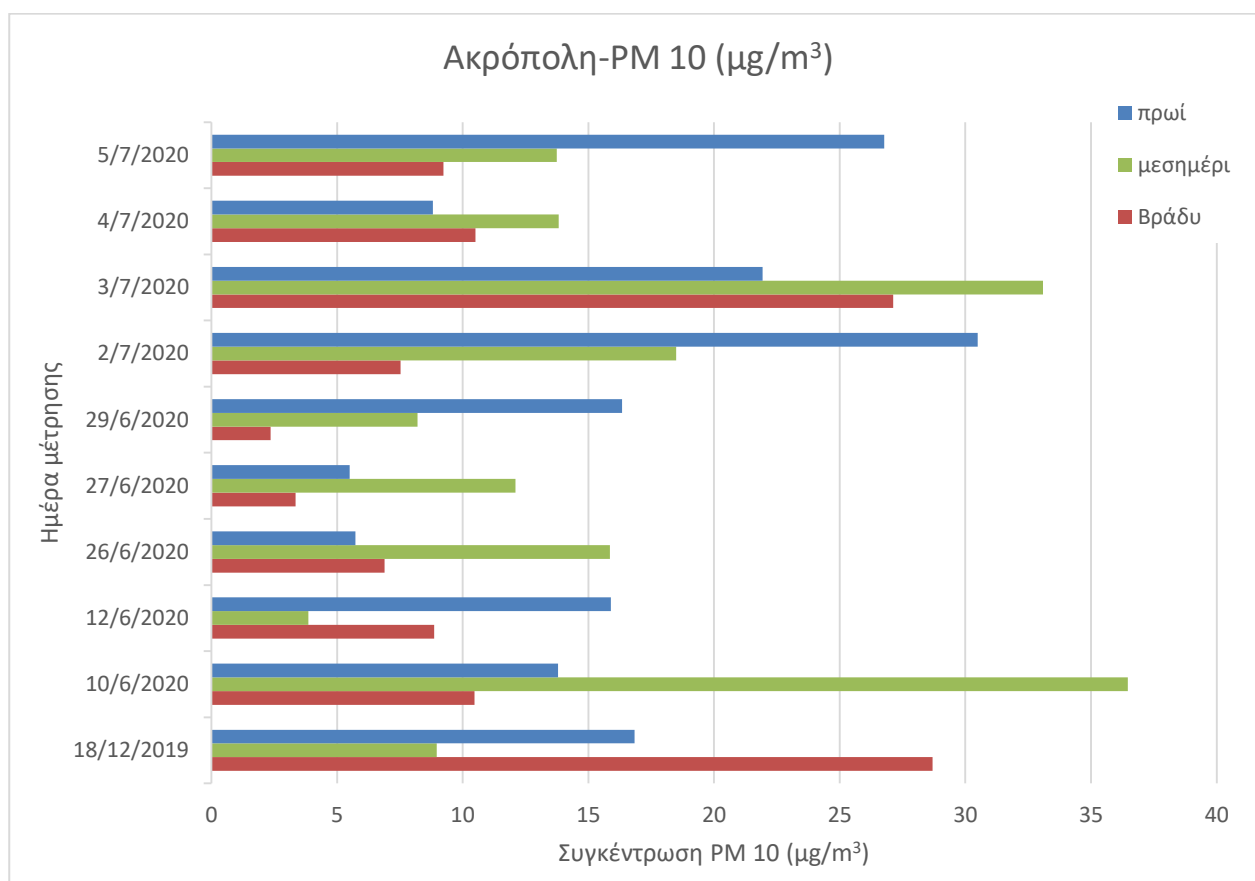
Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στο Θησείο είναι τα εξής. Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.13 και τον χάρτη 5.1 το πρωί στο σημείο μετρήσεων του Θησείου φαίνεται η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης PM10 στις 4/7/2020. Αυτό δικαιολογείται, διότι την συγκεκριμένη ημέρα το πρωί γίνονταν έργα από τον δήμο δίπλα στο σημείο όπου κάναμε μετρήσεις. Το μεσημέρι, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στις 5/7/2020 και το βράδυ, στις 2/7/2020. Αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις δικαιολογούνται λόγω του ότι κοντά στο σημείο μετρήσεων υπάρχει ένας σταθμός λεωφορείων, που τις δυο αυτές μέρες και αντίστοιχες ώρες, υπήρχαν δυο λεωφορεία σταθμευμένα με ανοιχτούς κινητήρες που περίμεναν τους πολίτες να επιβιβαστούν. Σε χαμηλά επίπεδα κυμάνθηκε η συγκέντρωση του PM10 στις 27/6/2020 για όλη την ημέρα.

Στη συνέχεια, βάση του διαγράμματος 5.14 και του χάρτη 5.1 το πρωί, στο σημείο μετρήσεων του Θησείου παρατηρείτε η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης PM2.5 στις 4/7/2020. Αυτό δικαιολογείται διότι την συγκεκριμένη ημέρα το πρωί γίνονταν έργα από τον δήμο δίπλα στο σημείο που κάνουμε μετρήσεις. Το μεσημέρι κυμαινόταν σε όλες τις μέρες σε αρκετά χαμηλά επίπεδα ρύπανσης. Το βράδυ, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στις 18/12/2019. Αυτό δικαιολογείται λόγω του ότι κοντά στο σημείο μετρήσεων υπάρχει ένας σταθμός λεωφορείων. Εκείνη την μέρα υπήρχε αρκετός κόσμος στους δρόμους με αποτέλεσμα να σταθμεύουν για περισσότερο διάστημα τα λεωφορεία με ανοιχτούς

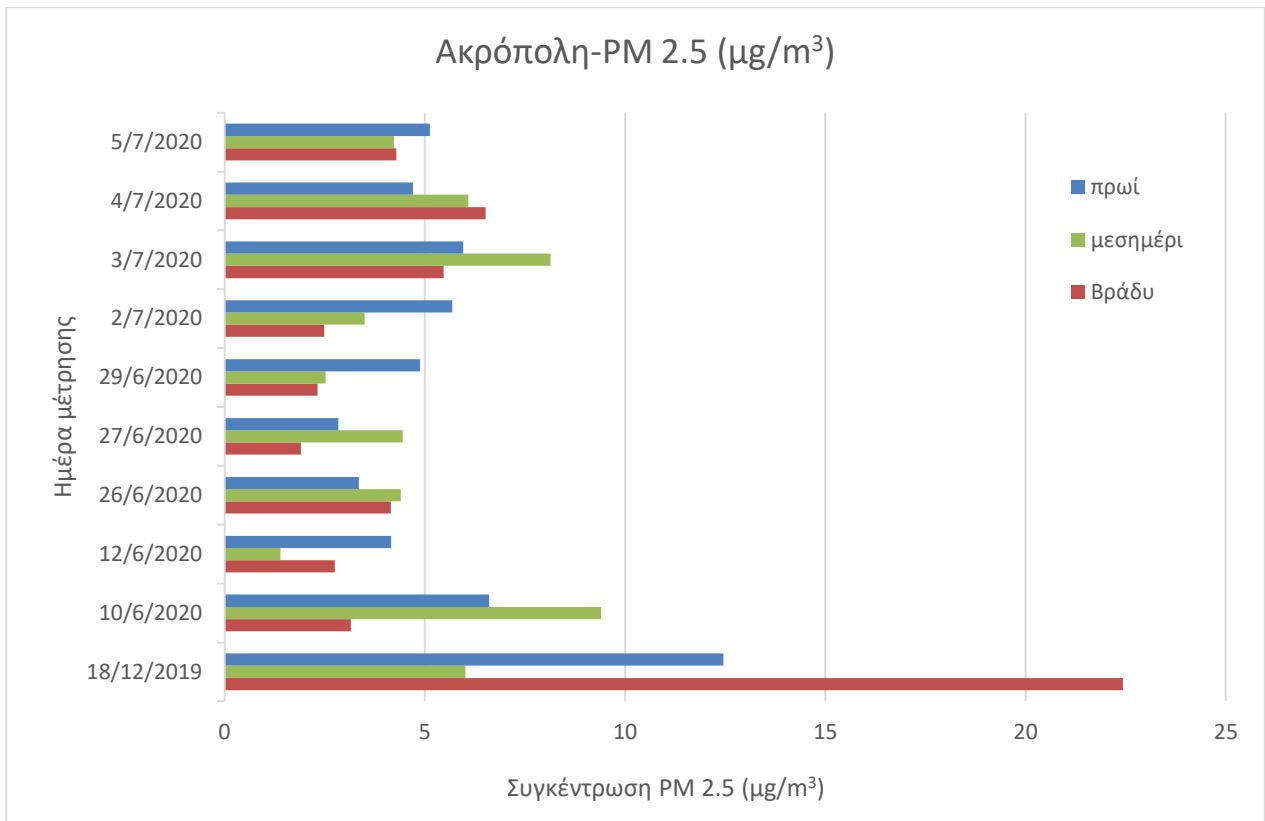
κινητήρες περιμένοντας τους πολίτες να επιβιβαστούν. Σε χαμηλά επίπεδα κυμάνθηκε η συγκέντρωση του PM_{2.5} στις 12/6/2020 και 26/6/2020 για όλη την ημέρα.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.16 και τον χάρτη 5.1 στο σημείο μετρήσεων του Θησείου, η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης CO το πρωί και το βράδυ είναι στις 18/12/2019. Αυτό οφείλεται στο σταθμό λεωφορείων κοντά στο σημείο μετρήσεων. Εκείνη την μέρα υπήρχε αρκετός κόσμος στους δρόμους με αποτέλεσμα να σταθμεύουν για περισσότερο διάστημα τα λεωφορεία με ανοιχτούς κινητήρες περιμένοντας τους πολίτες να επιβιβαστούν. Σε επίσης υψηλά επίπεδα το πρωί είναι η συγκέντρωση στις 10/6/2020 και στις 3/7/2020 λόγω των αυξημένων δρομολογίων που γίνονται τις πρωινές ώρες από τα λεωφορεία και τα οποία κατά την στάση τους εκπέμπουν αρκετές ποσότητες CO. Σε χαμηλά επίπεδα κυμάνθηκε η συγκέντρωση του PM₁ στις 12/6/2020 και 2/7/2020 για όλη την ημέρα.

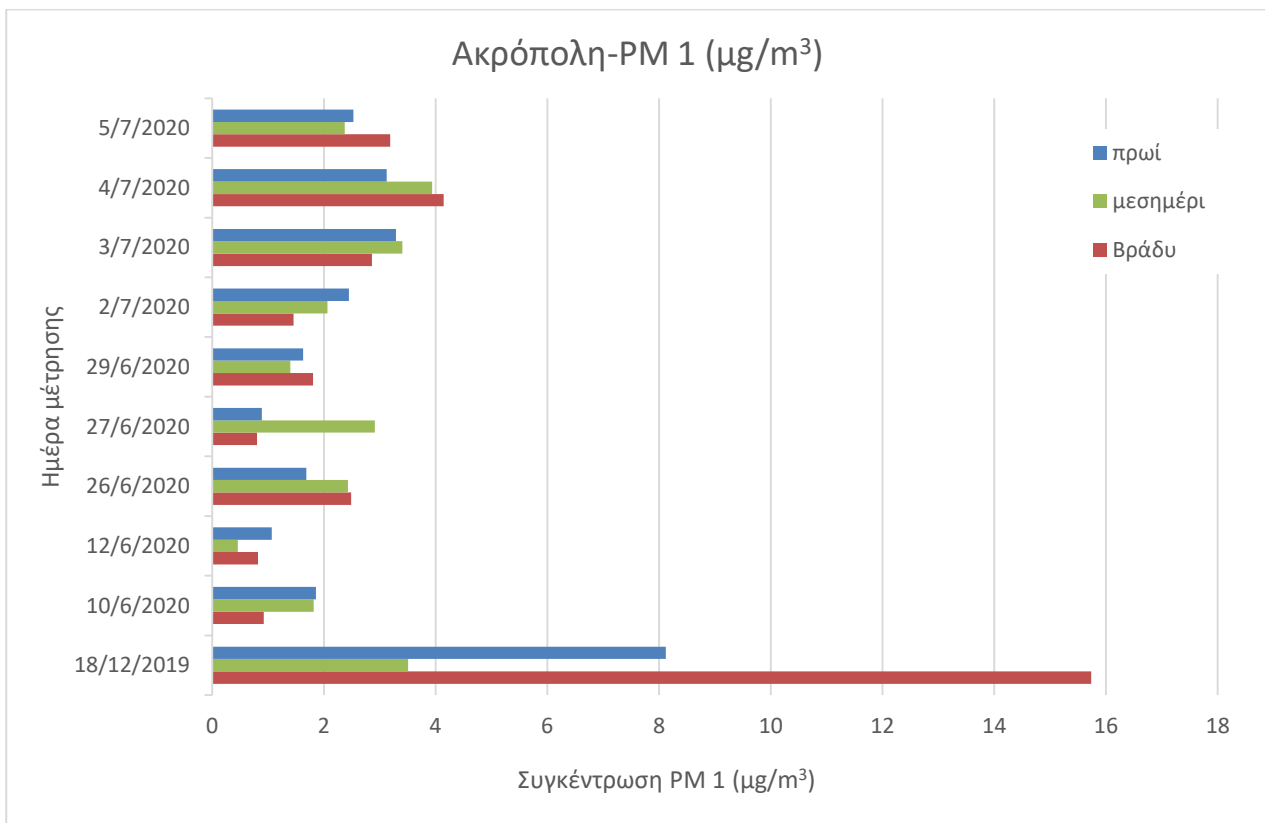
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για την Ακρόπολη:



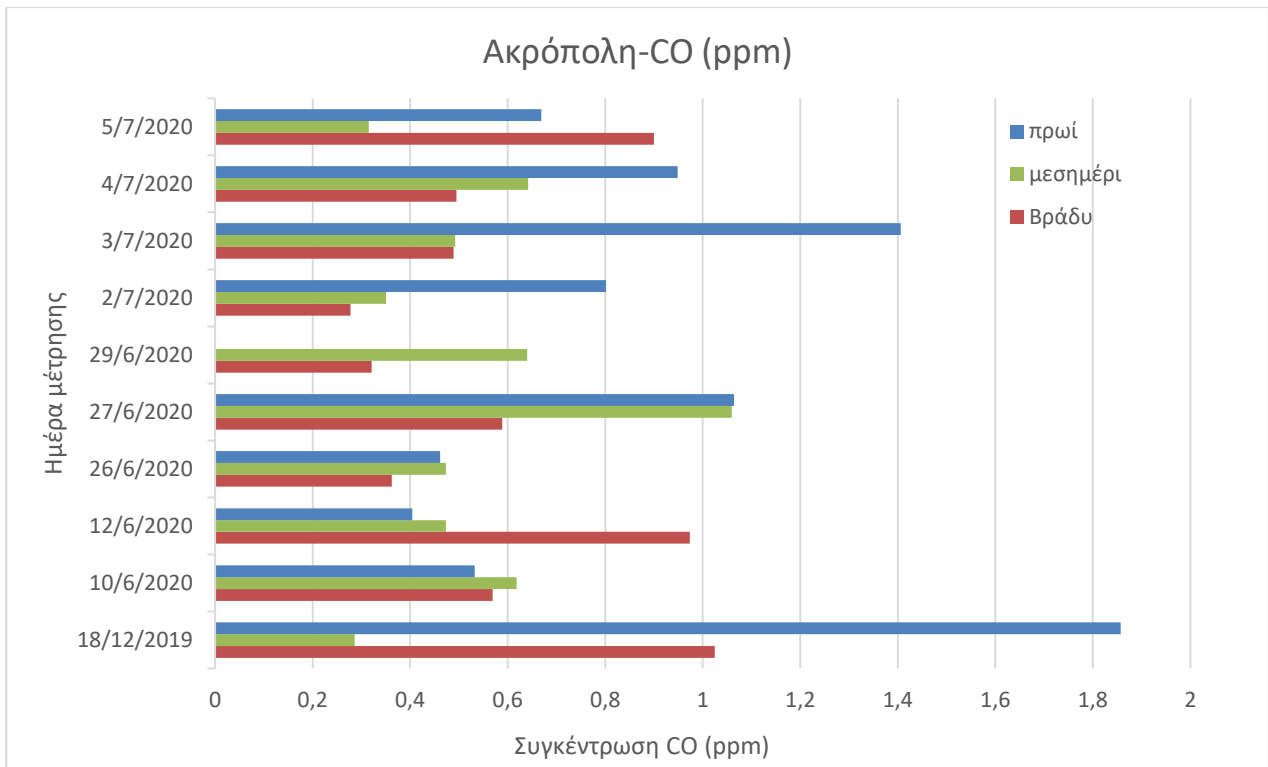
Διάγραμμα 5.17: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στην Ακρόπολη.



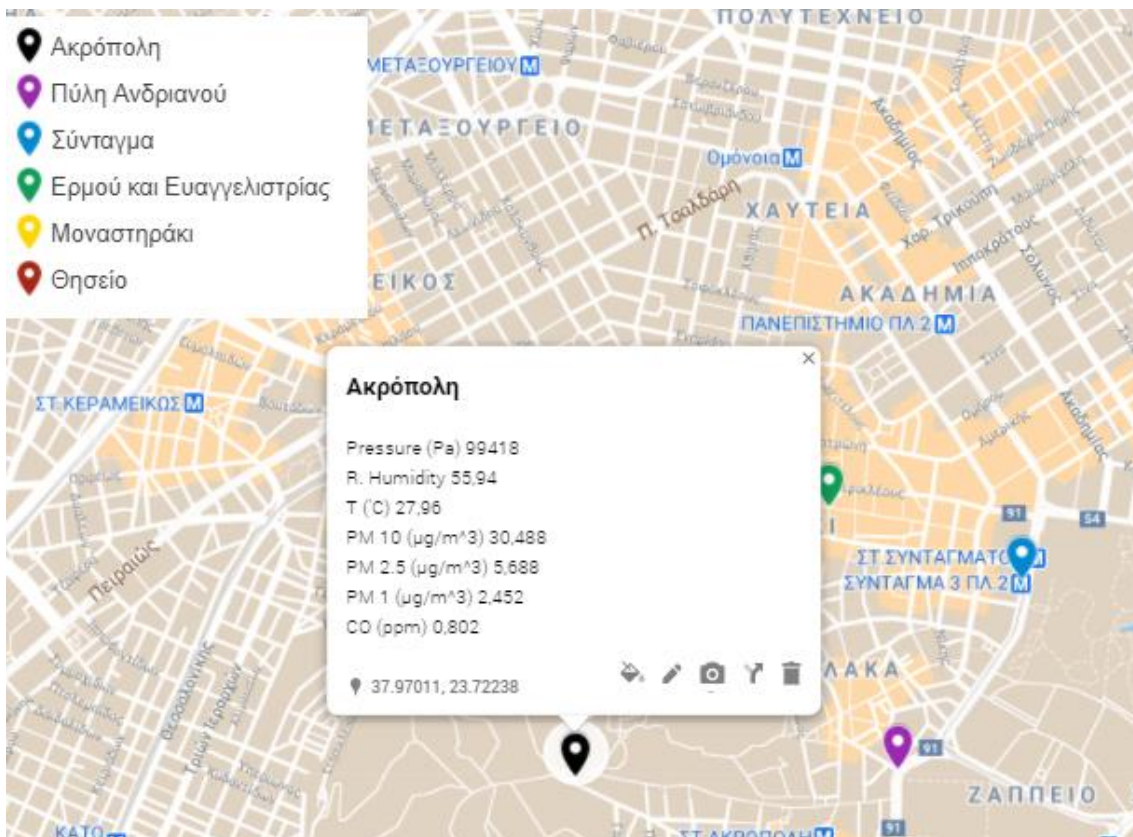
Διάγραμμα 5.18: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στην Ακρόπολη.



Διάγραμμα 5.19: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στην Ακρόπολη.



Διάγραμμα 5.20: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στην Ακρόπολη.



Χάρτης 5.2: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στην Ακρόπολη.

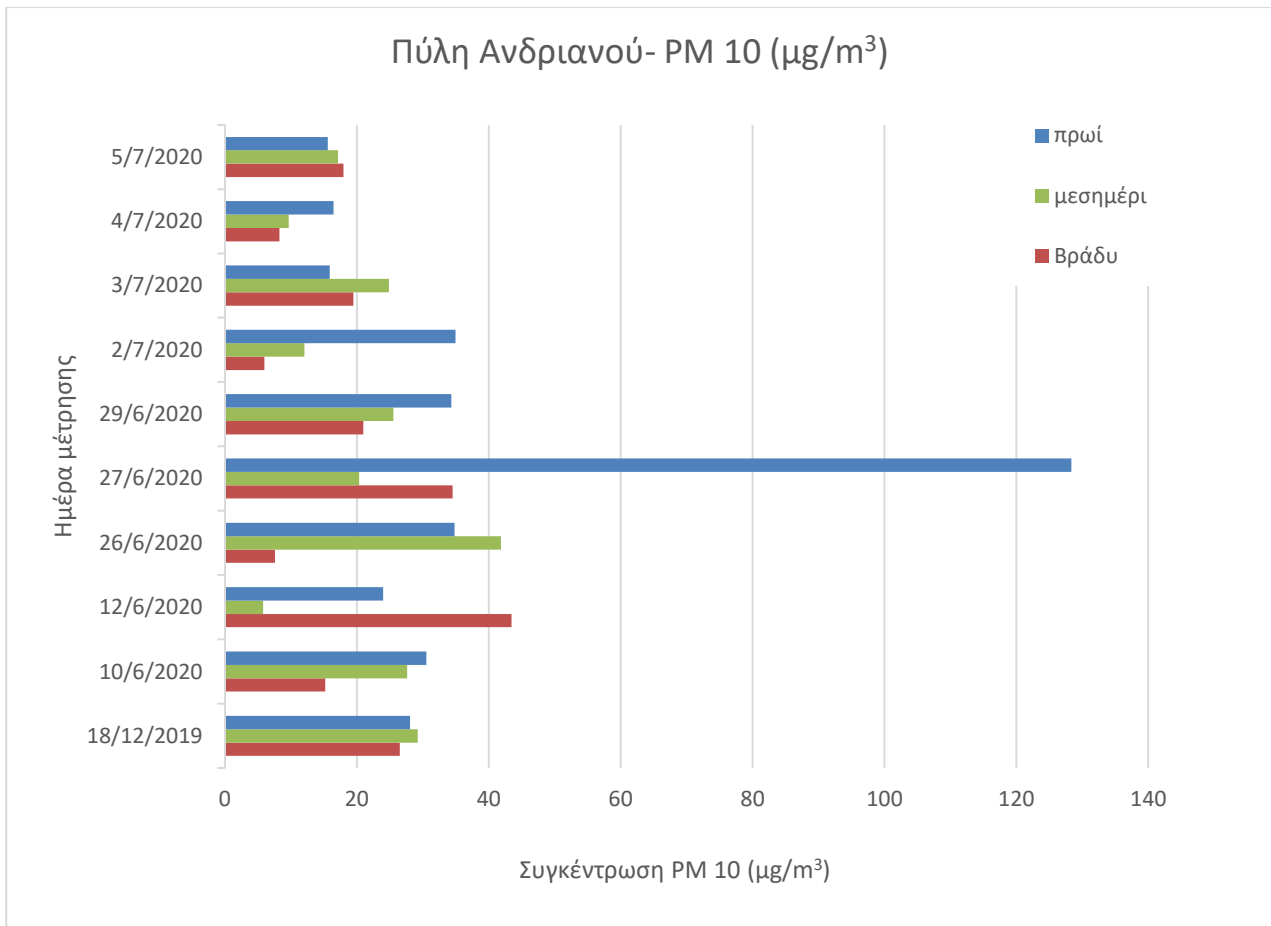
Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στην Ακρόπολη είναι τα εξής; Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.17 και τον χάρτη 5.2 ,σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM10 στις 3/7/2020. Αυτό συμβαίνει διότι αυτήν την μέρα είχε πάρα πολλούς τουρίστες με αποτέλεσμα σε αυτό το σημείο που μετράγαμε να σταθμεύουν αρκετά λεωφορεία εξ αυτών και με ανοιχτούς κινητήρες να περιμένουν να κατέβουν οι τουρίστες. Μια υψηλή συγκέντρωση παρατηρείτε στις 10/6/2020 το μεσημέρι . Αυτό οφείλετε στην ύπαρξη πυροσβεστικού οχήματος κοντά στο σημείο μετρήσεων το οποίο έκανες διαδρομές και στάθμευε κοντά μας. Την λιγότερη συγκέντρωση βλέπουμε στις 27/6/2020.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.18 και τον χάρτη 5.2 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM2.5 στις 18/12/2019 το πρωί και πιο πολύ το βράδυ. Αυτό δικαιολογείται εφόσον κοντά στο σημείο μετρήσεων υπάρχει στάση ΚΤΕΛ τα οποία κάνουν και αναστροφή διπλά στο σημείο μετρήσεων, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και με τα τουριστικά στο ίδιο σημείο και λόγω της αυξημένης κίνησης εκείνης της ημέρας υπήρχαν αρκετά. Μια ακόμα υψηλή συγκέντρωση παρατηρείτε στις 10/6/2020 το μεσημέρι . Αυτό οφείλετε στην ύπαρξη πυροσβεστικού οχήματος κοντά στο σημείο μετρήσεων το οποίο έκανες διαδρομές και στάθμευα κοντά μας

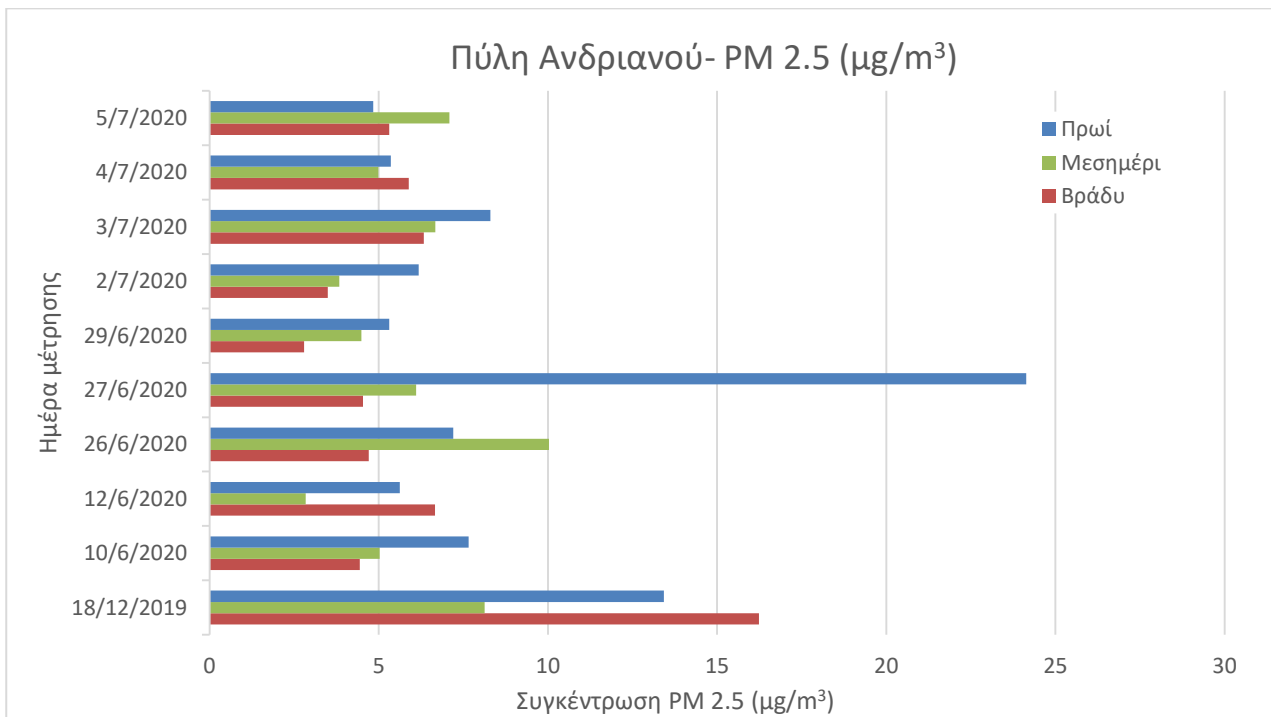
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.19 και τον χάρτη 5.2 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM1 στις 18/12/2019 το πρωί και πιο πολύ το βράδυ. Ο λόγος είναι ότι κοντά στο σημείο μετρήσεων υπάρχει στάση λεωφορείων, τα οποία κάνουν και αναστροφή διπλά στο σημείο μετρήσεων, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και με τα τουριστικά λεωφορεία στο ίδιο σημείο και λόγω της αυξημένης κίνησης εκείνης της ημέρας υπήρχαν αρκετά.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.20 και τον χάρτη 5.2 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του CO στις 18/12/2019 το βράδυ. Η αιτία των υψηλών επιπέδων βρίσκεται στην στάση λεωφορείων, τα οποία κάνουν και αναστροφή διπλά στο σημείο μετρήσεων, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και με τα τουριστικά στο ίδιο σημείο και λόγω της αυξημένης κίνησης εκείνης της ημέρας υπήρχαν αρκετά. Επίσης σε αρκετά υψηλά επίπεδα ήταν το CO το πρωί της 3/7/2020. Αυτό συμβαίνει διότι αυτήν την μέρα είχε αυξημένη τουριστική κίνηση, με αποτέλεσμα σε αυτό το σημείο που μετράγαμε να σταθμεύουν αρκετά λεωφορεία εξ αυτών και με ανοιχτούς κινητήρες να περιμένουν να κατέβουν οι τουρίστες.

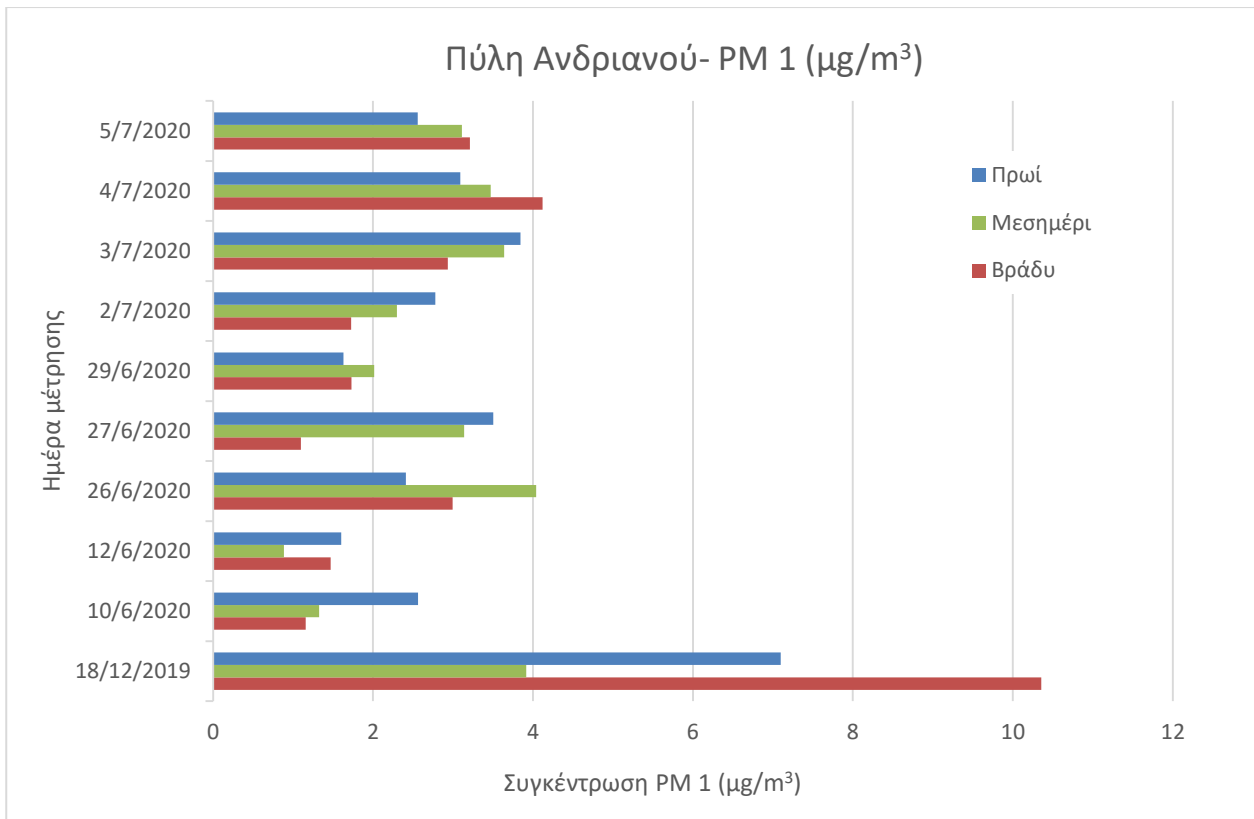
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για την Πύλη του Αδριανού:



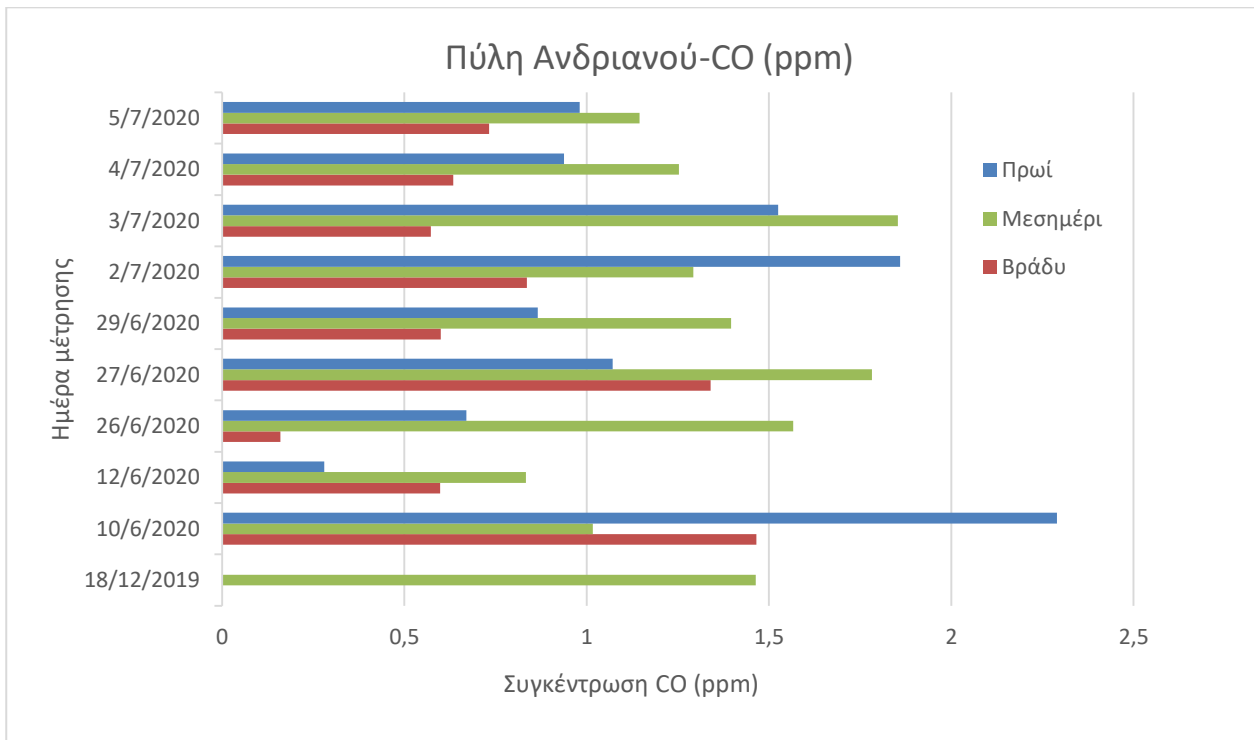
Διάγραμμα 5.21: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στην Πύλη του Αδριανού.



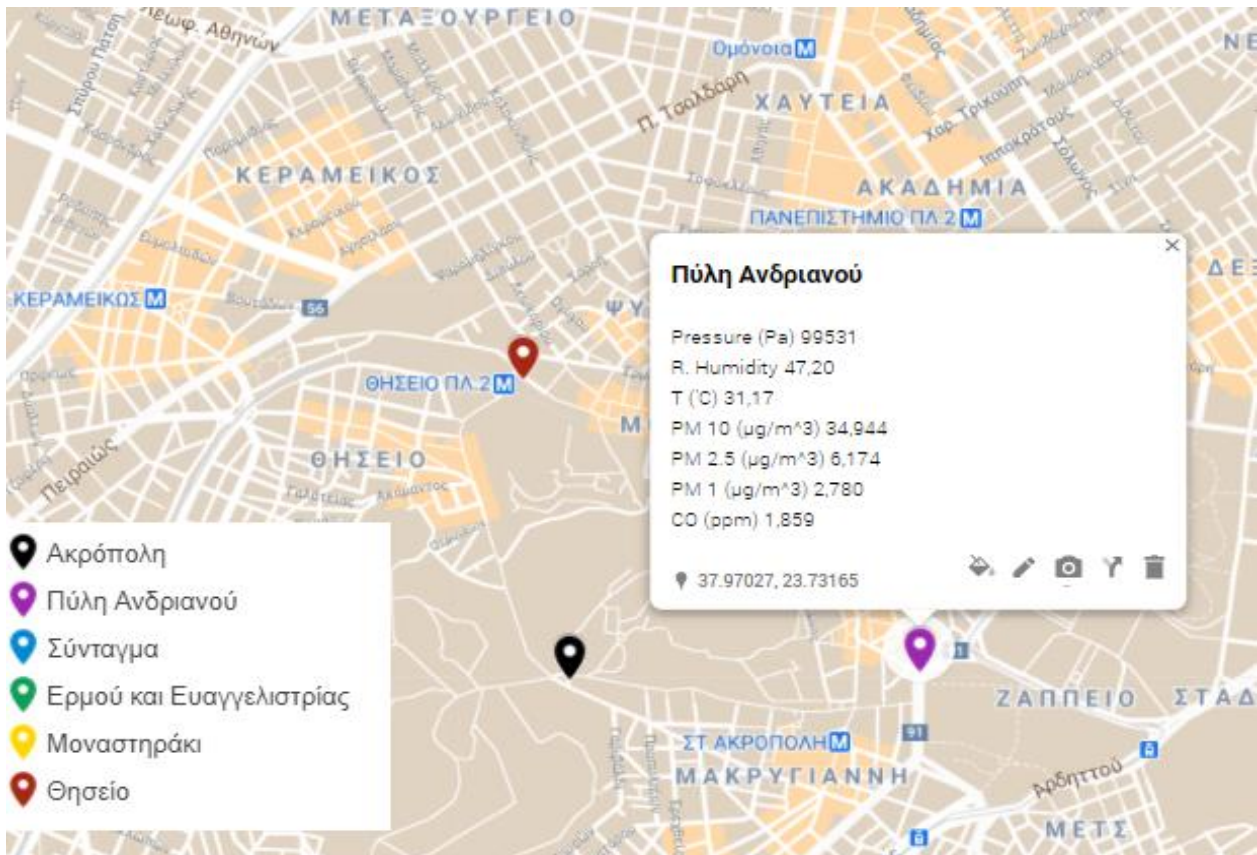
Διάγραμμα 5.22: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στην Πύλη του Αδριανού.



Διάγραμμα 5.23: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στην Πύλη του Αδριανού.



Διάγραμμα 5.24: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στην Πύλη του Αδριανού.



Χάρτης 5.3: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στην Πύλη του Αδριανού.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στην Πύλη του Ανδριανού είναι τα εξής; Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.21 και τον χάρτη 5.3, σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM10 στις 27/6/2020. Αυτό οφείλεται λόγω της μεγάλης κίνησης που υπήρχε στην λεωφόρο βασιλίσσης Όλγας, με αποτέλεσμα στο σημείο της Πύλης του Ανδριανού που μετράγαμε να είναι ακινητοποιημένα όλα τα οχήματα. Επίσης αυξημένες είναι οι τιμές συγκέντρωσης στις 12/6/2020 το βράδυ και στις 26/6/2020 το μεσημέρι λόγω της πολύ αυξημένης κίνησης του σημείου όπου μετράγαμε.

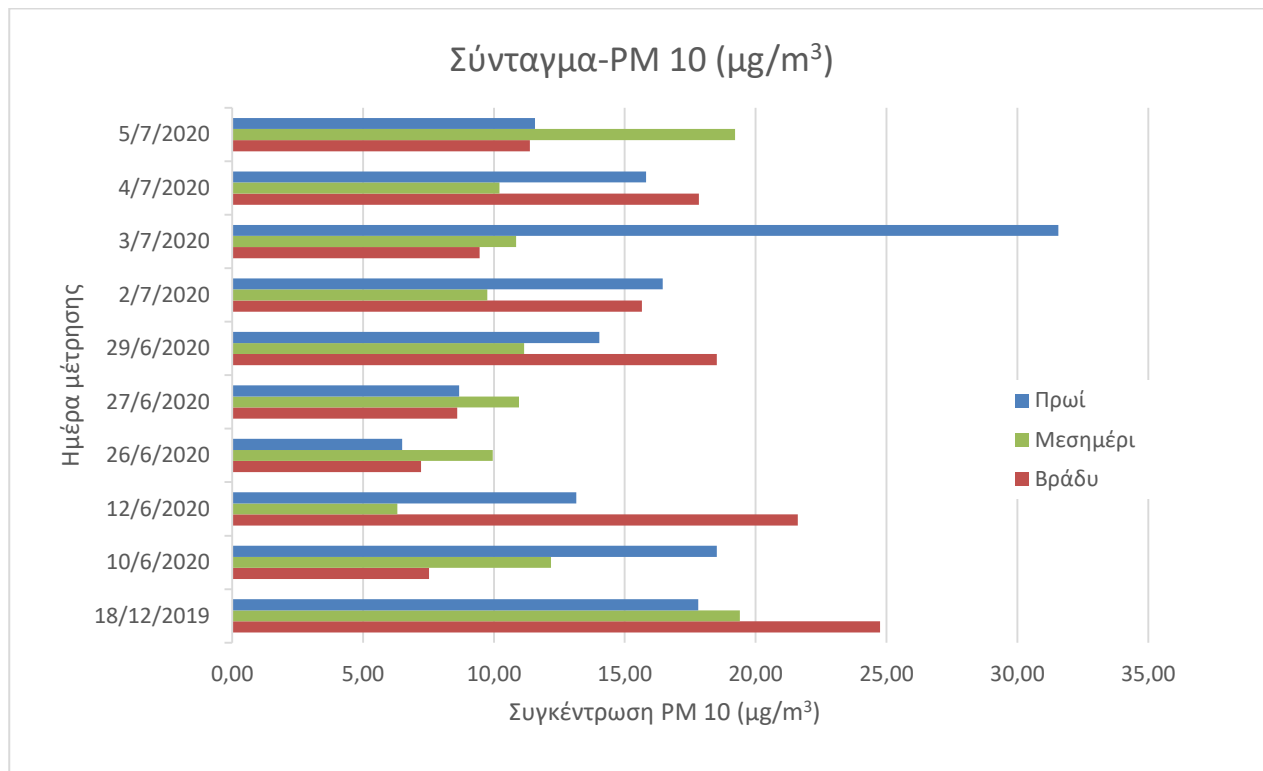
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.22 και τον χάρτη 5.3 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM2.5 στις 27/6/2020. Αυτό οφείλεται λόγω της μεγάλης κίνησης που υπήρχε στην λεωφόρο βασιλίσσης Όλγας με αποτέλεσμα στο σημείο της Πύλης του Ανδριανού που μετράγαμε να είναι ακινητοποιημένα όλα τα οχήματα. Επίσης σε αυξημένα επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση στις 18/12/2019. Αυτό συμβαίνει διότι υπήρχε αυξημένη κίνηση τουριστικών λεωφορείων όπως επίσης και της μεγάλης κίνησης που συμβαίνει στο σημείο μετρήσεων.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.23 και τον χάρτη 5.3 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται η συγκέντρωση του PM2.5 στις 18/12/2019. Αυτό συμβαίνει διότι υπήρχε αυξημένη κίνηση τουριστικών λεωφορείων όπως επίσης και της μεγάλης κίνησης που συμβαίνει στο σημείο μετρήσεων με αποτέλεσμα το μποτιλιάρισμα και την αύξηση των σωματιδιακών ρύπων.

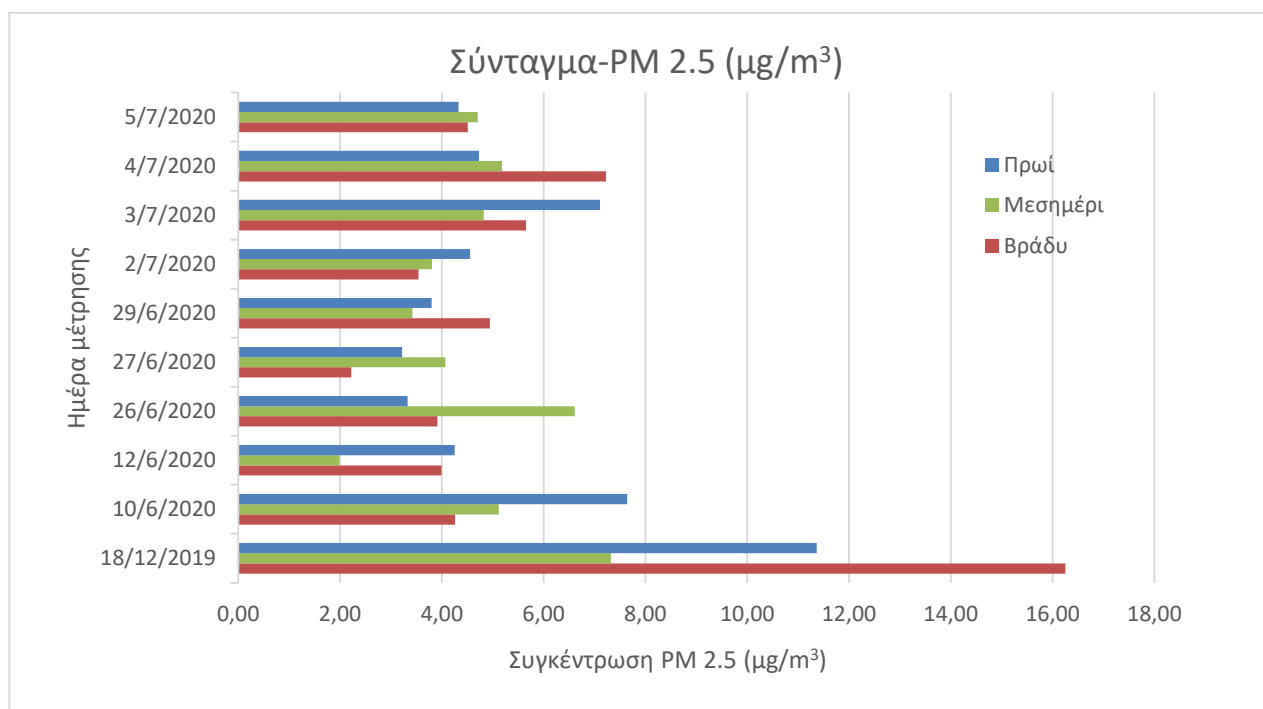
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.23 και τον χάρτη 5.3 σε υψηλά επίπεδα βρίσκεται τα περισσότερα μεσημέρια η συγκέντρωση του CO στην Πύλη του Ανδριανού. Αυτό συμβαίνει διότι είναι ένα σημείο με πολύ αυξημένη κίνηση οχημάτων όπου κατά την διάρκεια του μεσημεριού φαίνεται να

επιδεινώνεται. Επίσης σε υψηλά επίπεδα φαίνεται και πολλά πρωινά όπως στις 10/6/2020 και στις 2/7/2020, το οποίο μας δείχνει πως η κίνηση ξεκινά από νωρίς το πρωί στο σημείο αυτό και όντως συνέβαινε.

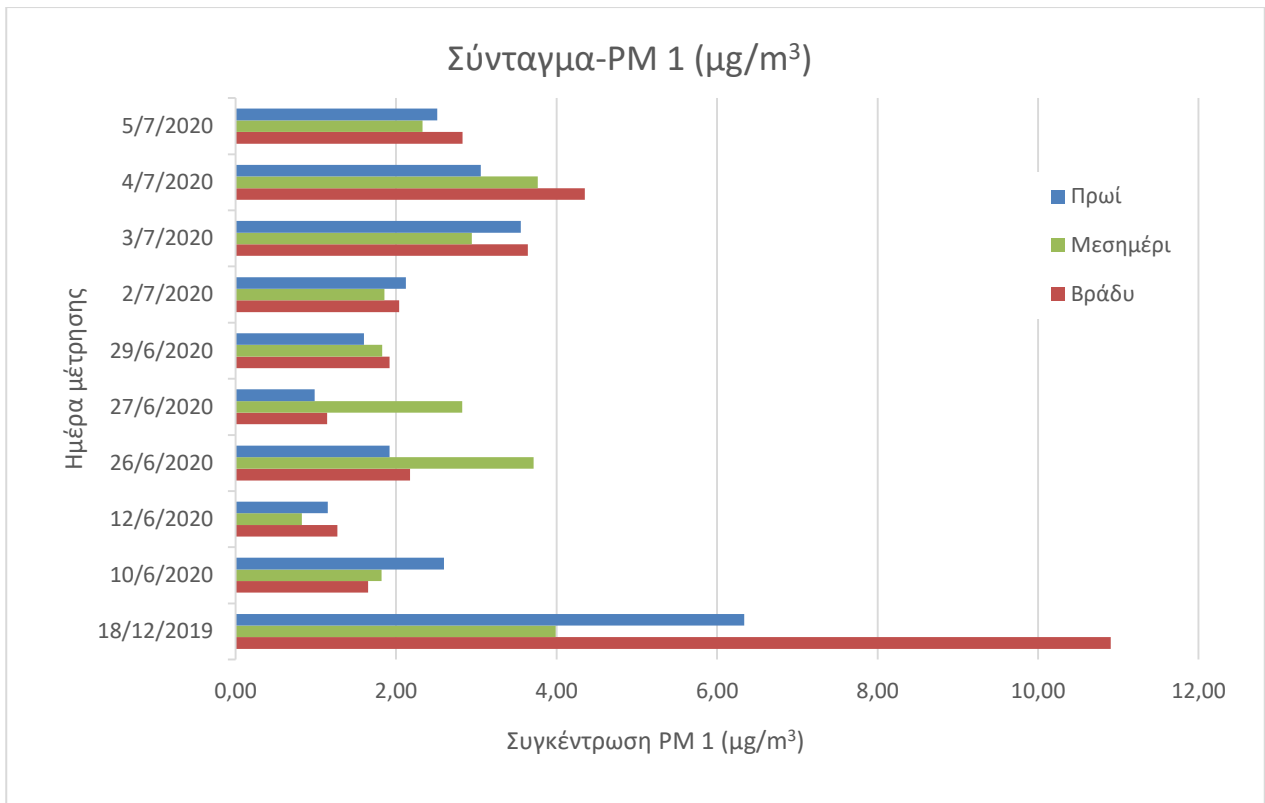
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για το Σύνταγμα:



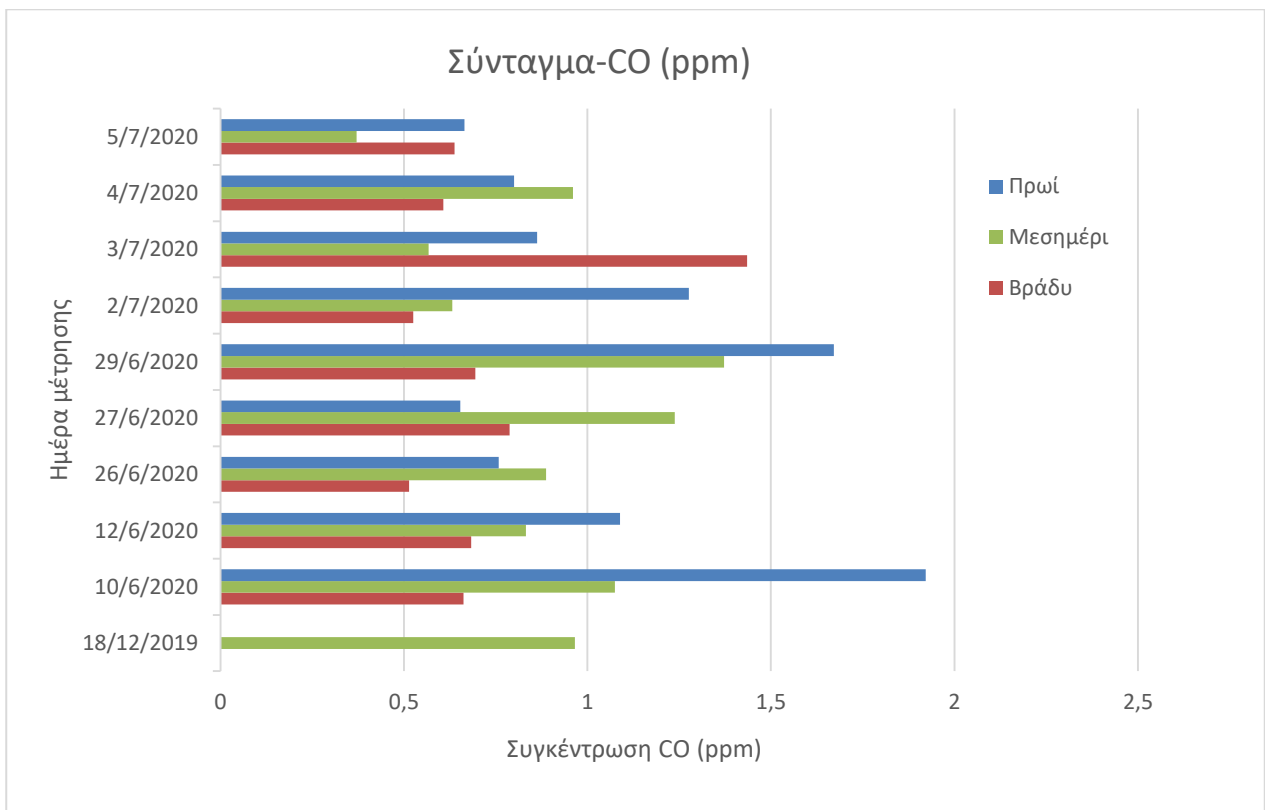
Διάγραμμα 5.25: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στο Σύνταγμα.



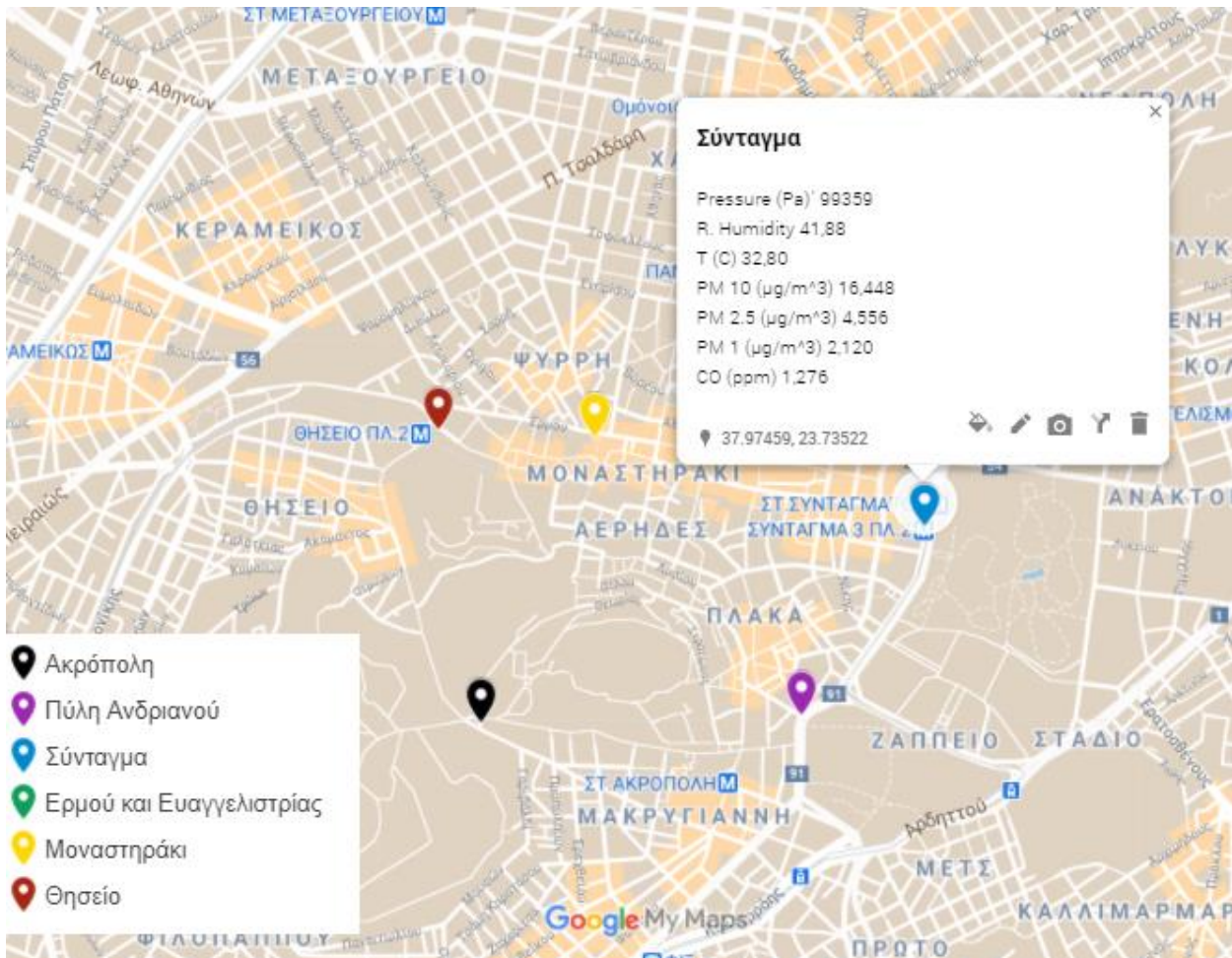
Διάγραμμα 5.26 Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στο Σύνταγμα.



Διάγραμμα 5.27: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στο Σύνταγμα.



Διάγραμμα 5.28: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στο Σύνταγμα.



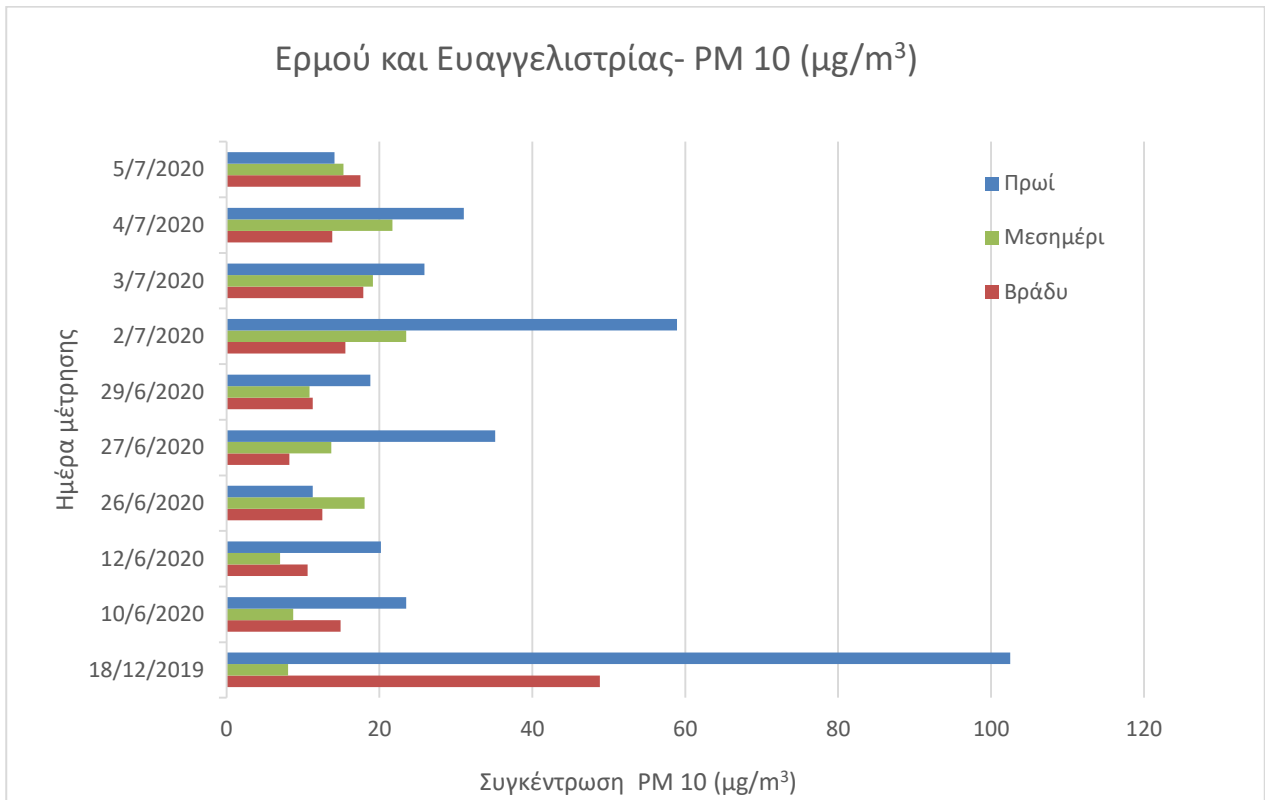
Χάρτης 5.4: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στο Σύνταγμα.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στο Σύνταγμα είναι τα εξής; Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.25 και τον χάρτη 5.4 ,βλέπουμε πως τα επίπεδα ρύπανσης είναι σε σχετικά καλά επίπεδα. Υψηλή συγκέντρωση παρουσιάζεται το πρωί στις 3/7/2020 λόγω της μεγάλης κίνησης στον κεντρικό δρόμο. Όπως επίσης σε υψηλά επίπεδα είναι όλη ημέρα στις 18/12/2019 , διότι αυτήν την μέρα είχε πολλούς τουρίστες η Αθηνά και κινούνταν πολλά τουριστικά λεωφορεία στους δρόμους.

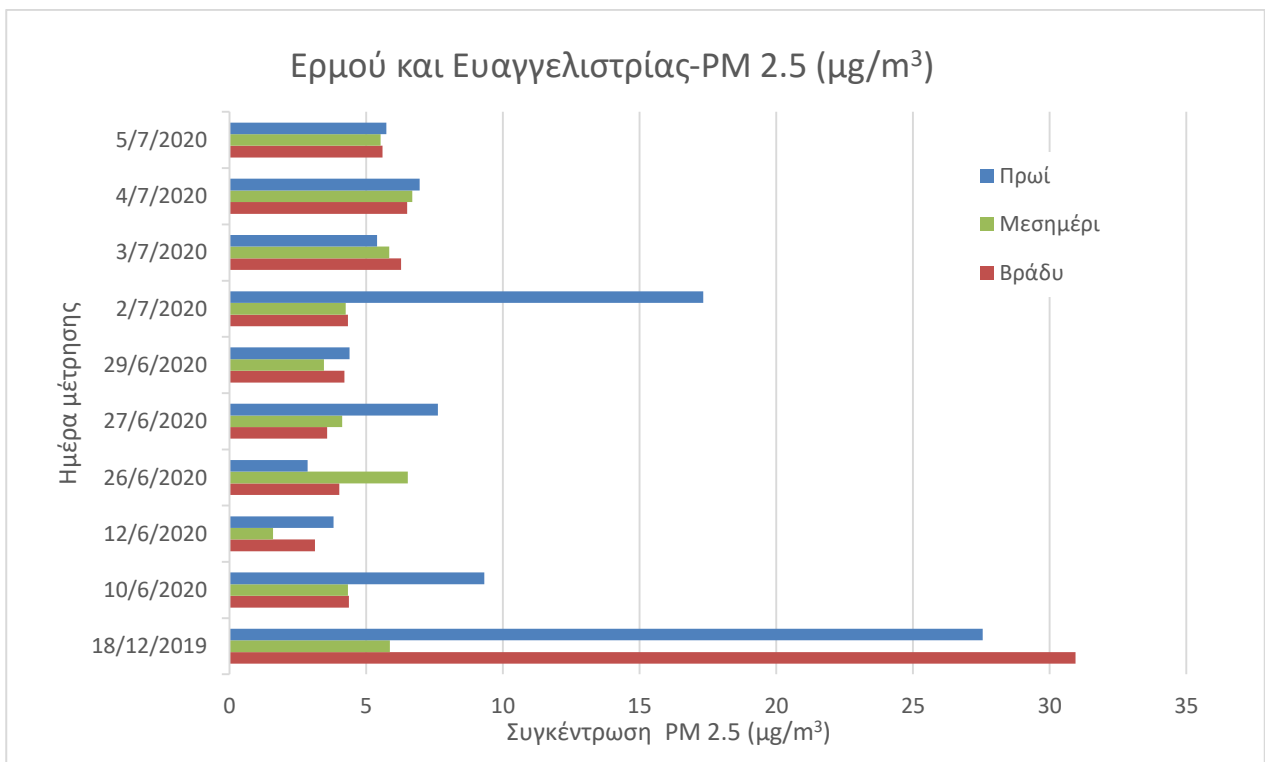
Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.26 και 5.27 όπως επίσης και τον χάρτη 5.4 βλέπουμε πως τα επίπεδα συγκέντρωσης PM2.5 και PM1 είναι σε σχετικά καλά επίπεδα. Υψηλή συγκέντρωση φαίνεται να υπάρχει όλη ημέρα στις 18/12/2019 , διότι αυτήν την μέρα είχε πολλούς τουρίστες η Αθηνά και κινούνταν πολλά τουριστικά λεωφορεία στους δρόμους.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.28 όπως επίσης και τον χάρτη 5.4 βλέπουμε πως στις 18/12/2019 λόγω κάποιου σφάλματος των οργάνων το πρωί και το βράδυ έχουμε μηδενικές τιμές συγκέντρωσης CO. Εκτός από αυτό σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης είναι το πρωί της 10/6/2020 και 29/6/2020, λόγω της κίνησης που δημιουργεί η πληθώρα οχημάτων κατά τις πρωινές ώρες όταν οι πολίτες πηγαίνουν στις δουλειές τους.

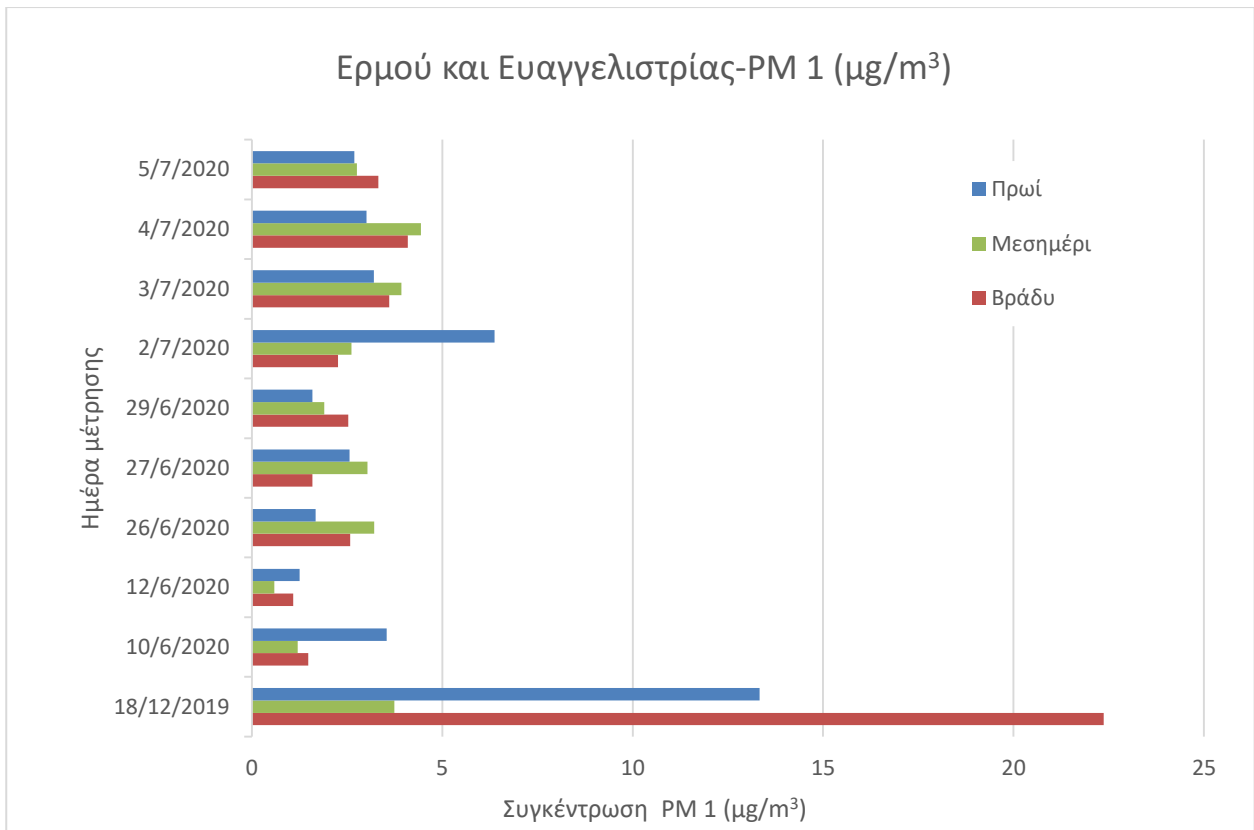
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για την Ερμού και Ευαγγελίστριας:



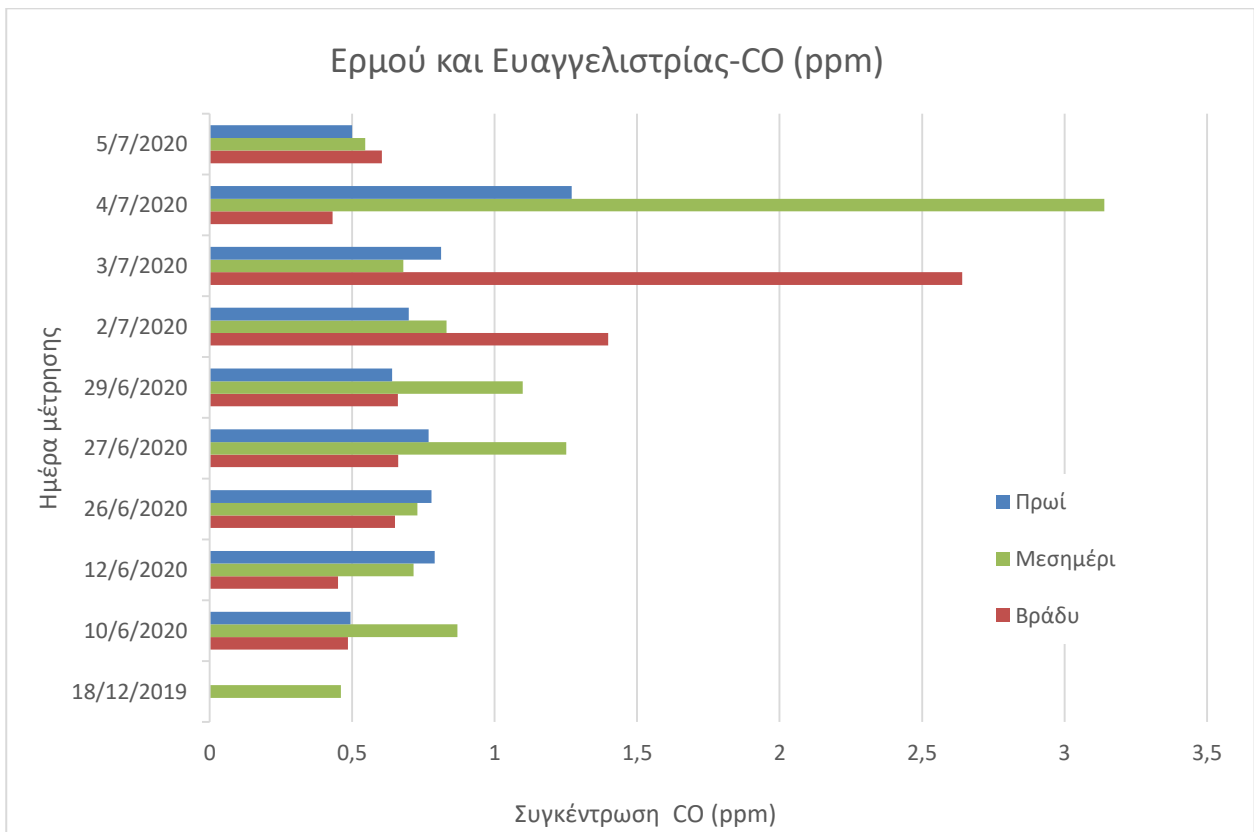
Διάγραμμα 5.29: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στην Ερμού και Ευαγγελίστριας.



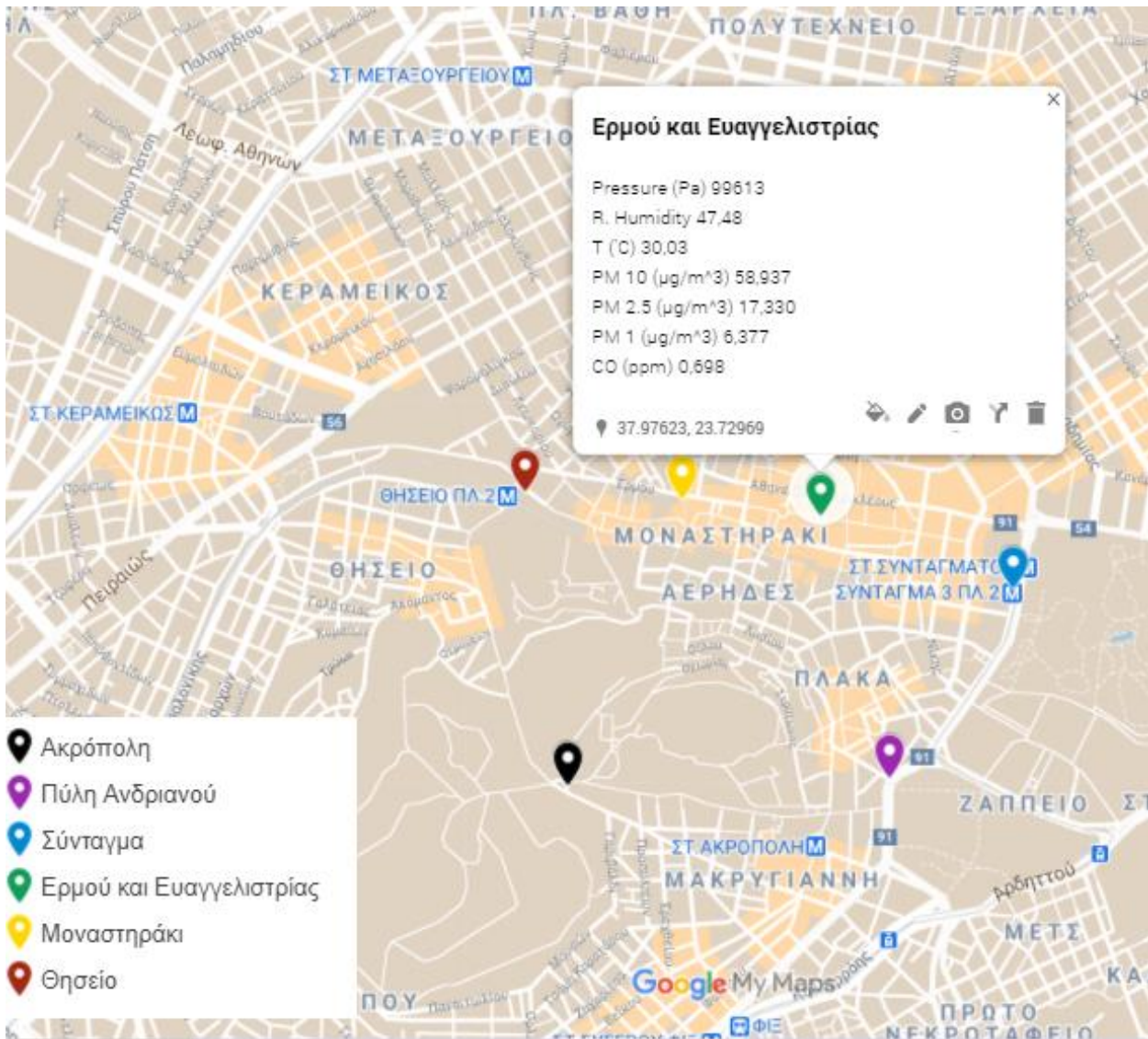
Διάγραμμα 5.30: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στην Ερμού και Ευαγγελίστριας.



Διάγραμμα 5.31: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στην Ερμού και Ευαγγελιστρίας.



Διάγραμμα 5.32: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στην Ερμού και Ευαγγελιστρίας.



Χάρτης 5.5: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στην Ερμού και Ευαγγελιστρίας.

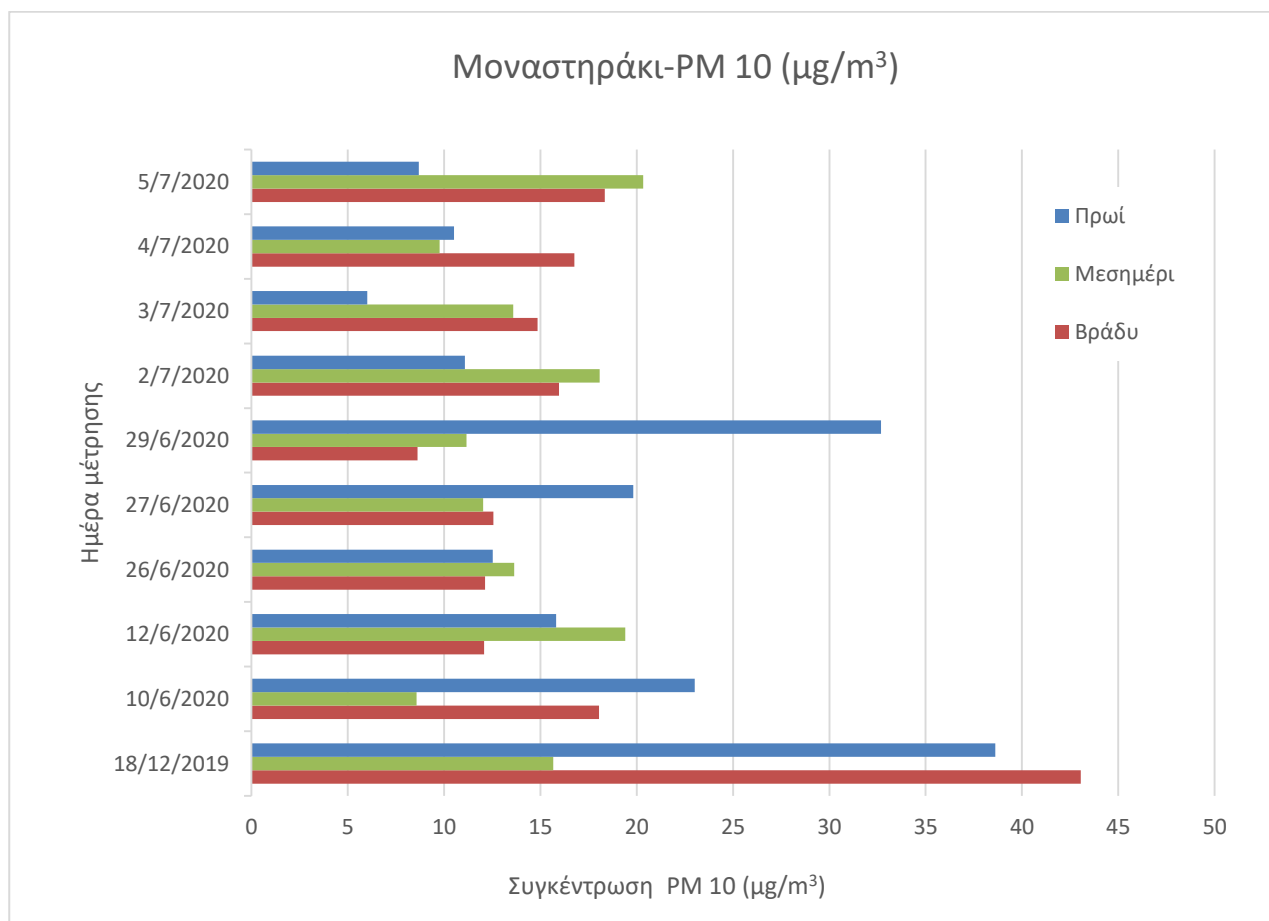
Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στην Ερμού και Ευαγγελιστρίας είναι τα εξής; Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.29 και τον χάρτη 5.5, βλέπουμε πως κατά κύριο λόγο οι συγκεντρώσεις PM10 σε αυτό το σημείο το πρωί είναι υψηλές. Συγκεκριμένα στις 2/7/2020 παρατηρείται αρκετά υψηλή συγκέντρωση η οποία δικαιολογείται λόγω αρχικά των φορτηγών που έρχονται το πρωί για τον ανεφοδιασμό των καταστημάτων της περιοχής, επίσης την συγκεκριμένα ημέρα την ώρα των μετρήσεων πέρασε από δίπλα ένα φορτηγό καθαρισμού του δήμου με βούρτσες. Εκτός από αυτό την υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρούμε το πρωί της 18/12/2019 το οποίο αρχικά όπως έχουμε δει και παραπάνω αυτή η μέρα είναι φαίνεται να έχει αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις σε όλο το κέντρο, αλλά εκτός από αυτό βασικό ρόλο παίζουν τα φορτηγά ανεφοδιασμού των καταστημάτων τα οποία σταθμεύουν με ανοιχτούς κινητήρες.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.30 και 5.31 όπως και τον χάρτη 5.5, βλέπουμε πως υπάρχει πολύ υψηλή συγκέντρωσή του PM2.5 και του PM1 την 18/12.2019. Αρχικά έχει υψηλή συγκέντρωση το

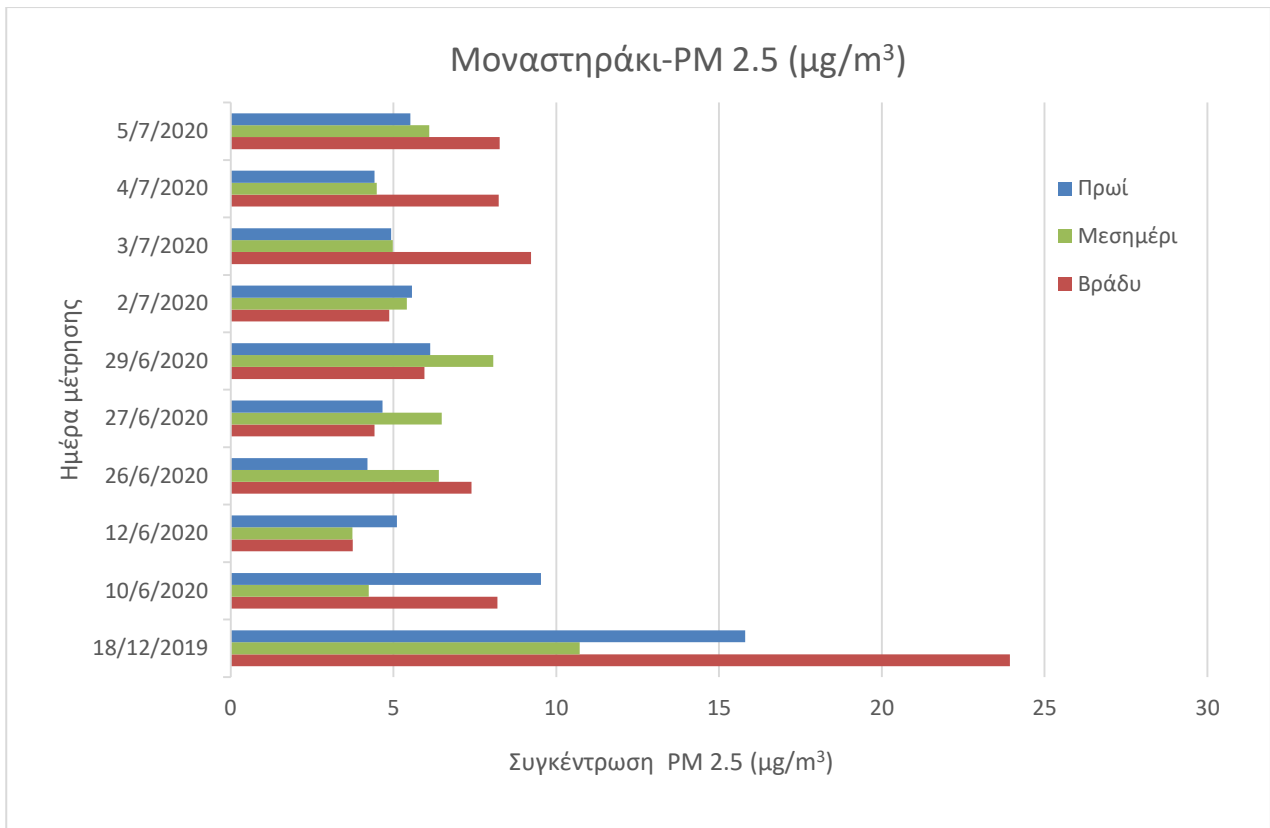
πρωί και στην συνέχεια το βράδυ φτάνει αρκετά υψηλότερα. Αυτό οφείλεται στην γενική εικόνα της ημέρας αρχικά και επιδεινώνεται λόγω των φορτηγών που ανεφοδιάζουν τα καταστήματα της περιοχής. Επιπλέον στις 2/7/2020 παρατηρείται αρκετά υψηλή συγκέντρωση το πρωί, η οποία δικαιολογείται λόγω των φορτηγών που έρχονται τα πρωινά για τον ανεφοδιασμό των καταστημάτων της περιοχής, αλλά και γιατί την συγκεκριμένη ημέρα την ώρα των μετρήσεων πέρανε από δίπλα ένα φορτηγό καθαρισμού του δήμου με βούρτσες.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.32 και τον χάρτη 5.5, βλέπουμε πως οι τιμές συγκέντρωσης του CO για πρωί και βράδυ της 18/12/2019 είναι μηδενικές, αυτό οφείλεται σε σφάλμα των οργάνων. Επίσης όπως φαίνεται στις 4/7/2020 η συγκέντρωση των CO είναι πολύ υψηλή το μεσημέρι στο σημείο της Ερμού και Ευαγγελίστριας. Αυτό εξηγείται διότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων σε αυτό το σημείο στάθμευσε δίπλα μας ΙΧ χωρίς να σβήσει τον κινητήρα. Επιπλέον υψηλή συγκέντρωση βλέπουμε και στις 3/7/2020 το βράδυ. Αυτό είναι αποτέλεσμα από την ρύπανση που παράγουν τα φορτηγά στο σημείο αυτό στο οποίο φορτώνουν και ξεφορτώνουν εμπορεύματα για τα μαγαζιά της περιοχής.

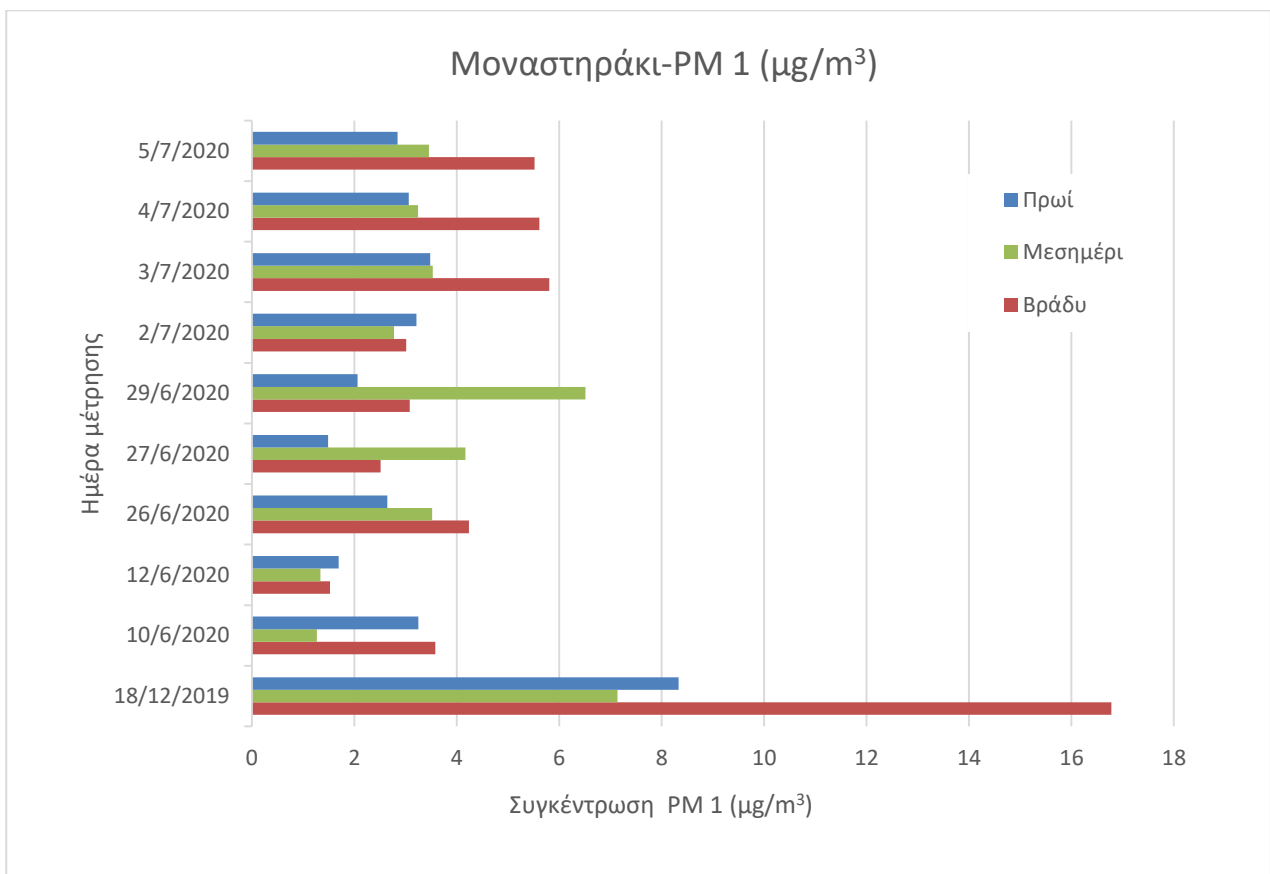
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για το Μοναστηράκι:



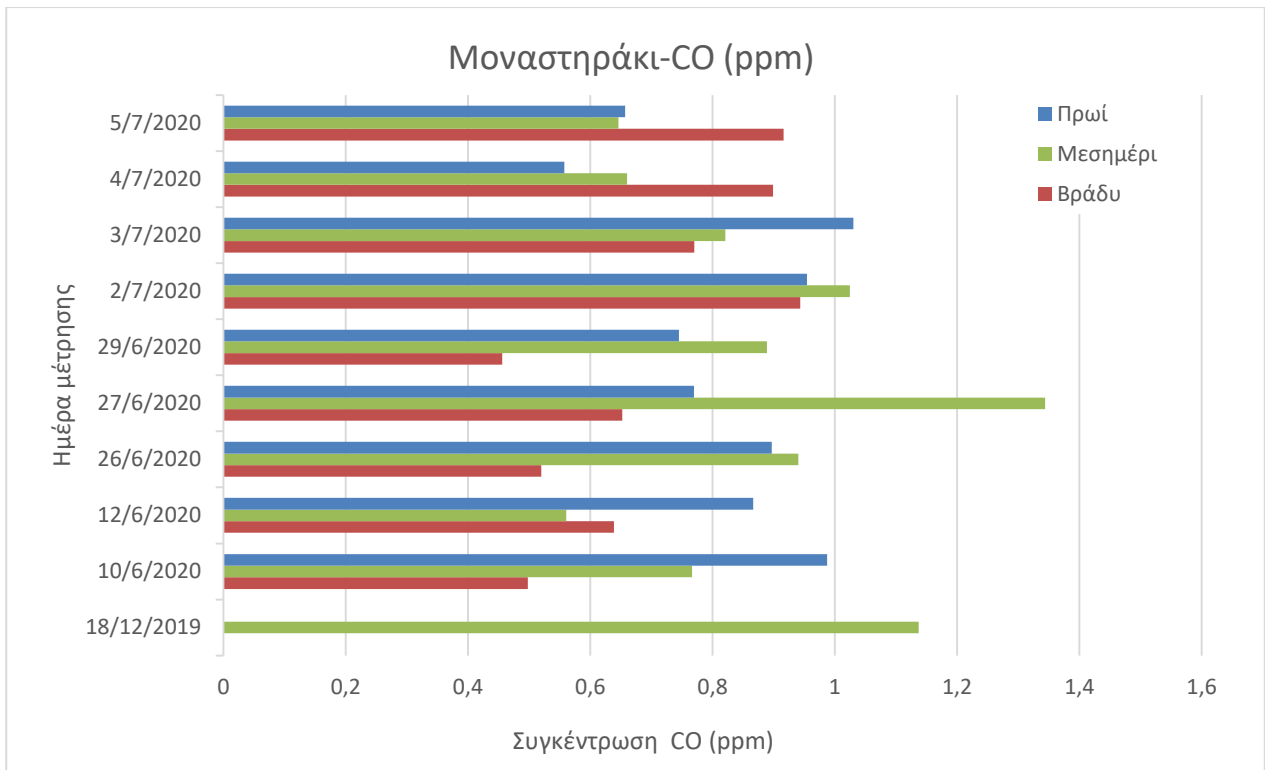
Διάγραμμα 5.33: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 10 στο Μοναστηράκι.



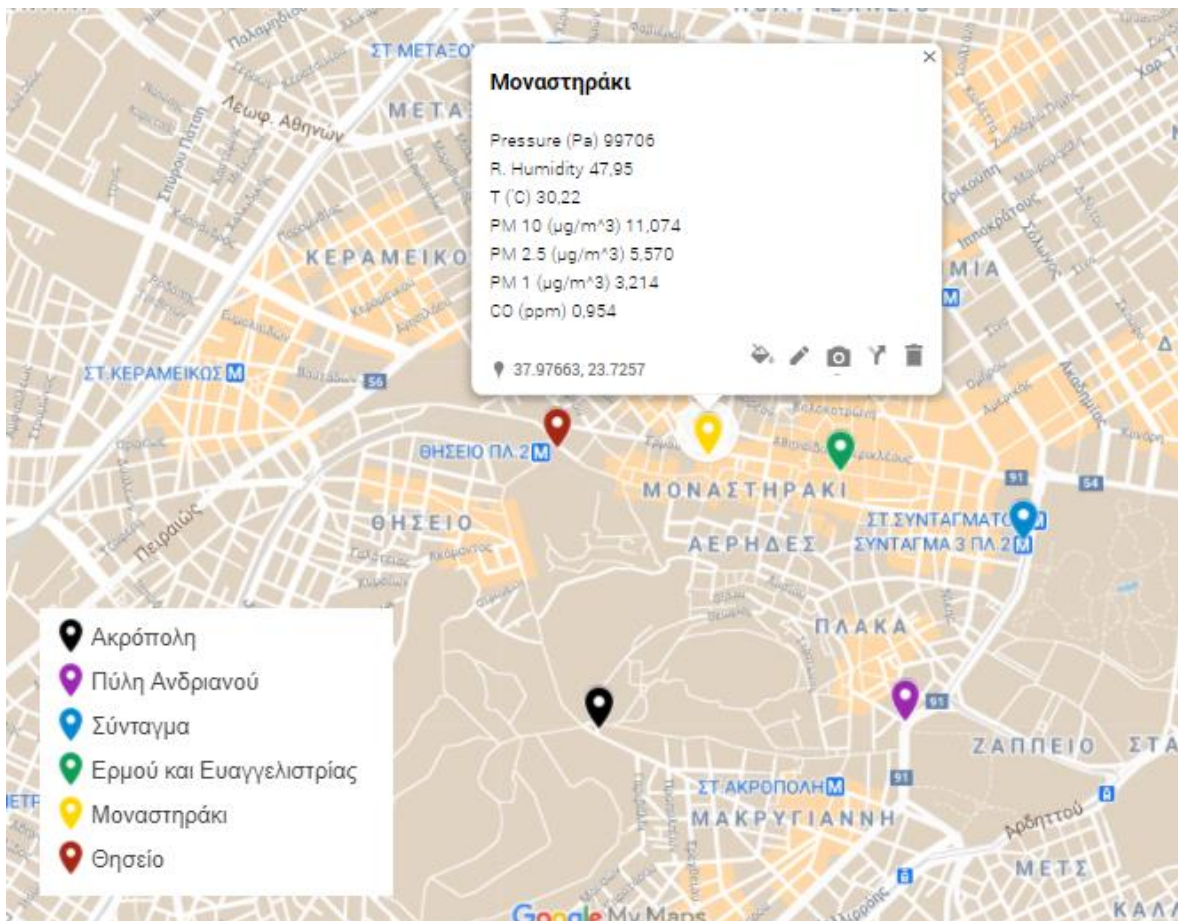
Διάγραμμα 5.34: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 2.5 στο Μοναστηράκι.



Διάγραμμα 5.35: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των PM 1 στο Μοναστηράκι.



Διάγραμμα 5.36: Μέσες ημερήσιες τιμές πρωί-μεσημέρι-βράδυ των CO στο Μοναστηράκι.



Χάρτης 5.6: Απεικόνιση μέσης τιμής πρωινής διαδρομής τυπικής ημέρας 2/7/2020 στο Μοναστηράκι.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την απεικόνιση και αποτύπωση των μέσων τιμών κάθε ημέρας στο Μοναστηράκι είναι τα εξής; Αρχικά παρατηρώντας το διάγραμμα 5.33 και τον χάρτη 5.6, βλέπουμε μεγάλη συγκέντρωση των PM10 σε αυτό το σημείο το πρωί και μεγαλύτερη το βράδυ της 18/12/2019. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη φαναριού δίπλα στο σημείο των μετρήσεων, που σημαίνει στάση τουριστικών, τοπικών λεωφορείων, και ΙΧ στο σημείο αναφοράς, αυξάνοντας κατακόρυφα της συγκεντρώσεις. Διότι όταν σταματάνε στο φανάρι τα οχήματα οι κινητήρες τους δουλεύουν. Επίσης υψηλή συγκέντρωση παρατηρείτε το πρωί στις 29/6/2020, λόγο του φαναριού που βρίσκεται δίπλα από το σημείο των μετρήσεων, αλλά ακόμα λόγο του ότι την ώρα των μετρήσεων πέρασε και σταμάτησε απορριμματοφόρο του δήμου κοντά μας.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.34 και 5.35 και τον χάρτη 5.6, βλέπουμε μεγάλη συγκέντρωση των PM 2.5 και των PM1 σε αυτό το σημείο όλη την μέρα τις 18/12/2019 και ειδικότερα το βράδυ. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξης φαναριού δίπλα στο σημείο των μετρήσεων, σε συνδυασμό με την αυξημένη ύπαρξη τουριστών εκείνη την ημέρα με αποτέλεσμα να σταματούν αρκετά τουριστικά, τοπικά λεωφορεία, και ΙΧ στην περιοχή, αυξάνοντας κατακόρυφα της συγκεντρώσεις. Διότι όταν σταματάνε στο φανάρι τα οχήματα, οι κινητήρες τους δουλεύουν. Επίσης υψηλή συγκέντρωση παρατηρείτε το μεσημέρι στις 29/6/2020, λόγο του φαναριού που βρίσκεται δίπλα από το σημείο των μετρήσεων, εξ αιτίας της στάσης των οχημάτων με εν λειτουργία κινητήρα.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.36 και τον χάρτη 5.6, βλέπουμε πως οι τιμές συγκέντρωσης του CO για πρωί και βράδυ της 18/12/2019 είναι μηδενικές, αυτό οφείλεται σε σφάλμα των οργάνων. Επίσης όπως φαίνεται στις 27/6/2020 η συγκέντρωση των CO είναι πολύ υψηλή το μεσημέρι στο Μοναστηράκι. Αυτό συμβαίνει λόγο της αυξημένης κίνησης αυτής της ώρας και του φαναριού δίπλα στο σημείο που γίνονταν οι μετρήσεις με αποτέλεσμα συσσώρευση κίνησης.

5.4 Μέση ημερήσια αποτύπωση και χαρτογράφηση του κέντρου της Αθήνας

Σε αυτό το στάδιο της μελέτης, θα γίνει απεικόνιση με διαγράμματα και χάρτες της ρύπανσης, ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο κατανοητή η ρύπανση του κάθε σημείου αλλά και από τους παράγοντες που επηρεάζεται.

5.4.1 Επεξεργασία μετρήσεων

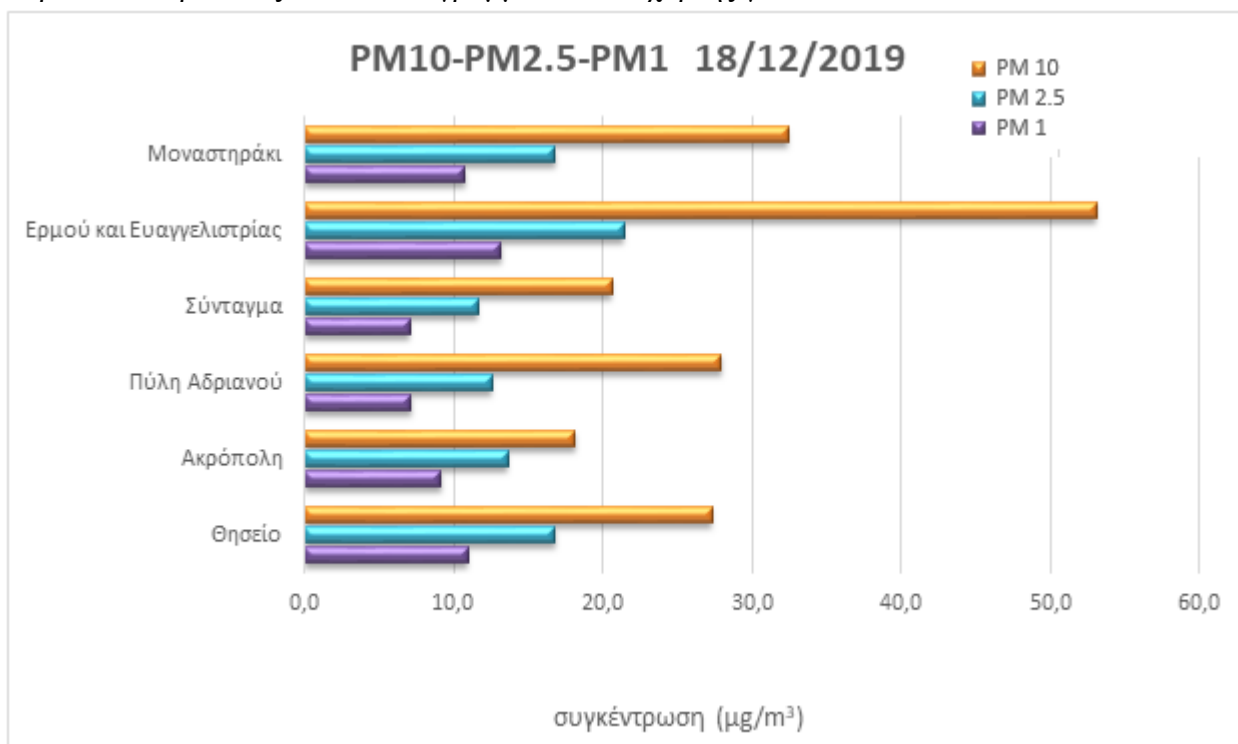
Για την δημιουργία των επομένων διαγραμμάτων χρειάστηκε να υπολογιστούν οι μέσοι όροι ρύπανσης, της κάθε ημέρας, για πρωί, μεσημέρι και βράδυ συνολικά στο κάθε σημείο, όπως επίσης και για τον κάθε ρύπο. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση συγκέντρωσης ολόκληρης της μέρας για τον κάθε ρύπο, ώστε να διαπιστωθεί αν μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο στο κάθε σημείο.

Για την δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα google my maps, στο οποίο σχεδιαστική η διαδρομή που ακολουθήσαμε και τα σημεία που έγιναν στάσεις και μετρήσεις. Επίσης το πρόγραμμα αυτό έχει την δυνατότητα να εισαγωγής δεδομένων από φύλλο excel το οποίο στην περίπτωση αυτή δεν μας εξυπηρετεί. Διότι θέλαμε σε αυτό το σημείο, να εισαχθούν ολόκληροι οι επεξεργασμένοι πίνακες χωρίς αλλοιώσεις, όπως και έγινε στην συνέχεια χειροκίνητα.

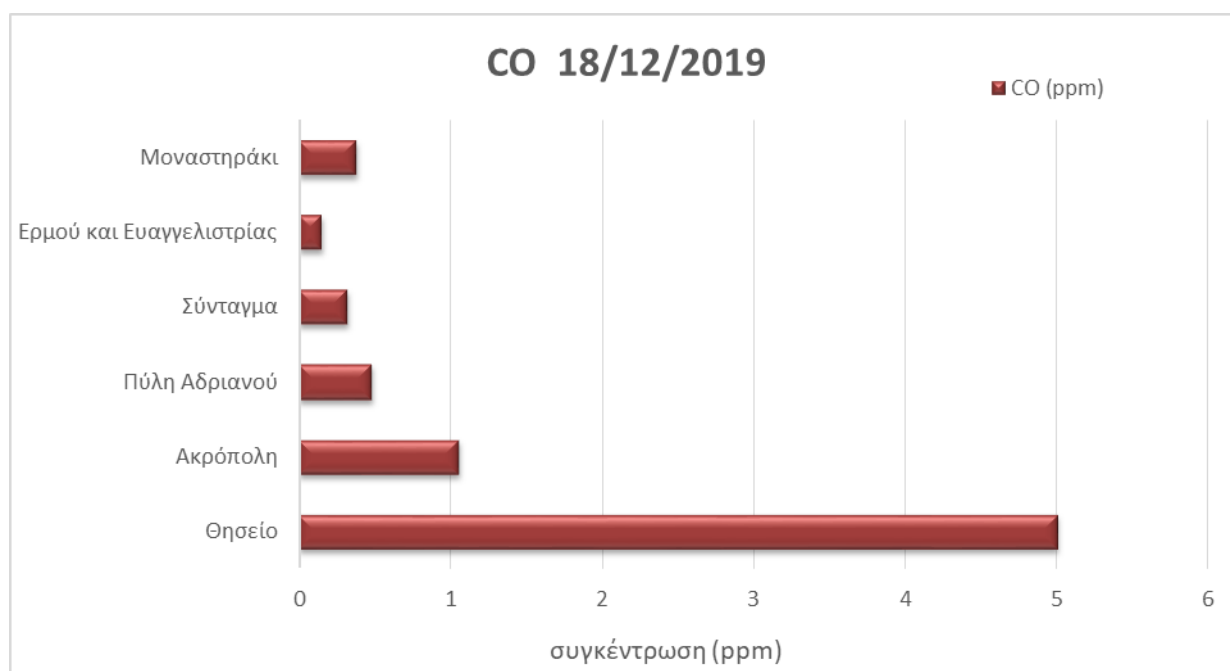
5.4.2 Αποτύπωση και χαρτογράφηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν διαγράμματα, τα οποία θα αποτυπώνουν της μέσες ημερήσιες τιμές του κάθε ρύπου στο κάθε σημείο μέτρησης. Αυτό θα γίνει για όλες της ημέρες μετρήσεων που έγιναν. Επίσης θα παρουσιαστούν χάρτες, στους οποίους θα φαίνεται η διαδρομή που ακολουθήθηκε, όπως επίσης και οι πίνακες των μέσων αυτών τιμών. Επιπλέον θα γίνει σχολιασμός των αποτελεσμάτων κατά βάση για τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, αλλά και για τον τρόπο που κυμαίνεται ο κάθε ρύπος σε σύγκριση με τους υπολοίπους.

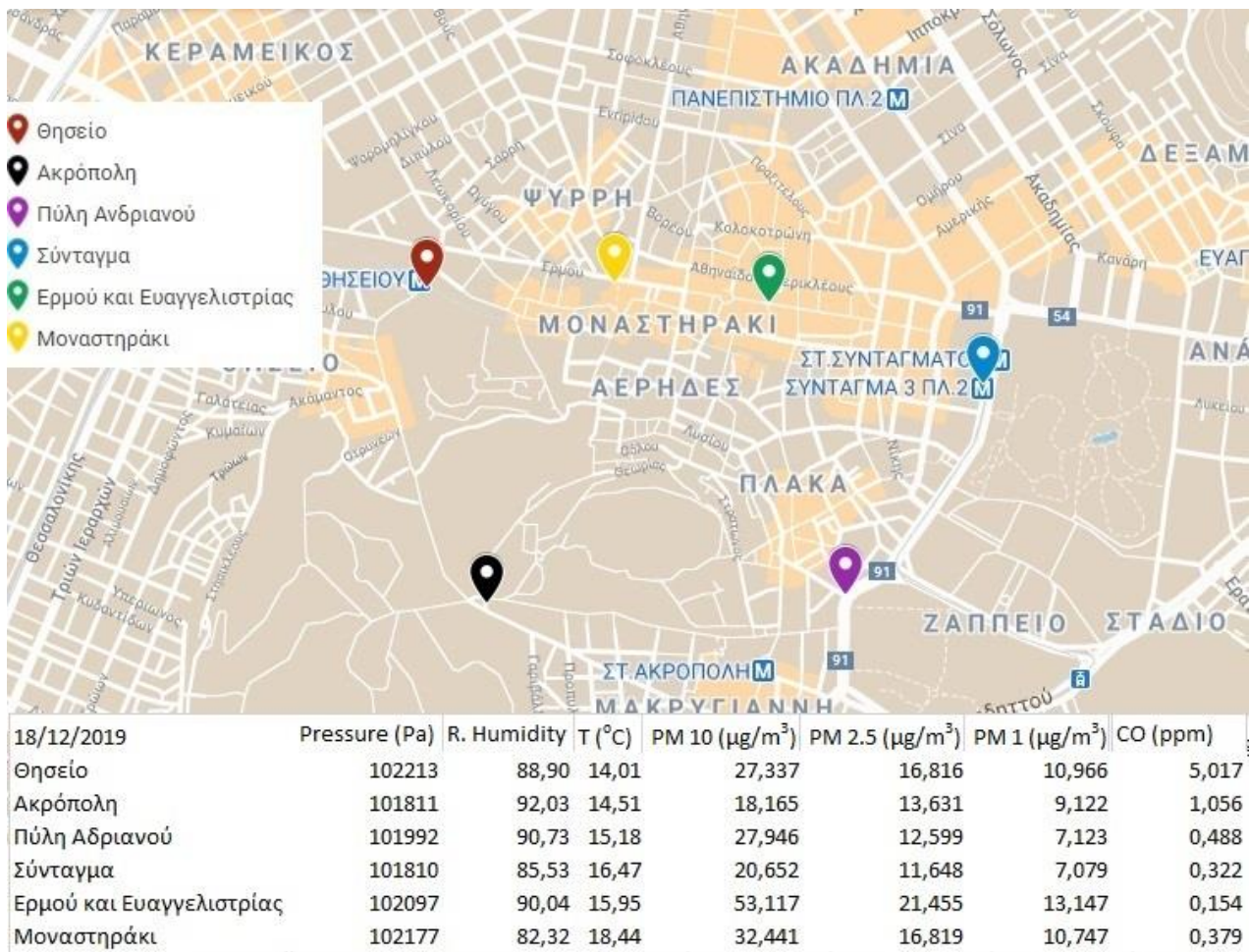
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 19/12/2019:



Διάγραμμα 5.37: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 18/12/2019.



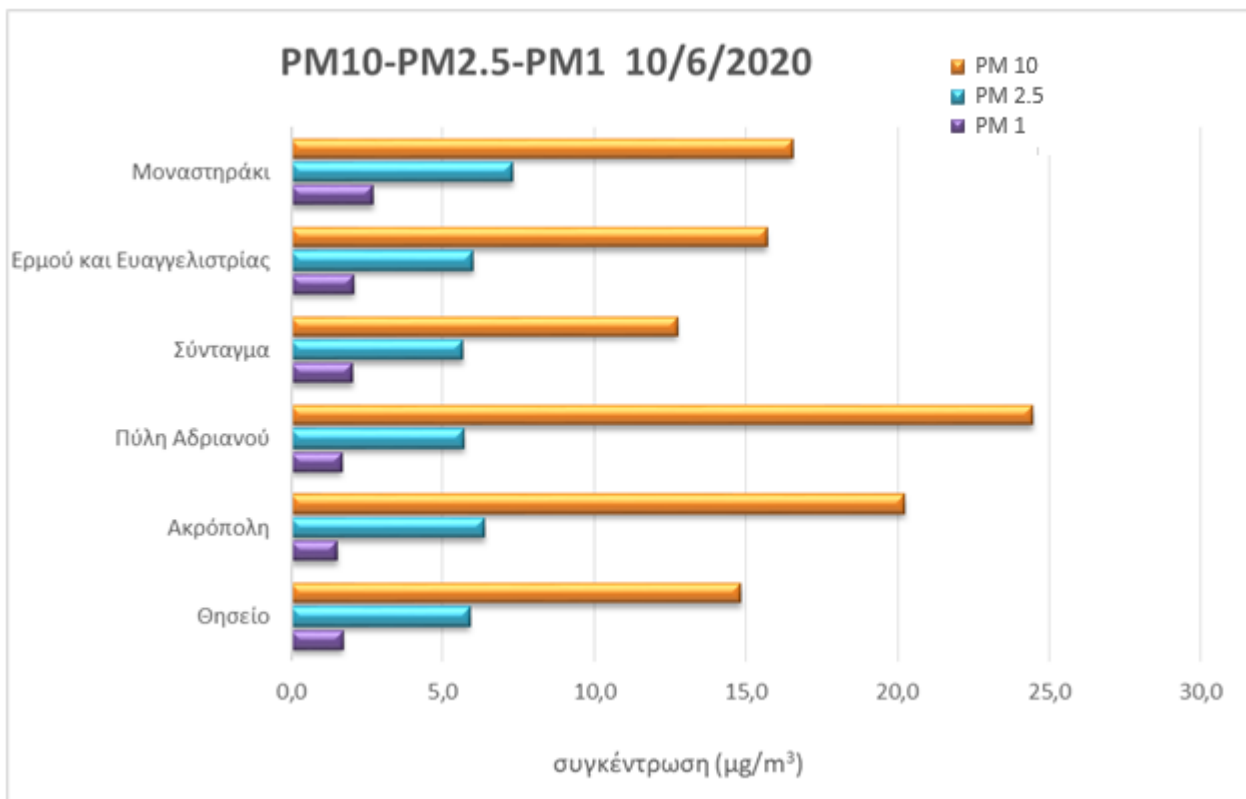
Διάγραμμα 5.38: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 18/12/2019.



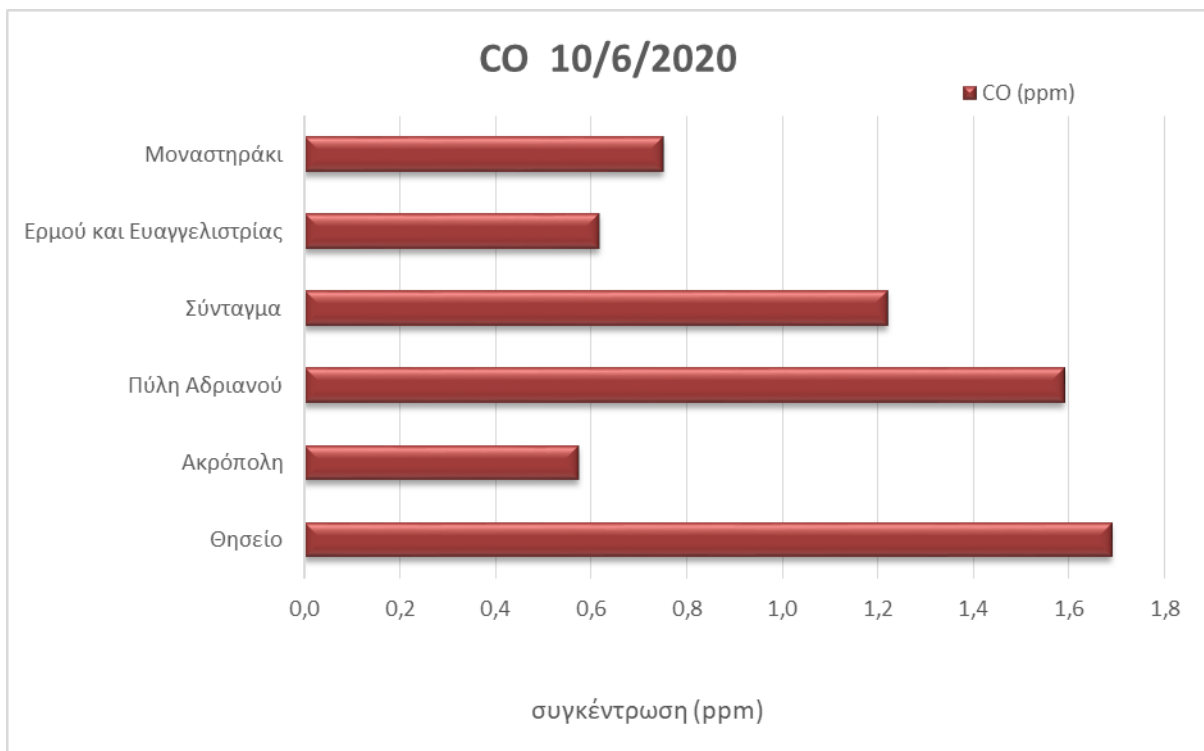
Χάρτης 5.7: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 18/12/2019.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.37 και από τον χάρτη 5.7 στις 18/12/2019, η μέγιστη συγκέντρωση και των τριών σωματιδιακών ρύπων PM10, PM2.5 και PM1 είναι στο σημείο της Ερμού και Ευαγγελιστρίας. Η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης ενώ του PM10 βρίσκεται στην Ακρόπολη, ενώ των PM2.5 και PM1 βρίσκεται στο σημείο του Συντάγματος. Επίσης από το διάγραμμα 5.38 και τον χάρτη 5.7 στις 18/12/2019, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στο σημείο αναφοράς του θησείου. Παρατηρείται, πως υπάρχουν αρκετές διαφορές στις μεταβολές της συγκέντρωσης ανάλογα τον κάθε ρύπο.

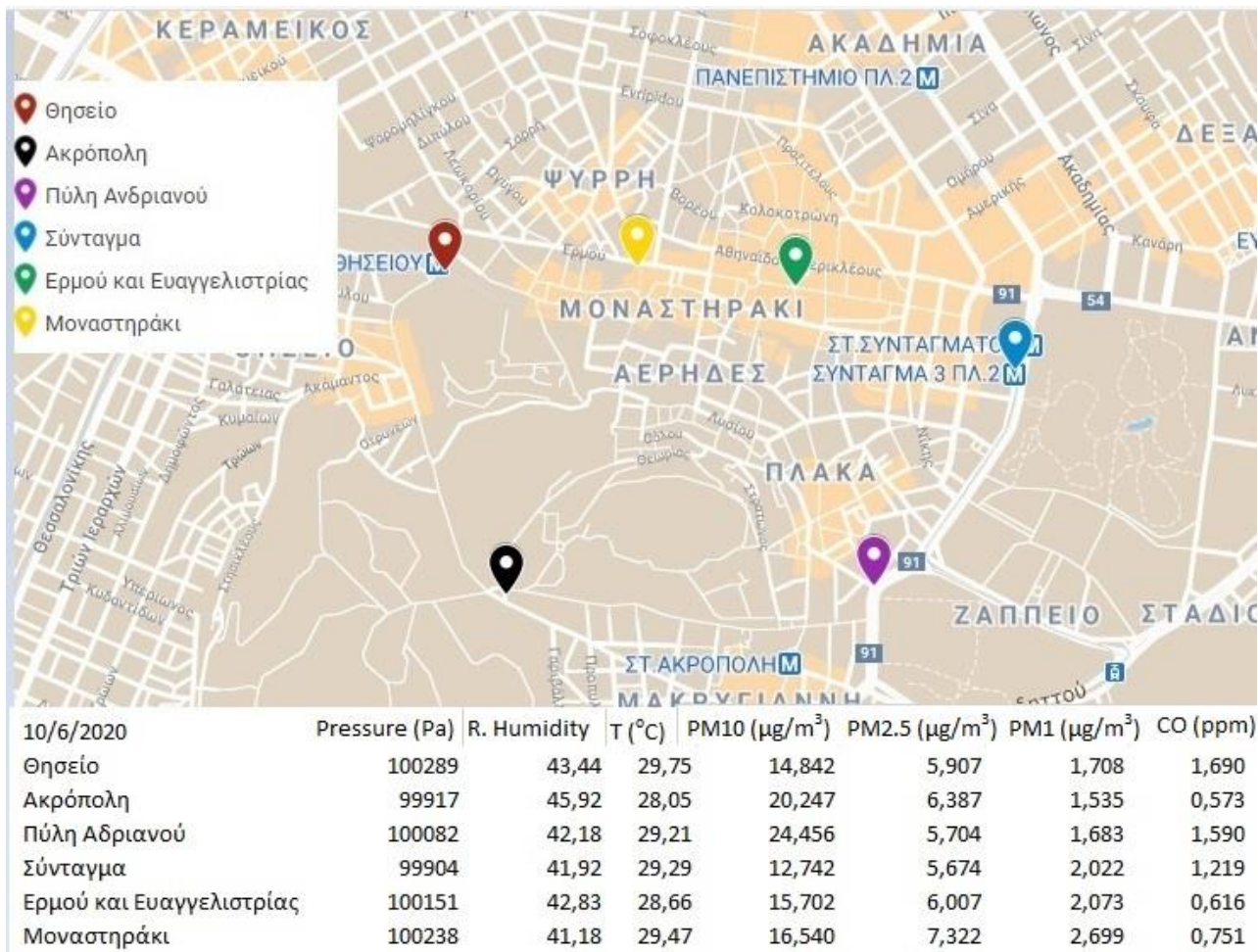
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 10/6/2020:



Διάγραμμα 5.39: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 10/6/2020.



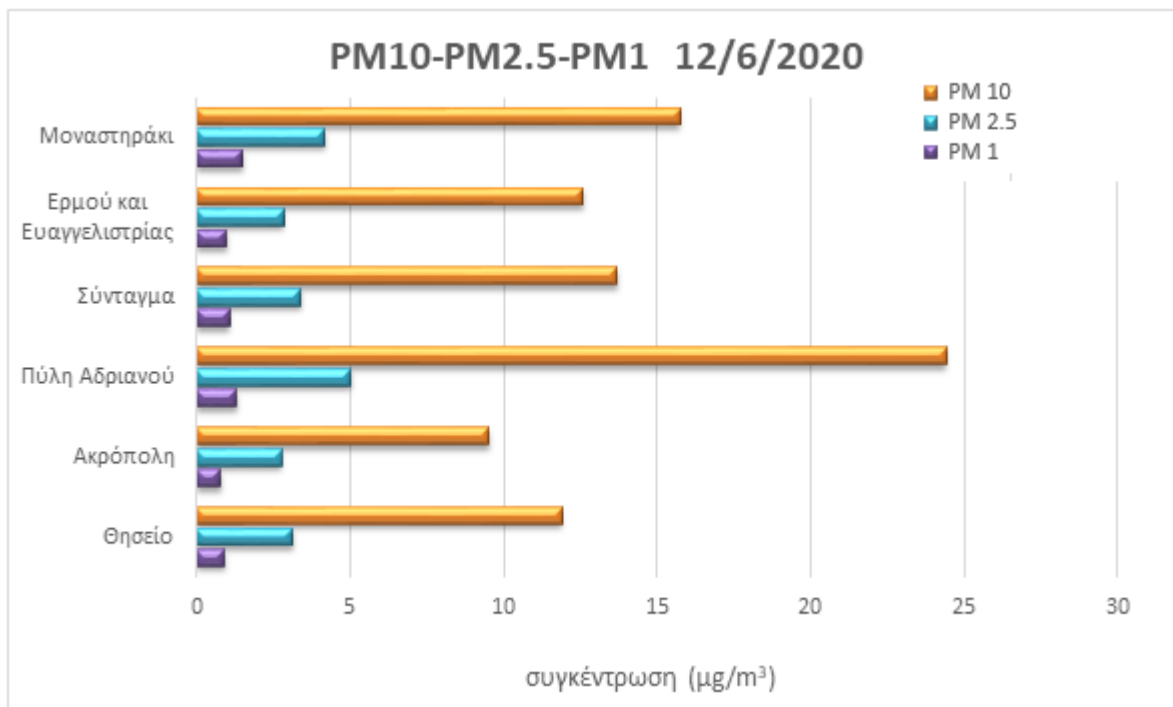
Διάγραμμα 5.40: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 10/6/2020.



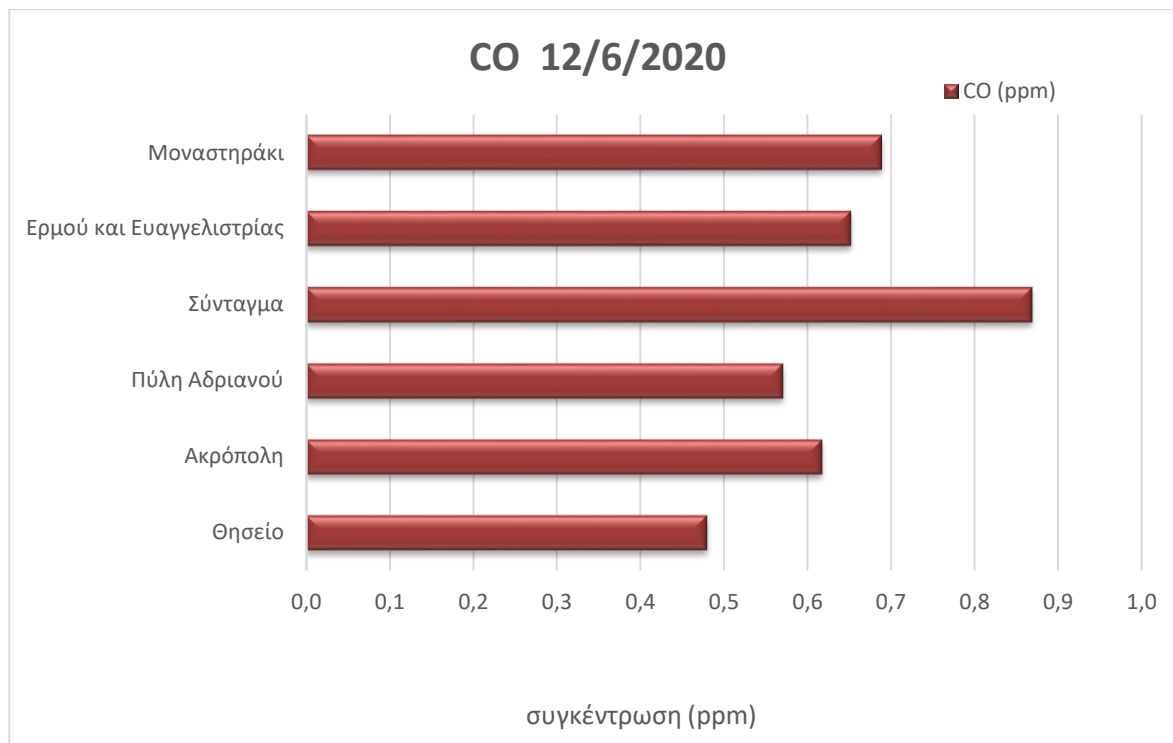
Χάρτης 5.8: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 10/6/2020.

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα 5.39 και από τον χάρτη 5.8 στις 10/6/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 φαίνεται στην Πύλη του Αδριανού και των PM2.5 και PM1 βρίσκεται στο Μοναστηράκι. Όμως ελάχιστη συγκέντρωση ο σωματιδιακός ρύπος PM10 παρουσιάζει στο Σύνταγμα αυτή την ημέρα όπως και τα PM2.5, σε αντίθεση με τα PM1 που έχουν ελάχιστη συγκέντρωση στο σημείο της Ακρόπολης. Στη συνέχεια από το διάγραμμα 5.40 και τον χάρτη 5.8 στις 10/6/2020 η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO φαίνεται να βρίσκεται στην περιοχή του Θησείου. Τέλος ελάχιστες συγκεντρώσεις CO παρατηρούμε στην Ακρόπολη όπως είχαμε παρατηρήσει και ελάχιστες συγκεντρώσεις PM1 την ίδια ημέρα.

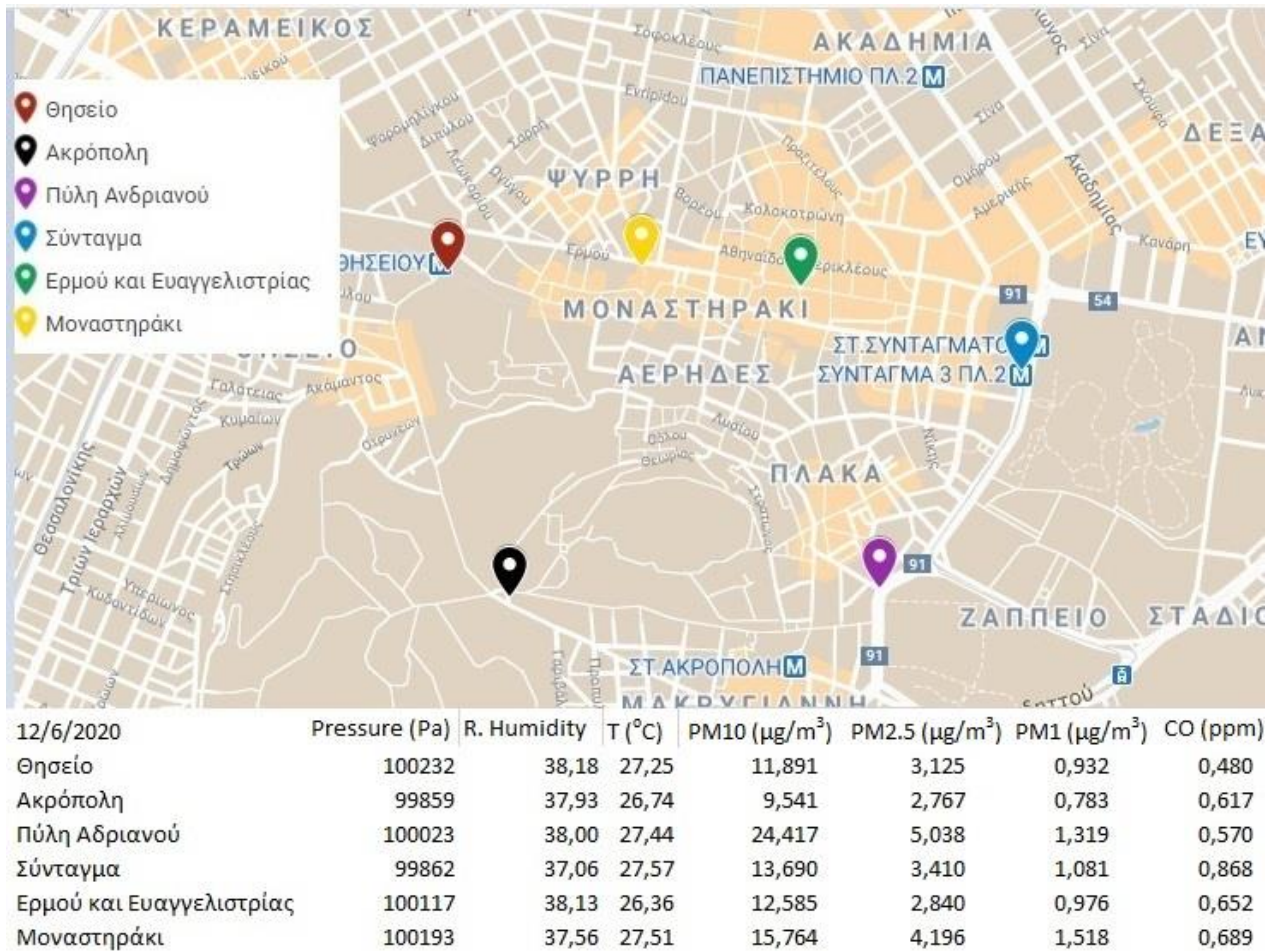
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 12/6/2020:



Διάγραμμα 5.41: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 12/6/2020.



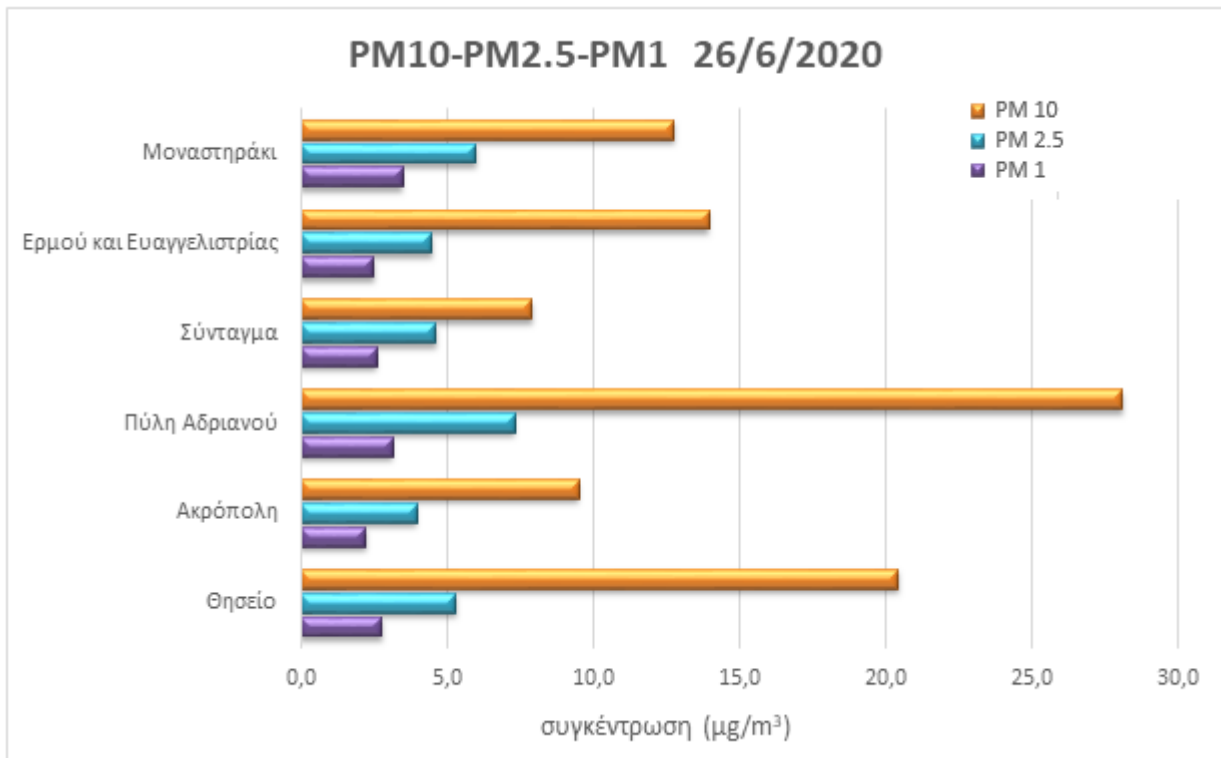
Διάγραμμα 5.42: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 12/6/2020.



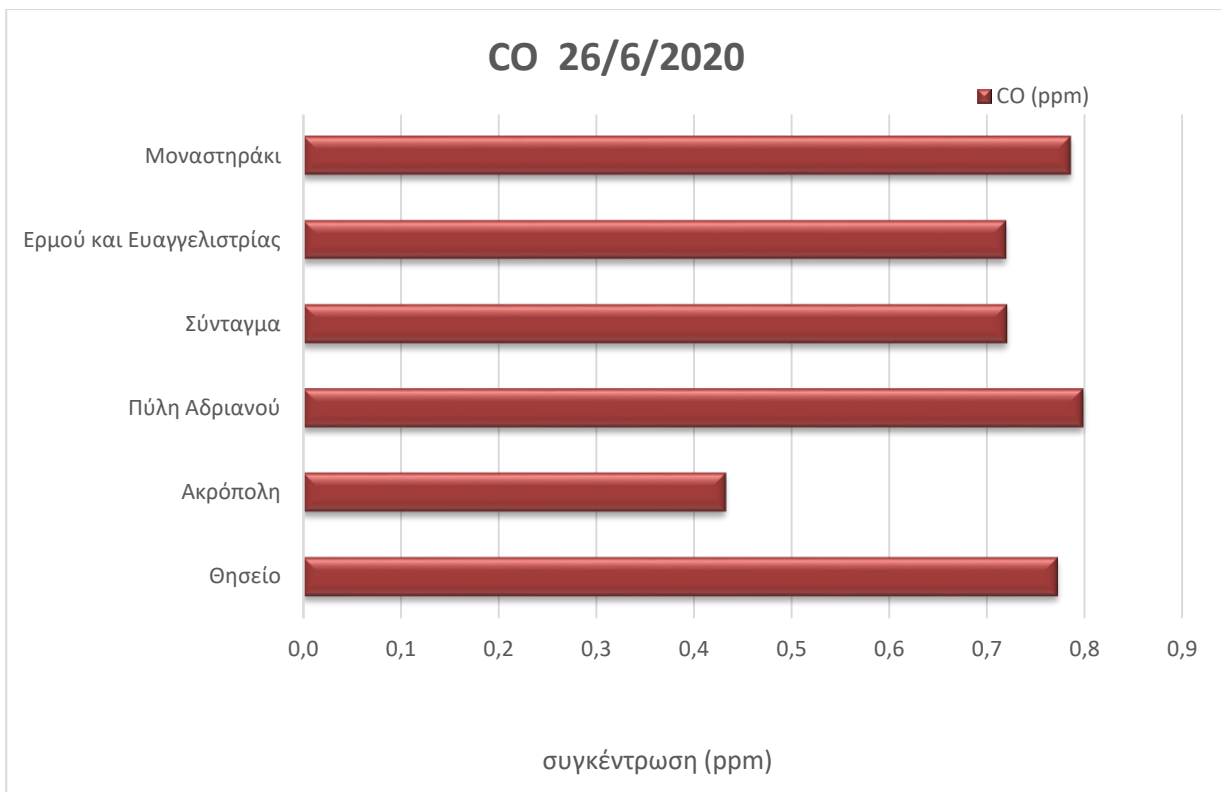
Χάρτης 5.9: Αποτύπωση μέσω των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 12/6/2020.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.41 και από τον χάρτη 5.9 των μέσων ημερήσιων τιμών της 12/6/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 και PM2.5 εντοπίζεται στο σημείο της Πύλης του Αδριανού και των PM1 είναι στο Μοναστηράκι. Αλλά οι ελάχιστες συγκεντρώσεις και των τριών σωματιδιακών ρύπων PM10, PM2.5 και PM1 βρίσκονται στο σημείο της Ακρόπολης. Στη συνέχεια από το διάγραμμα 5.42 και τον χάρτη 5.9 στις 12/6/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO φαίνεται στο Σύνταγμα. Επίσης η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης του CO εντοπίζεται στο σημείο του Θησείου. Όπως είναι φανερό για την συγκεκριμένη ημέρα οι σωματιδιακοί ρύποι μεταβάλλονται αρκετά παρόμοια σε αντίθεση με το CO.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 26/6/2020:



Διάγραμμα 5.43: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 26/6/2020.



Διάγραμμα 5.44: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 26/6/2020.

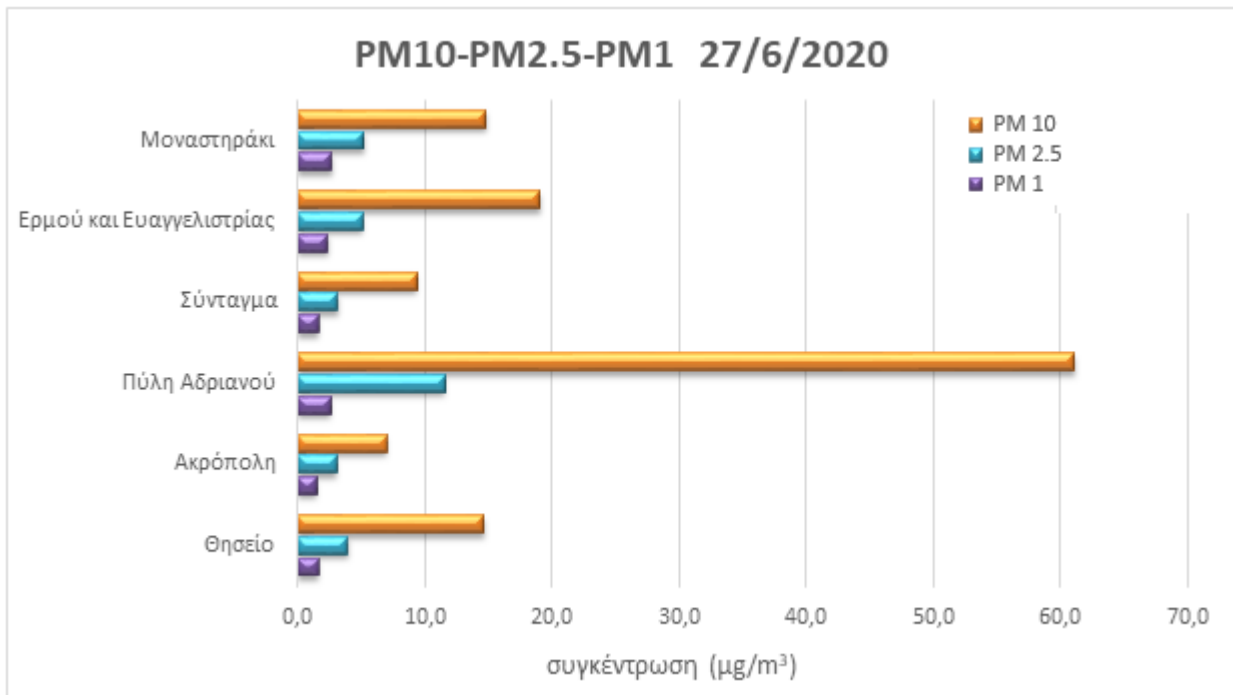


26/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM 10 (μg/m ³)	PM 2.5 (μg/m ³)	PM 1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100951	46,26	30,09	20,416	5,287	2,768	0,772
Ακρόπολη	100574	46,71	29,87	9,495	3,967	2,204	0,432
Πύλη Αδριανού	100745	46,04	30,53	28,085	7,309	3,148	0,798
Σύνταγμα	100567	46,15	30,18	7,888	4,619	2,602	0,720
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100823	46,56	29,72	13,950	4,463	2,491	0,719
Μοναστηράκι	100913	45,85	30,32	12,759	5,996	3,463	0,786

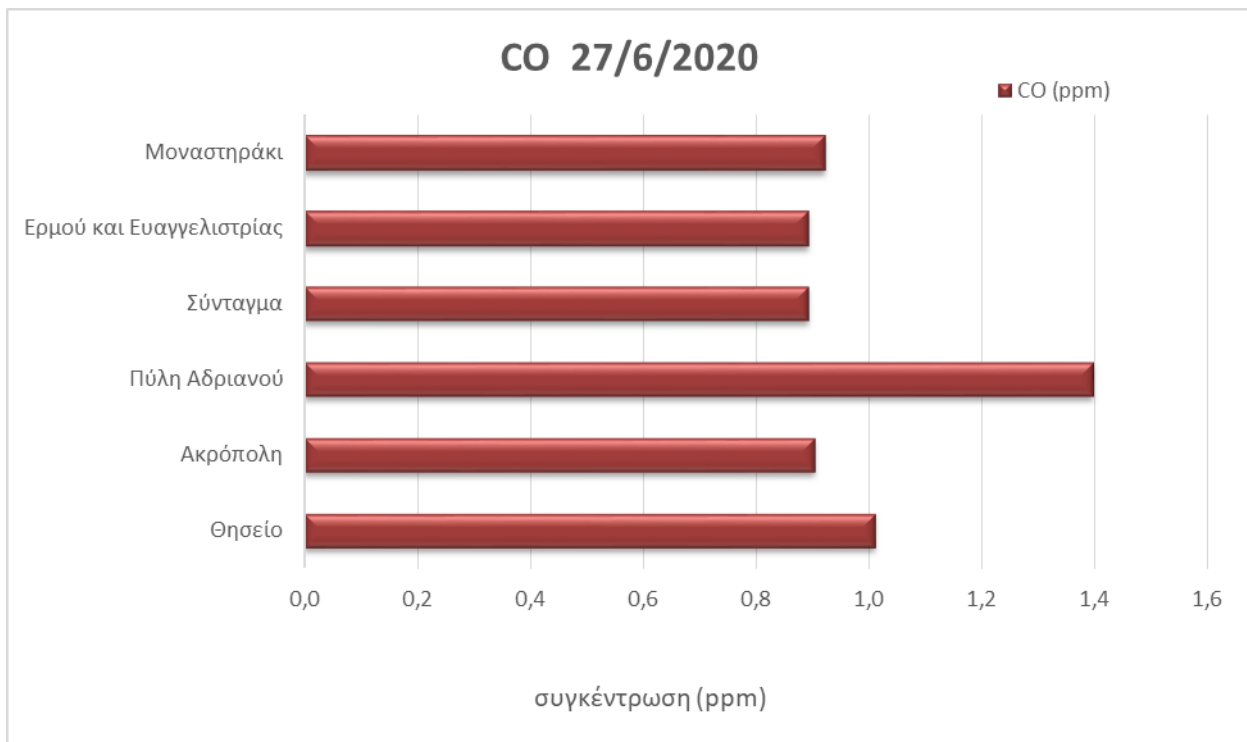
Χάρτης 5.10: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 26/6/2020.

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα 5.43 και από τον χάρτη 5.10 στις 26/6/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 και PM2.5 φαίνεται στην Πύλη του Αδριανού και των PM1 είναι στο Μοναστηράκι. Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις που παρατηρούνται για τα PM10 είναι στο Σύνταγμα ενώ για τα PM2.5 και PM1 φαίνονται στο σημείο της Ακρόπολης. Επίσης βλέποντας το διάγραμμα 5.44 και τον χάρτη 5.10 στις 26/6/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στο σημείο της Πύλης του Αδριανού, ενώ το ελάχιστο φαίνεται στην Ακρόπολη. Καταλήγοντας για την συγκεκριμένη ημέρα φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση στη μεταβολή των ρύπων ανά σημείο και πιο συγκεκριμένα των PM2.5 και CO.

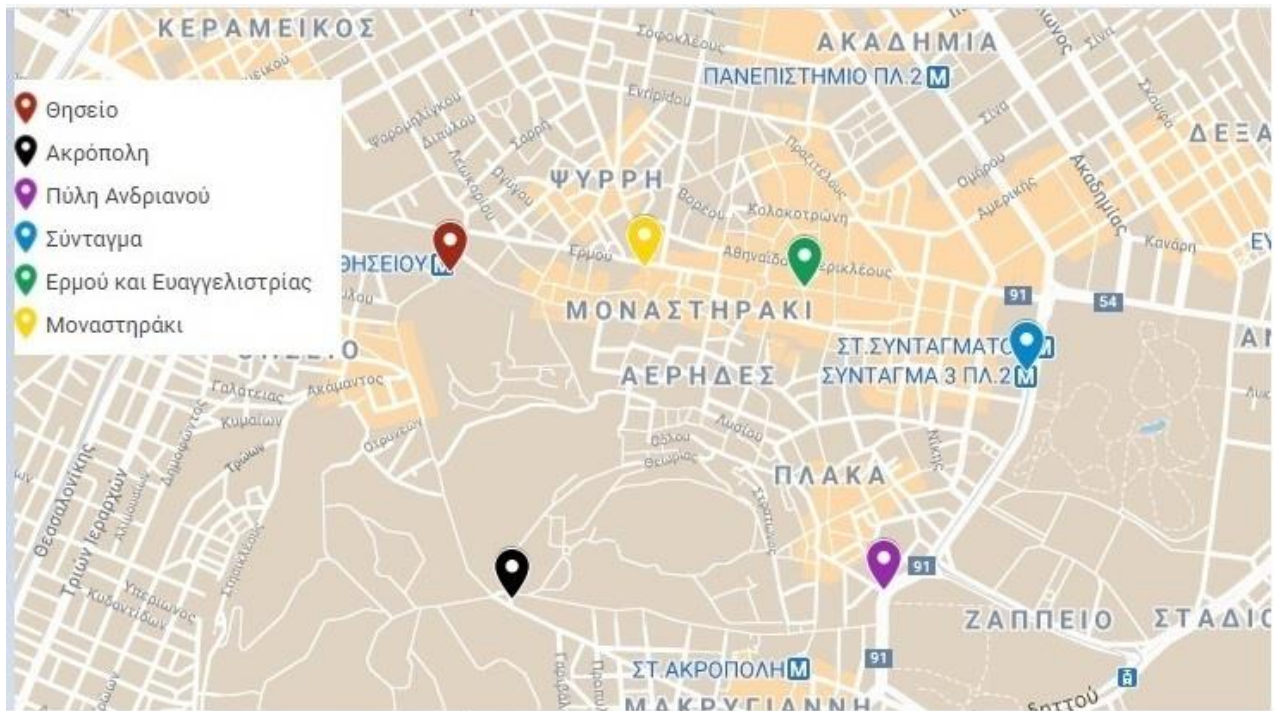
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 27/6/2020:



Διάγραμμα 5.45: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 27/6/2020.



Διάγραμμα 5.46: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 27/6/2020

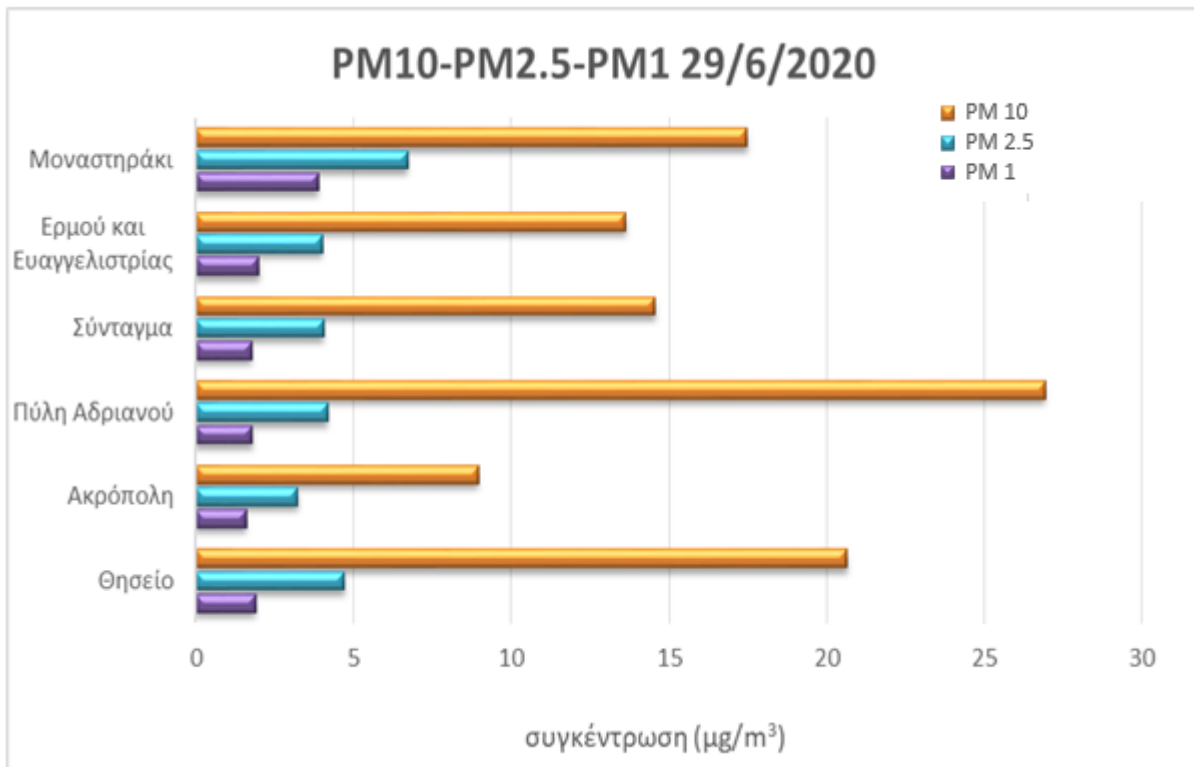


27/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100659	36,06	30,98	14,643	3,920	1,664	1,012
Ακρόπολη	100285	35,19	31,20	6,982	3,064	1,536	0,904
Πύλη Αδριανού	100427	33,28	32,28	61,058	11,590	2,581	1,398
Σύνταγμα	100266	31,68	32,45	9,407	3,171	1,650	0,893
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	100513	33,17	31,29	19,018	5,102	2,395	0,893
Μοναστηράκι	100596	33,58	31,89	14,799	5,187	2,721	0,922

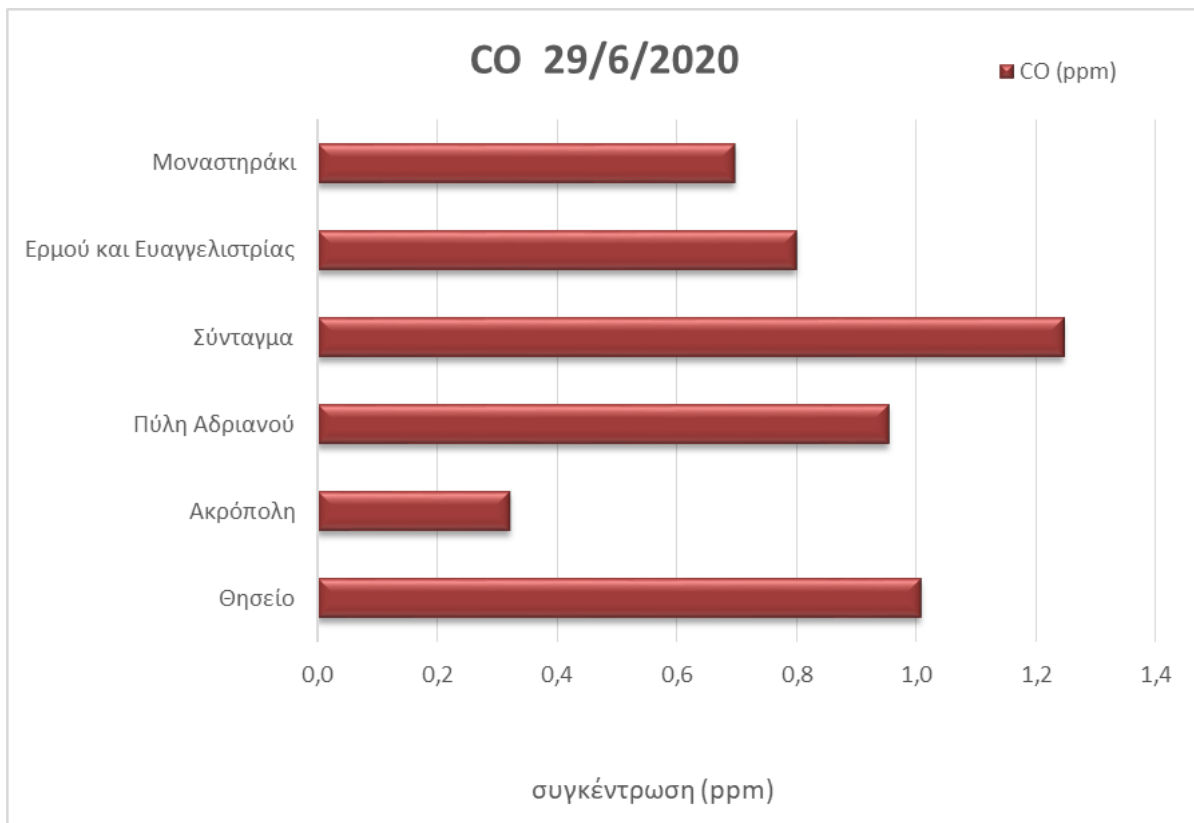
Χάρτης 5.11: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 27/6/2020.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.45 και από τον χάρτη 5.11 στις 27/6/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των σωματιδιακών ρύπων PM10 και PM2.5 φαίνεται στην Πύλη του Αδριανού ενώ του PM1 είναι στο Μοναστηράκι, καθώς και οι ελάχιστες συγκεντρώσεις και των τριών σωματιδιακών ρύπων φαίνεται να βρίσκονται στο σημείο της Ακρόπολης. Στη συνέχεια από το διάγραμμα 5.46 και τον χάρτη 5.11 στις 27/6/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στην Πύλη του Αδριανού. Ενώ η ελάχιστη τιμή του CO φαίνεται να βρίσκεται στο Σύνταγμα. Εδώ παρατηρούμε θετική συσχέτιση μεταξύ των ρύπων στις μέγιστες συγκεντρώσεις τους την ημέρα αυτή.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 29/6/2020:



Διάγραμμα 5.47: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 29/6/2020.



Διάγραμμα 5.48: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 29/6/2020

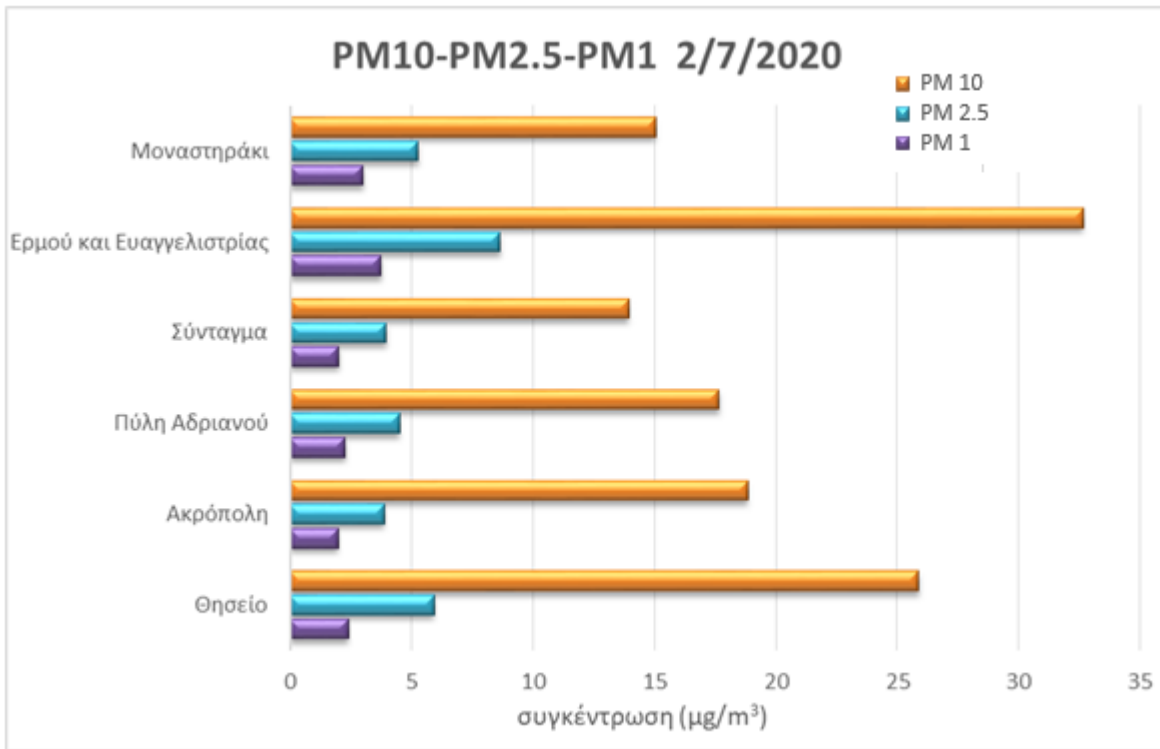


29/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100335	39,97	30,37	20,645	4,720	1,911	1,007
Ακρόπολη	99968	42,03	30,05	8,965	3,239	1,613	0,320
Πύλη Αδριανού	100105	32,15	31,08	26,936	4,194	1,793	0,954
Σύνταγμα	99946	36,43	31,33	14,567	4,057	1,782	1,246
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	100199	37,47	30,11	13,642	4,010	2,010	0,800
Μοναστηράκι	100296	38,08	30,32	17,490	6,718	3,884	0,697

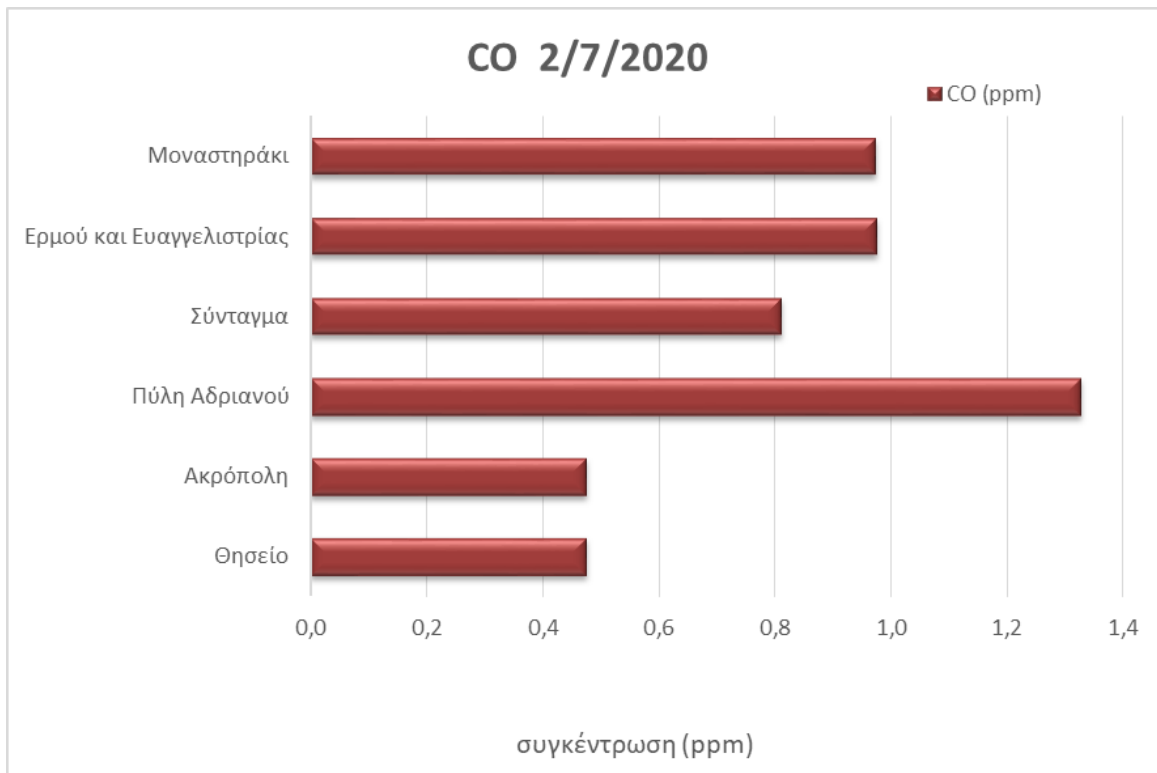
Χάρτης 5.12: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 29/6/2020.

Μετά την παρατήρηση του διαγράμματος 5.47 και του χάρτη 5.12 για την ημέρα μετρήσεων 29/6/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 εμφανίζεται στο σημείο της Πύλης του Αδριανού ενώ των PM2.5 και PM1 εμφανίζονται στο Μοναστηράκι. Σε αντίθεση με τις ελάχιστες τιμές συγκέντρωσης, όπου για όλους τους σωματιδιακούς ρύπους PM10, PM2.5 και PM1 φαίνονται στην Ακρόπολη. Επιπλέον από το διάγραμμα 5.48 και τον χάρτη 5.12 στις 29/6/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στο Σύνταγμα. Ενώ η ελάχιστη ημερήσια μέση τιμή που καταγράφεται για τον ίδιο ρύπο είναι στην Ακρόπολη. Βάση των παραπάνω δεδομένων βλέπουμε πως στις 29/6/2020 υπάρχει θετική συσχέτιση των ρύπων κατά την ελάχιστη τιμή τους στο σημείο της Ακρόπολης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 2/7/2020:



Διάγραμμα 5.49: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 2/7/2020.



Διάγραμμα 5.50: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 2/7/2020.

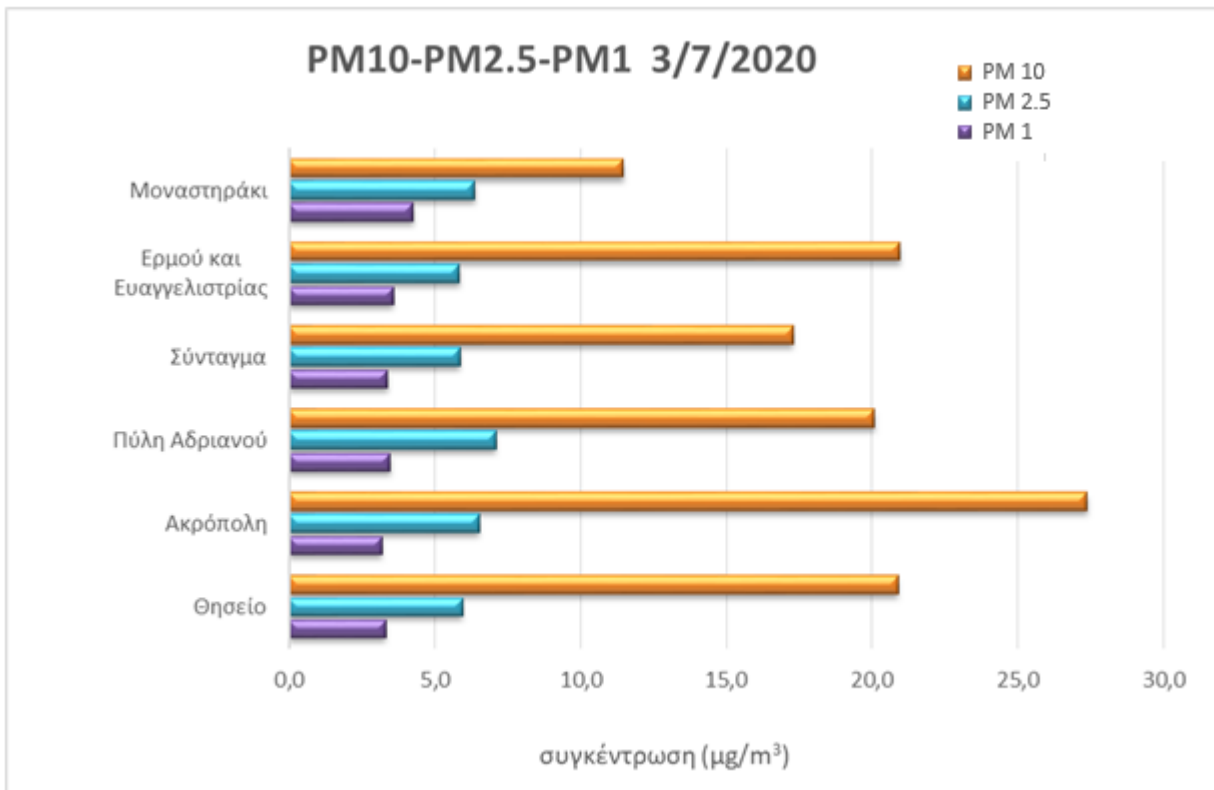


2/7/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100015	41,17	32,17	25,888	5,926	2,411	0,476
Ακρόπολη	99683	39,54	32,60	18,837	3,890	1,992	0,477
Πύλη Αδριανού	99816	37,30	33,59	17,660	4,499	2,269	1,329
Σύνταγμα	99659	34,67	34,97	13,954	3,967	2,004	0,811
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	99890	37,60	32,66	32,657	8,637	3,754	0,976
Μοναστηράκι	99979	37,88	33,07	15,041	5,283	3,000	0,974

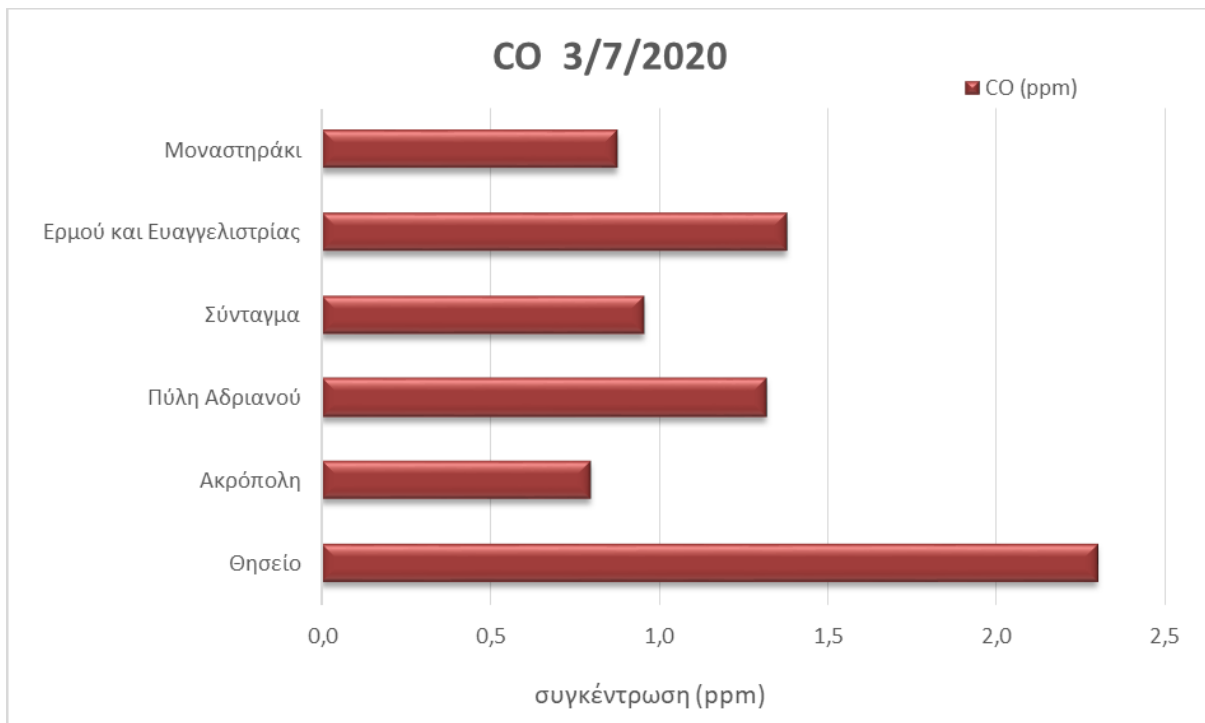
Χάρτης 5.13: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 2/7/2020.

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα 5.49 και από τον χάρτη 5.13 για τις μέσες ημερήσιες τιμές στις 2/7/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10, PM2.5 και PM1 φαίνεται στην συμβολή των Ερμού και Ευαγγελιστριάς. Αλλά τα ελάχιστα επίπεδα συγκέντρωσης για τους σωματιδιακούς ρύπους δεν συσχετίζονται, αφού η ελάχιστη συγκέντρωση για τα PM10 φαίνεται στο Σύνταγμα, ενώ για το PM2.5 και PM1 η Ακρόπολη έχει τις ελάχιστες συγκεντρώσεις. Επίσης από το διάγραμμα 5.50 και τον χάρτη 5.13 στις 2/7/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στην Πύλη του Αδριανού, ενώ η ελάχιστη συγκέντρωση για CO παρατηρείτε στο Θησείο. Συμπερασματικά βλέπουμε πως συσχετίζονται μόνο οι ρύποι PM2.5 και PM1, όπως και οι μέγιστες συγκεντρώσεις για τους σωματιδιακούς ρύπους.

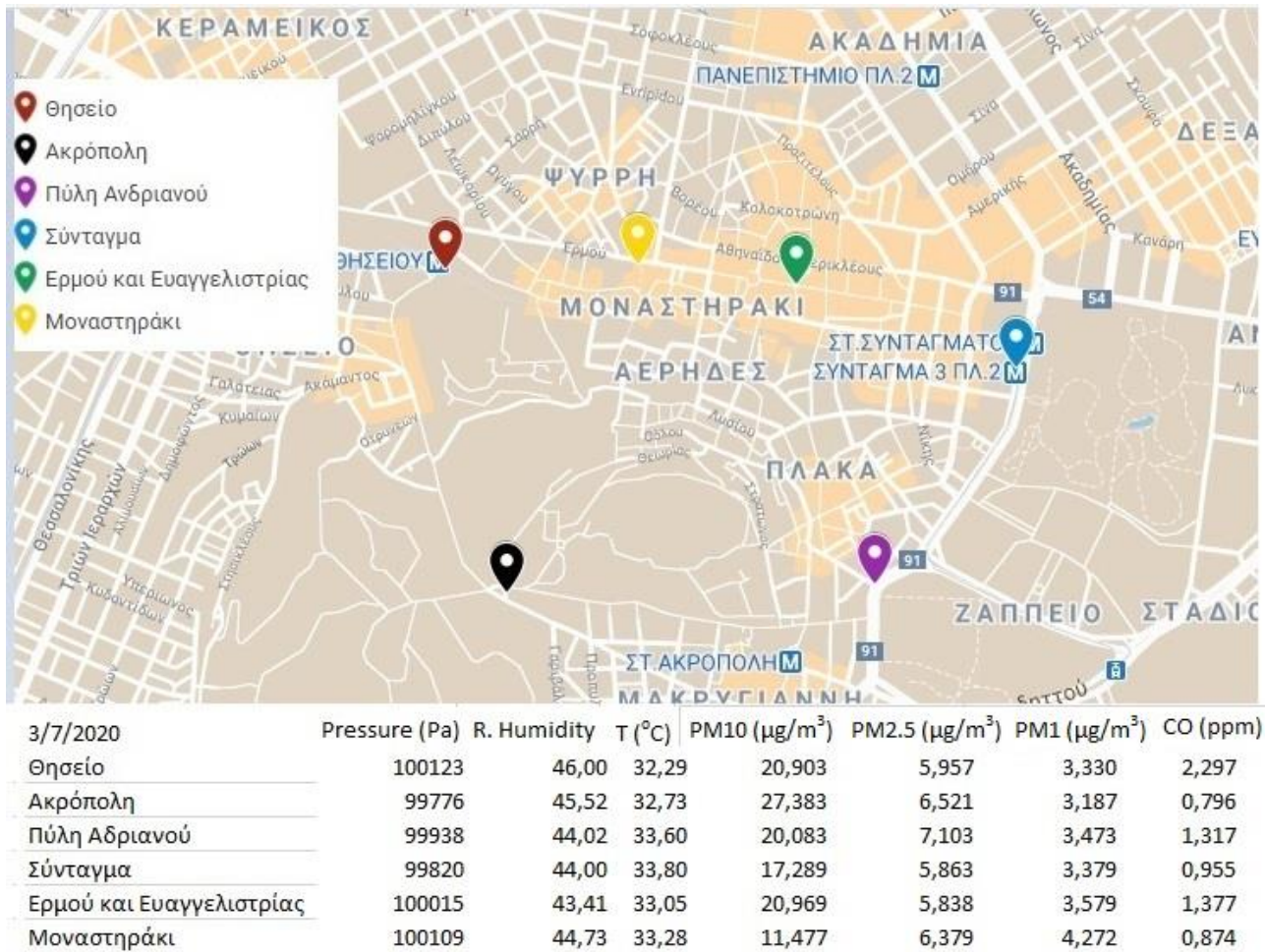
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 3/7/2020:



Διάγραμμα 5.51: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 3/7/2020.



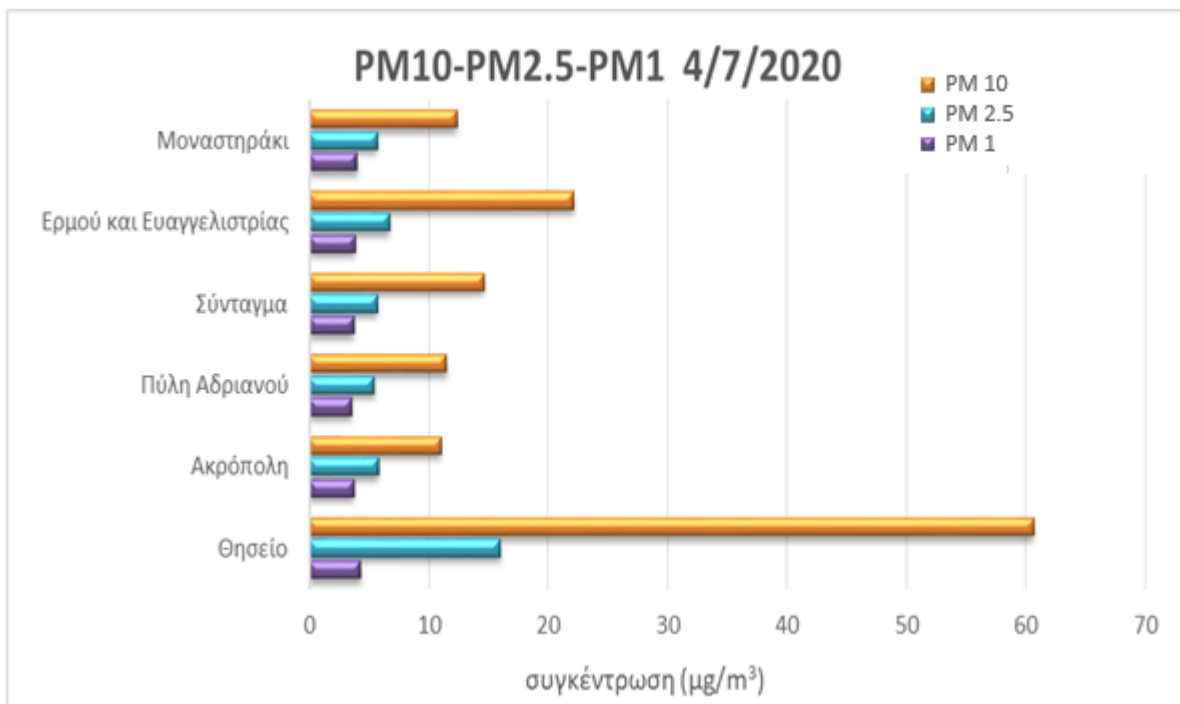
Διάγραμμα 5.52: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 3/7/2020.



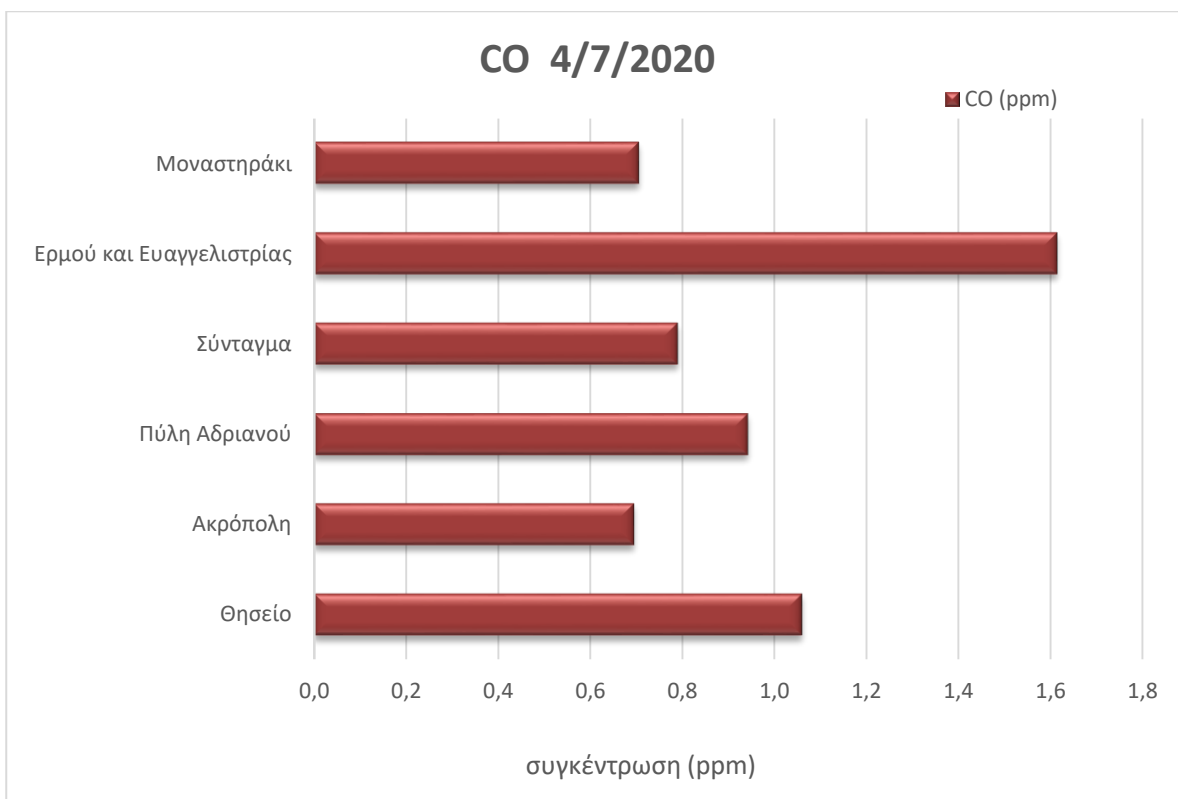
Χάρτης 5.14: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 3/7/2020.

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα 5.51 και από τον χάρτη 5.14 για τις μέσες ημερήσιες τιμές της 3/7/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 φαίνεται στην Ακρόπολη, ενώ των PM2.5 στην Πύλη του Αδριανού, αντίθετα PM1 είναι στο Μοναστηράκι. Στη συνέχεια κοιτάζοντας τις ελάχιστες συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων βλέπουμε πως για τα PM10 εμφανίζονται στο Μοναστηράκι, για τα PM2.5 παρατηρούνται στο σημείο της Ερμού και Ευαγγελιστρίας, ενώ για τα PM1 στην Ακρόπολη. Επίσης από το διάγραμμα 5.52 και τον χάρτη 5.14 στις 3/7/2020, φαίνεται πως η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO είναι στο Θησείο, ενώ η ελάχιστη συγκέντρωση παρατηρείται στο σημείο της Ακρόπολης. Αναλύοντας περαιτέρω τα δεδομένα φαίνεται πως δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση της αυξομείωσης των ρύπων για αυτήν την ημέρα.

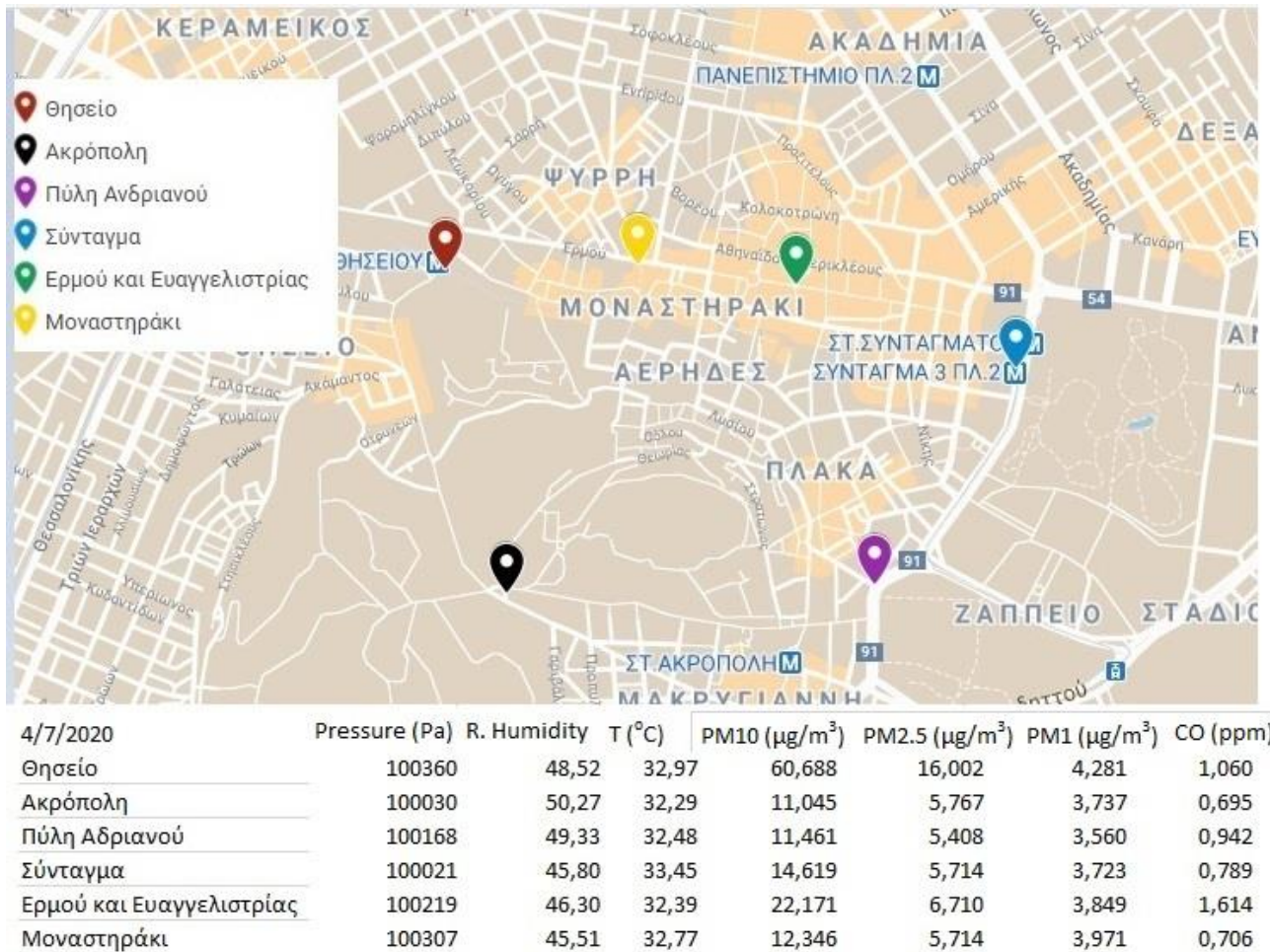
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 4/7/2020:



Διάγραμμα 5.53: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 4/7/2020.



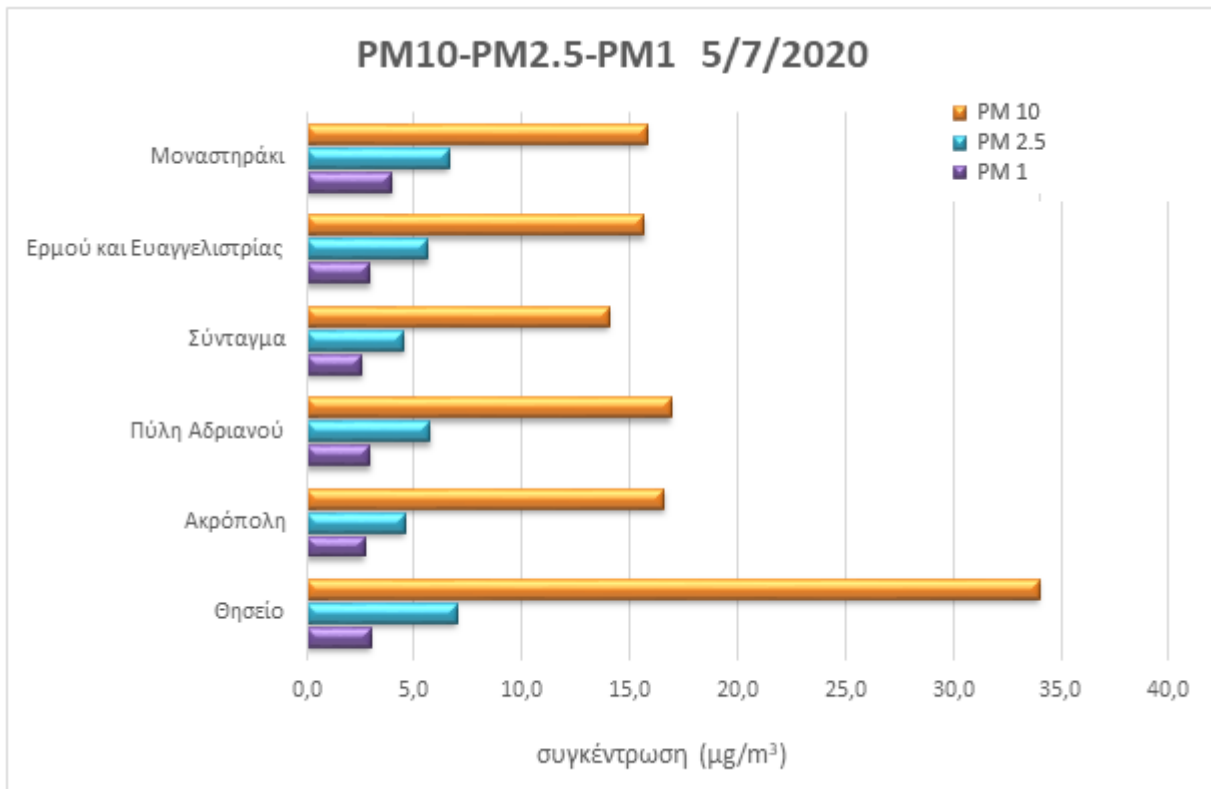
Διάγραμμα 5.54: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 4/7/2020.



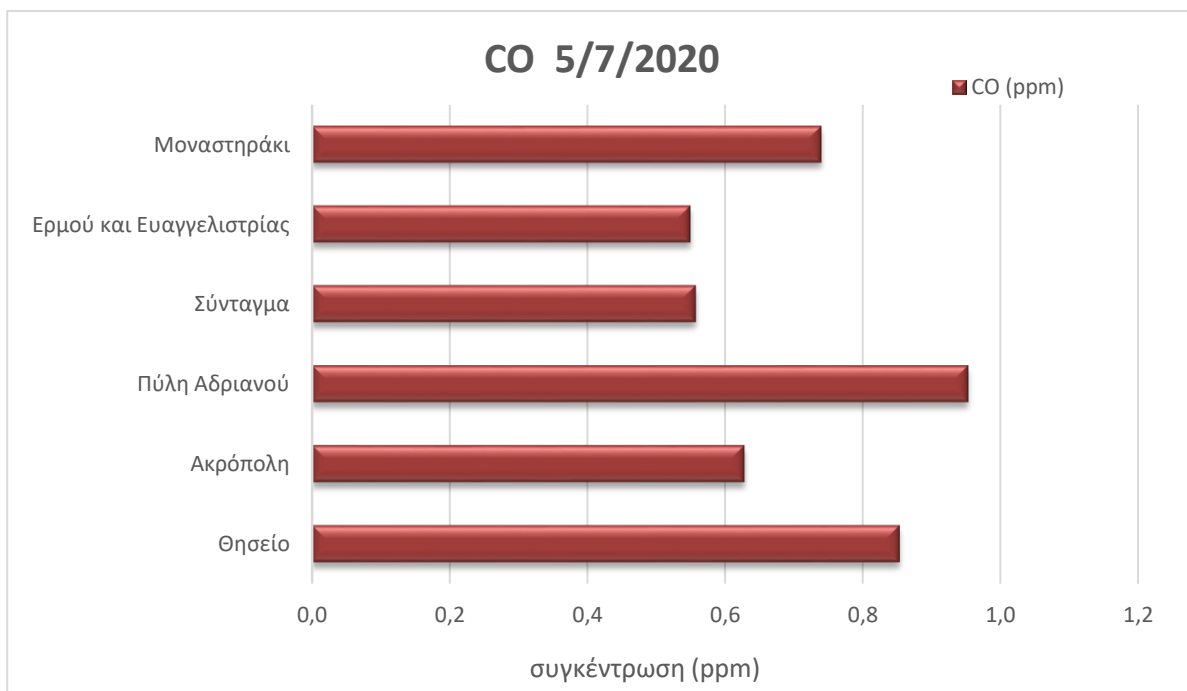
Χάρτης 5.15: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 4/7/2020.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 5.53 και από τον χάρτη 5.15 για τις μέσες ημερήσιες τιμές της 4/7/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10, PM2.5 και PM1 φαίνεται στο θησείο. Από την άλλη οι ελάχιστες συγκεντρώσεις των ρύπων για τα PM10 φαίνονται στην Ακρόπολη, ενώ τα PM2.5 παρουσιάζουν την ελάχιστη συγκέντρωσή τους στο Μοναστηράκι. Αντιθέτως η συγκέντρωση των PM1 φανερώνει την ελάχιστη τιμή της, στην Πύλη του Αδριανού. Επιπλέον από το διάγραμμα 5.54 και τον χάρτη 5.15 στις 4/7/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO εμφανίζεται στην Ερμού και Ευαγγελιστριάς. Αλλά η πιο χαμηλή συγκέντρωση φαίνεται στην Ακρόπολη. Έτσι συμπεραίνουμε πως οι σωματιδιακοί ρύποι συσχετίζονται θετικά στις υψηλότερες συγκεντρώσεις τους, αλλά και τα PM10 και CO στις ελάχιστες συγκεντρώσεις τους εμφανίζουν το ίδιο μοτίβο.

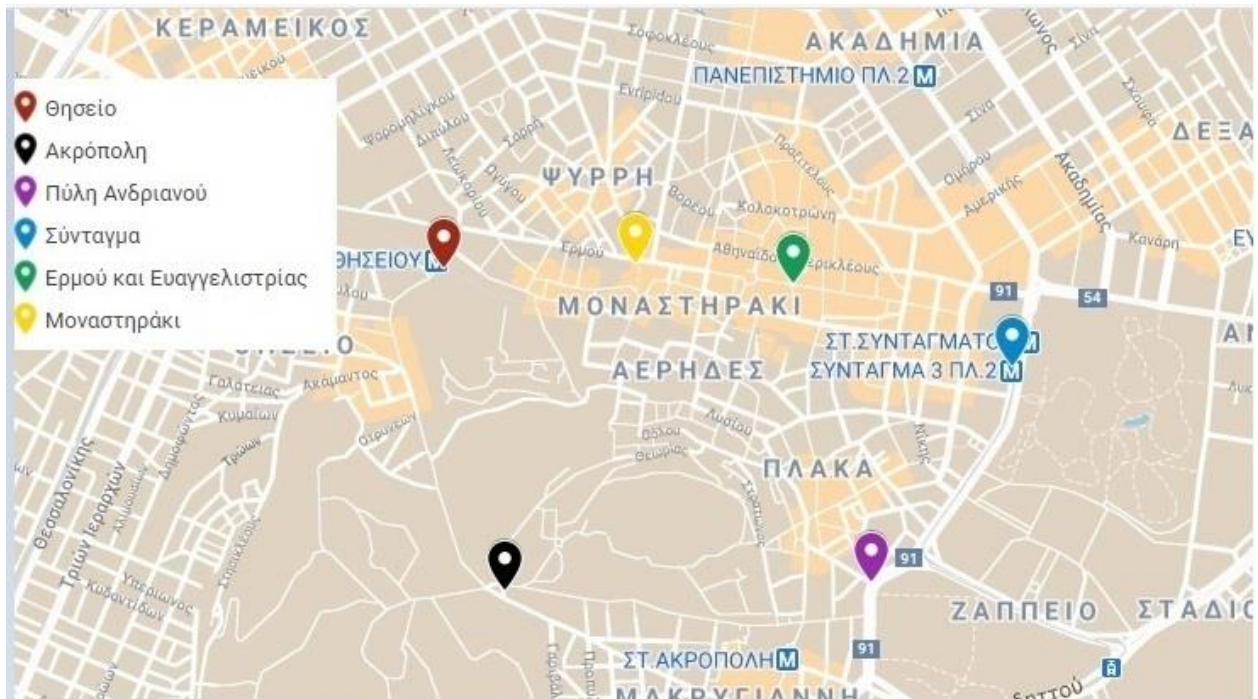
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα και ο χάρτης για 5/7/2020:



Διάγραμμα 5.55: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM10, PM2.5, PM1 στις 5/7/2020.



Διάγραμμα 5.56: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης CO στις 5/7/2020.



5/7/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100147	46,60	31,68	33,979	6,958	2,987	0,853
Ακρόπολη	99891	49,67	32,43	16,582	4,549	2,699	0,628
Πύλη Αδριανού	99916	43,86	32,48	16,904	5,742	2,961	0,953
Σύνταγμα	99744	42,18	33,39	14,053	4,515	2,556	0,558
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	99967	44,33	32,48	15,647	5,615	2,925	0,550
Μοναστηράκι	100056	43,67	32,78	15,780	6,627	3,938	0,740

Χάρτης 5.16: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων στις 5/7/2020.

Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα 5.55 και από τον χάρτη 5.16 για τις μέσες ημερήσιες τιμές της 5/7/2020, η μέγιστη συγκέντρωση των PM10 και PM2.5 φαίνεται στο Θησείο, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση των PM1 στο Μοναστηράκι. Από την άλλη οι ελάχιστες συγκεντρώσεις και για τους τρεις σωματιδιακούς ρύπους PM10, PM2.5 και PM1 φαίνεται να είναι στο Σύνταγμα. Επίσης από το διάγραμμα 5.56 και τον χάρτη 5.16 στις 5/7/2020, η μεγαλύτερη συγκέντρωση που παρουσιάζει ο ρύπος CO είναι στην Πύλη του Αδριανού, ενώ η ελάχιστη τιμή του εμφανίζεται στο σημείο της Ερμού και Ευαγγελιστριάς. Βάση των παραπάνω φαίνεται πως υπάρχει συσχέτιση για τους ρύπους PM10 και PM2.5 καθώς εμφανίζουν τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές τους στα ίδια σημεία

5.5 Συμπεράσματα από την απεικόνιση ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας

Στην αύξηση της ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας, το σημαντικότερο ρόλο παίζουν τα οχήματα που κινούνται στην περιοχή και ειδικότερα αν τα οχήματα αυτά κάνουν στάσεις με ανοιχτό κινητήρα. Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα οι περισσότερες από τις μέγιστες μετρήσεις έχουν προκληθεί κατά κύριο λόγο από οχήματα.

Αρχικά παρατηρούμε πως στις 18/12/2019 υπάρχουν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για όλους τους ρύπους που μετρήθηκαν αλλά και για τα περισσότερα σημεία. Αυτό συνέβη λόγω του αυξημένου αριθμού τουριστών αυτήν την μέρα με αποτέλεσμα την αυξημένη κίνηση τουριστικών λεωφορείων τα οποία επιβάρυναν παραπάνω όλα τα σημεία. Επιπλέον η ημέρα που παρατηρηθήκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις στα περισσότερα σημεία ήταν στις 12/6/2020.

Στο Θησείο φαίνεται σχετικά αυξημένη η συγκέντρωση σωματιδίων PM10 PM2.5 και PM1 στις περισσότερες από τις ημέρες από τις οποίες ξεχωρίζει η 4/7/2020 το πρωί, λόγω έργων του δήμου που γίνονταν κοντά στο σημείο μετρήσεων. Οι υψηλές αυτές μετρήσεις δικαιολογούνται λόγω της ύπαρξης σταθμού λεωφορείων και ΚΤΕΛ στο σημείο αυτό, με αποτέλεσμα τα λεωφορεία να κάνουν στάση ή και να σταθμεύουν στο σημείο αυτό συνήθως με ανοιχτούς κινητήρες, ώστε να επιβιβαστούν οι πολίτες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ρύπανσης της ατμοσφαιράς φανερώνοντας έτσι υψηλές συγκεντρώσεις στους ρύπους. Τα παραπάνω επιβεβαιώνει και η υψηλές συγκεντρώσεις του CO στο συγκεκριμένο σημείο που είναι επί το πλείστον αποτέλεσμα της καύσης στους κινητήρες

Στη Ακρόπολη παρατηρούμε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις στα σωματίδια PM10 PM2.5, PM1 αλλά και CO παρόλα αυτά υπάρχουν και εκεί κάποιες υψηλές τιμές. Τα PM10 παρουσιάζουν επίσης τις περισσότερες από τις υψηλές τιμές τους το μεσημέρι. Αυτές οι υψηλές τιμές προέρχονται κατά βάση από τα λεωφορεία που περνάνε από το σημείο, κάνουν αναστροφή και αφήνουν τουρίστες πολύ συχνά. Για αυτό είναι και παρατηρούνται οι μέγιστες για τα σωματίδια αλλά κυριότερα για το CO στις 18/12/2019.

Στην Πύλη του Αδριανού βλέπουμε αρκετά αυξημένη την συγκέντρωση του CO, αλλά και των σωματιδίων PM10, PM2,5 και PM1 σχετικά υψηλά. Αυτό συμβαίνει διότι το σημείο αυτό παρουσιάζει καθημερινά πολύ υψηλή κίνηση συνήθως το μεσημέρι. Όπως βλέπουμε στα διαγράμματα πολύ συχνά είναι και τα μέγιστα των συγκεντρώσεων του ίδιου σημείου. Λόγο του ότι το σημείο αυτό βρίσκεται στην Λεωφόρο Βασιλίσσης Όλγας όπου είναι ένας πολύ κεντρικός και πολυσύχναστος δρόμος της Αθήνας. Έτσι παρατηρείται αρκετή συσσώρευση συγκεντρώσεων στο σημείο αυτό. Βάση αυτού το πρωί τις 27/6/2020 στα PM10 και PM2.5 υπάρχει μια αρκετά αυξημένη συγκέντρωση. Διότι αυτήν την ώρα των μετρήσεων υπήρξε μεγάλο μποτιλιάρισμα στο σημείο με αποτέλεσμα να μένουν κινητοποιημένα τα οχήματα για κάποια ώρα. Επίσης στις 18/12/2019 είναι υψηλά οι συγκεντρώσεις των PM2.5 και PM1 λόγω του ότι προστίθενται στην κίνηση αρκετά λεωφορεία τουριστικά.

Στο Σύνταγμα, οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε μέτρια επίπεδα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σημεία για όλους τους μετρούμενους ρύπους. Κάποιες υψηλές συγκεντρώσεις, περισσότερο στο CO και στα PM10, συμβαίνουν λόγω του πολύ κεντρικού σημείου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνηση τις ώρες αιχμής, αλλά και λόγω της ύπαρξη αρκετών στάσεων λεωφορείων στην γύρο περιοχή. Επιπλέον στις 18/12/2019 είναι υψηλά οι συγκεντρώσεις των PM2.5 και PM1 λόγω του ότι στην υπάρχουσα κίνηση προστίθενται και τουριστικά λεωφορεία μέσω του αυξημένου αριθμού τουριστών, τα οποία κάνουν και συχνά στάσεις στο Σύνταγμα.

Στην Ερμού και Ευαγγελίστριας, κατά κύριο λόγο βλέπουμε στα σωματίδια PM10, PM2.5 και PM1 αυξημένες συγκεντρώσεις το πρωί. Αυτό οφείλεται στα φορτηγά που έρχονται συνήθως το πρωί για τον ανεφοδιασμό των καταστημάτων της περιοχής, τα οποία πολλές φορές κατά την διάρκεια της εργασίας τους έχουν ανοιχτούς τους κινητήρες. Επιπλέον αυτό παρατηρείται και στα μέγιστα του CO την 3/7/2020 το μεσημέρι, που γίνονταν αντίστοιχες εργασίες. Επίσης υψηλή συγκέντρωση φαίνεται και στις 4/7/2020, λόγω της στάσης ΙΧ δίπλα στα όργανα μετρήσεων με ανοιχτό κινητήρα.

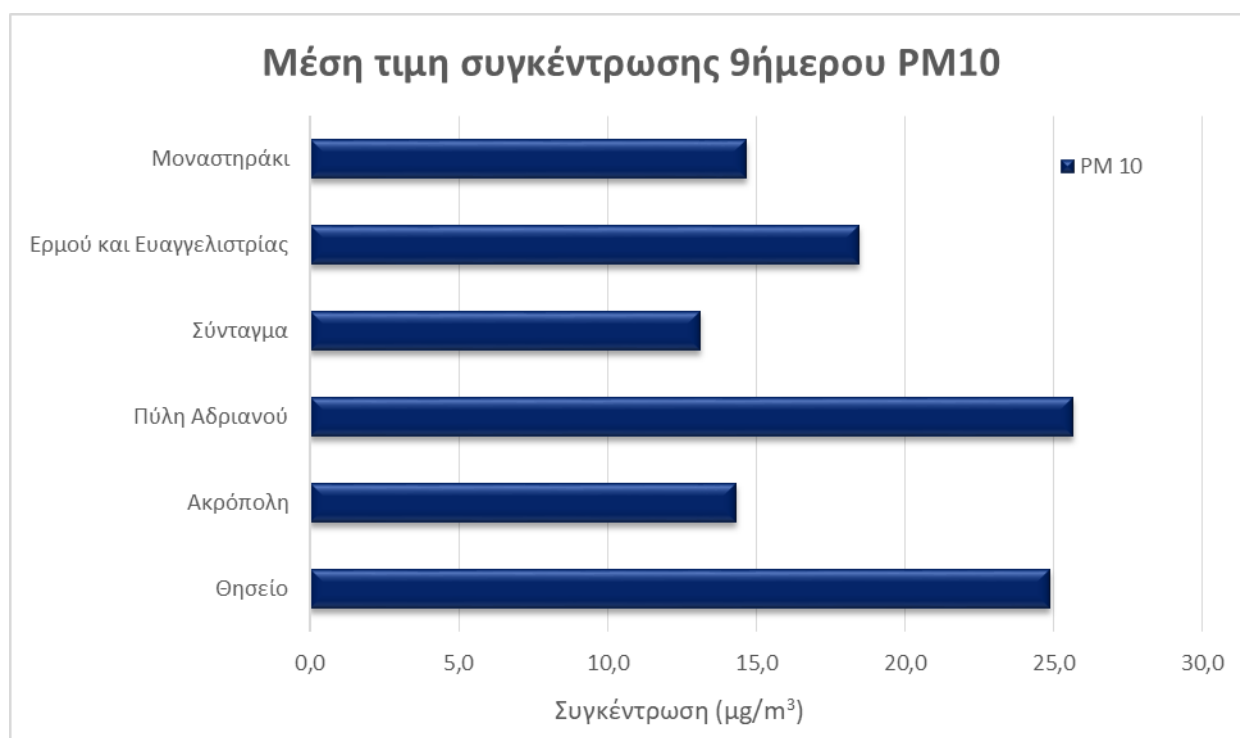
Εκτός από τα παραπάνω, σημαντικά υψηλή είναι η συγκέντρωση των PM10, PM2.5 και PM1 στις 18/12/2019, το πρωί και το βραδύ, λόγω της συνολικά επιβαρυσμένης ημέρας.

Στο Μοναστηράκι παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε μέτρια επίπεδα για τους ρύπους που μετρήσαμε. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των PM10, PM2.5, PM1 και CO, οφείλονται στην ύπαρξη φαναριού δίπλα στο σημείο των μετρήσεων με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνηση σε αυτό το σημείο συχνά. Στις 18/12/2019 φαίνονται αυξημένα επίπεδα συγκεντρώσεων στα PM10, PM2.5 και PM1. Αυτό είναι αποτέλεσμα των αυξημένων τουριστικών λεωφορείων που υπήρχαν εκείνη την μέρα αλλά και του της συνολικά επιβαρυσμένης ημέρας.

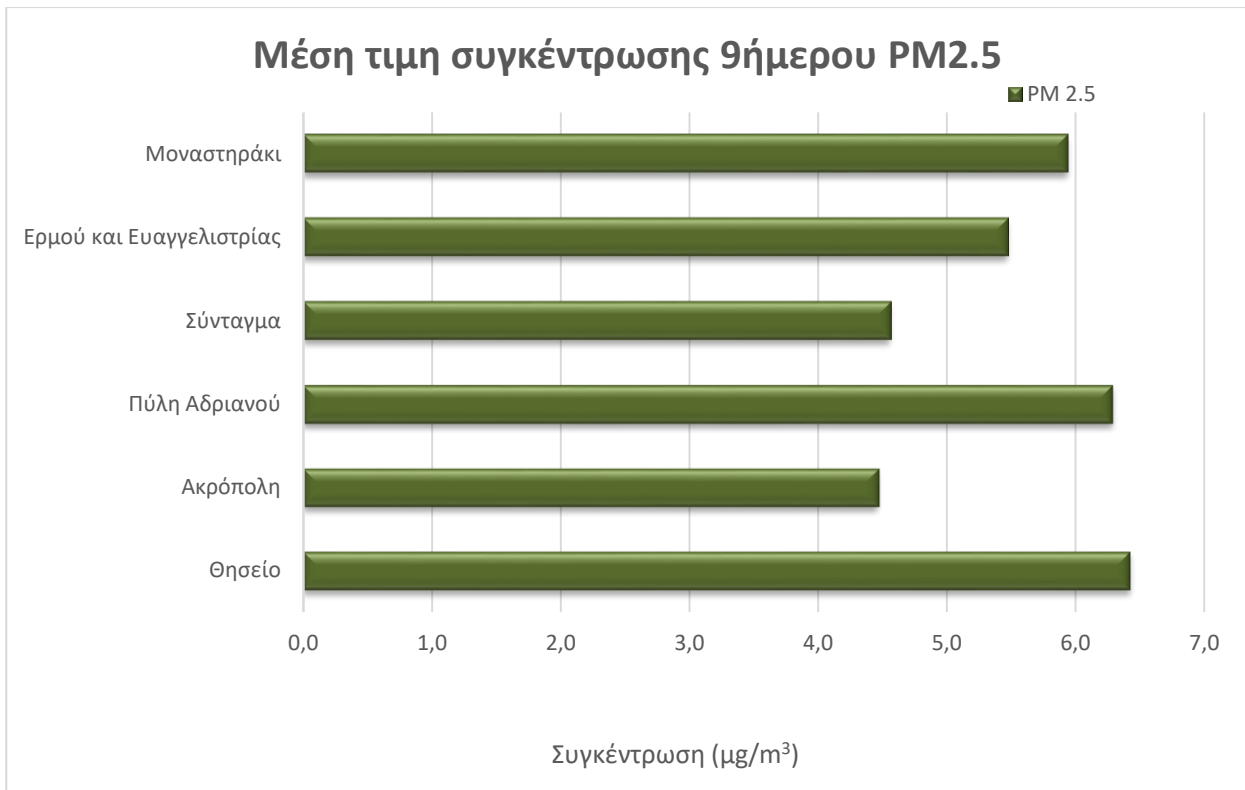
5.6 Ανάλυση ατμοσφαιρικής ρύπανσης μετρούμενων σημείων

Στο τελικό στάδιο αυτής της εργασίας, θα αναλυθεί η συνολική αέρια ρύπανση του κάθε σημείου αναφοράς, όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, και θα διατυπωθεί βάση των δεδομένων μια ολοκληρωμένη άποψη. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων για αυτό το στάδιο, έχει αποφασιστεί να μην συμπεριληφθεί στο σύνολο των μέσων τιμών η πρώτη ημέρα μετρήσεων (18/12/2019). Αυτό συμβαίνει διότι έχει μεγάλη χρονική απόσταση από τις υπόλοιπες που έχουν γίνει μέσα στο σύνολο ενός μήνα. Όπως επίσης και λόγω της έλλειψης δεδομένων CO για κάποια από τα σημεία το οποίο θα επηρέαζε τα αποτελέσματα χωρίς να είναι έγκυρο. Τα δεδομένα έχουν βγει από τον μέσο όρο των συγκεντρώσεων του συνόλου των μετρήσεων στο κάθε σημείο, για τον κάθε ένα ρύπο ξεχωριστά. Οπότε έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος των συνολικών μετρήσεων 9 ημερών.

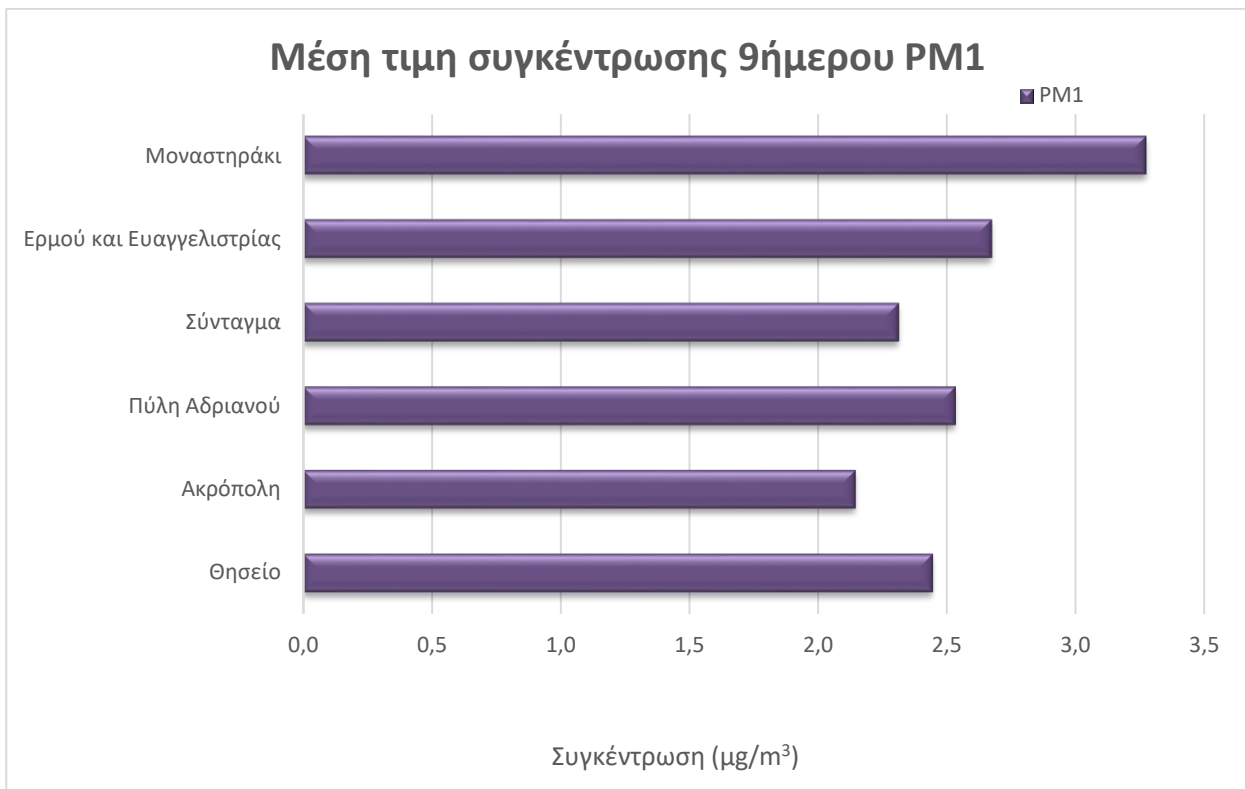
Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα και ο χάρτης που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία.



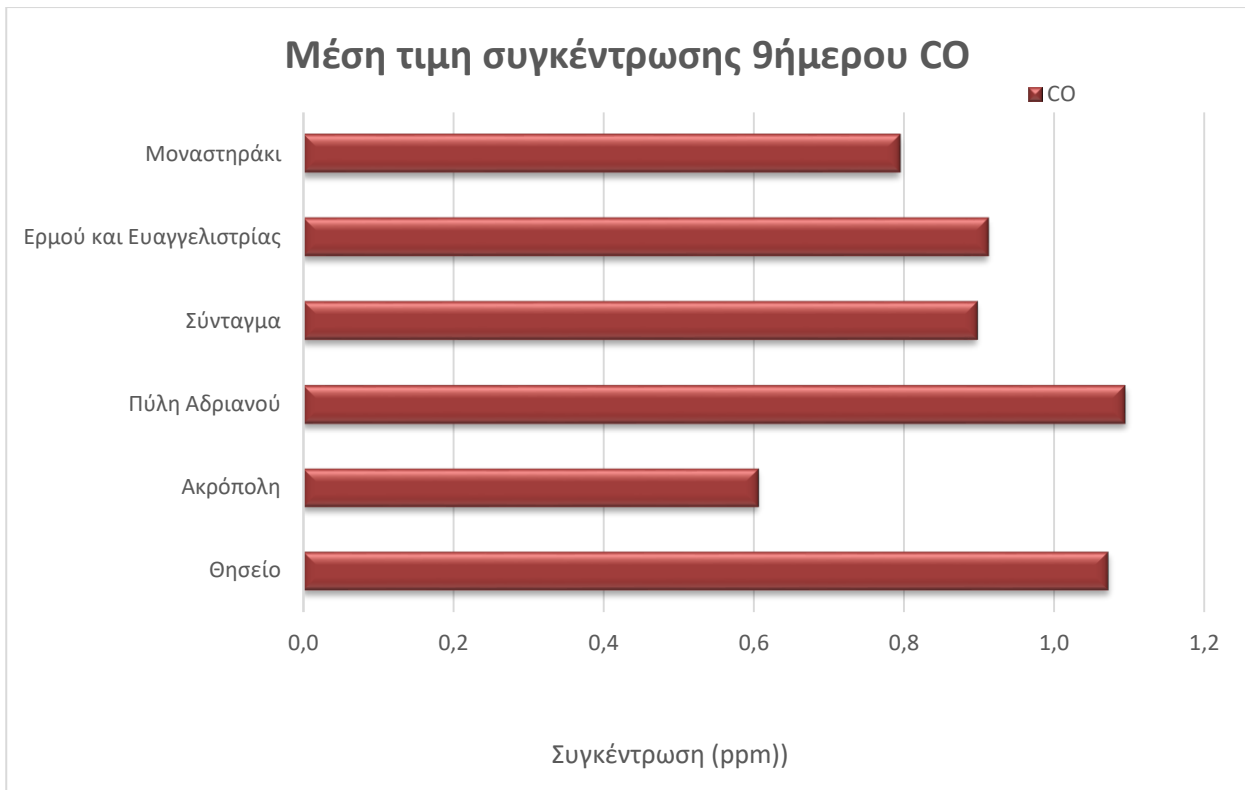
Διάγραμμα 5.57: Αποτύπωση μέσης τιμής συγκέντρωσης PM10 για το σύνολο των 9 ημερών.



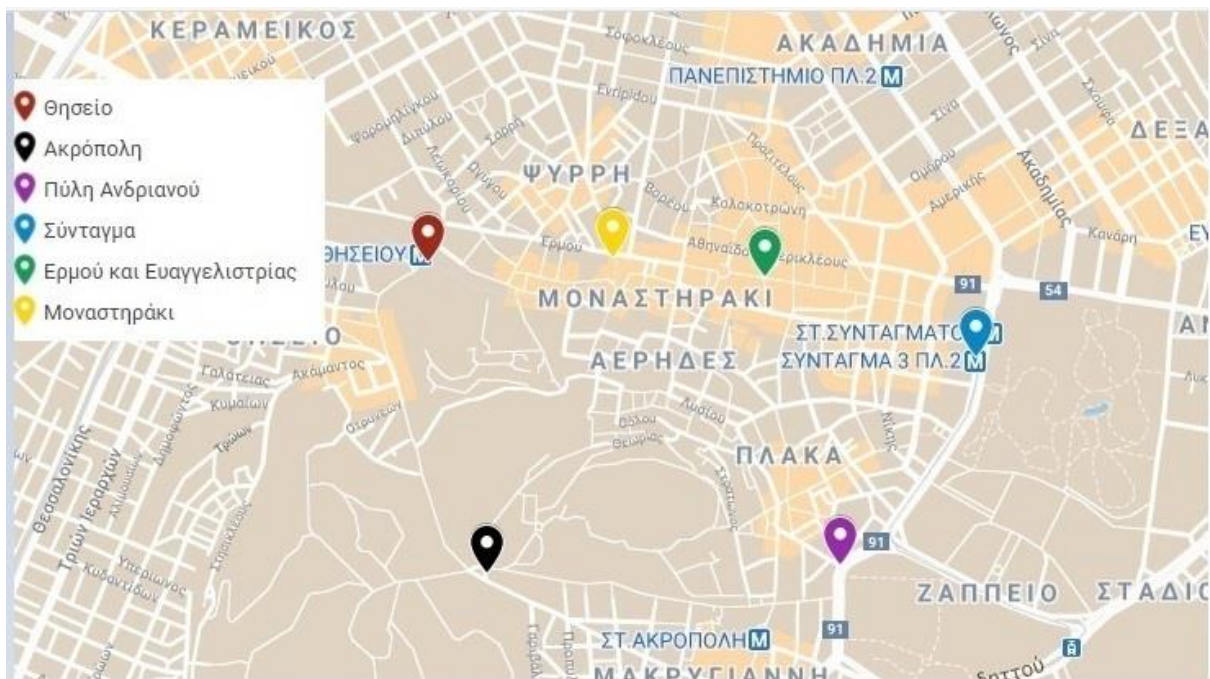
Διάγραμμα 5.58: Αποτύπωση μέσης τιμής συγκέντρωσης PM2.5 για το σύνολο των 9 ημερών.



Διάγραμμα 5.59: Αποτύπωση μέσης τιμής συγκέντρωσης PM1 για το σύνολο των 9 ημερών.



Διάγραμμα 5.60: Αποτύπωση μέσης τιμής συγκέντρωσης CO για το σύνολο των 9 ημερών.



	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM 10 (μg/m ³)	PM 2.5 (μg/m ³)	PM 1 (μg/m ³)	CO (ppm)
Θησείο	100345	42,91	30,84	24,877	6,422	2,444	1,072
Ακρόπολη	99998	43,64	30,66	14,342	4,461	2,143	0,605
Πύλη Αδριανού	100136	40,68	31,41	25,673	6,287	2,532	1,095
Σύνταγμα	99977	39,99	31,83	13,134	4,554	2,311	0,896
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100210	41,09	30,74	18,482	5,469	2,672	0,911
Μοναστηράκι	100299	40,89	31,27	14,666	5,936	3,274	0,793

Χάρτης 5.17: Αποτύπωση μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης ρύπων και μετεωρολογικών δεδομένων για το σύνολο των 9 ημερών.

Καθώς παρατηρούμε το διάγραμμα 5.57 και τον χάρτη 5.17, στα οποία παρουσιάζονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για σύνολο 9 ημερών στο κάθε σημείο μέτρησης, πως ο σωματιδιακός ρύπος PM10 έχει την μέγιστη τιμή του στην Πύλη του Αδριανού και στη συνέχεια το Θησείο. Ενώ η ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης των PM10 φαίνεται πως βρίσκεται στο Σύνταγμα.

Στη συνέχεια παρατηρώντας το διάγραμμα 5.58 και τον χάρτη 5.17, όπου παρουσιάζονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για σύνολο 9 ημερών στο κάθε σημείο μέτρησης, πως ο σωματιδιακός ρύπος PM2.5 έχει την μέγιστη τιμή του στο Θησείο ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η Πύλη του Αδριανού. Από την άλλη την ελάχιστη τιμή συγκεντρώσεις των PM2.5 βλέπουμε να βρίσκεται στην Ακρόπολη.

Εκτός από αυτά παρατηρώντας επίσης το διάγραμμα 5.59 και τον χάρτη 5.18, στα οποία παρουσιάζονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για σύνολο 9 ημερών στο κάθε σημείο μέτρησης, πως ο σωματιδιακός ρύπος PM1 έχει την μέγιστη τιμή του στο Μοναστηράκι. Ενώ και στα PM1 η ελάχιστη τιμή συγκεντρώσεις που μπορούμε να δούμε είναι στην Ακρόπολη.

Ύστερα κοιτάζοντας το διάγραμμα 5.60 αλλά και τον χάρτη 5.17, όπου σε αυτά φαίνονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για σύνολο 9 ημερών στο κάθε σημείο μέτρησης, πως η συγκέντρωση του ρύπου CO παίρνει την μέγιστη τιμή της στην Πύλη του Αδριανού και στη συνέχεια το Θησείο. Η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης και αυτού του ρύπου παρατηρείτε να είναι στην Ακρόπολη.

Έχοντας γνώση των παραπάνω, συμπεραίνουμε, ότι, κατά την μετρητική διαδικασία που κάναμε, την μεγαλύτερη συγκέντρωση ρύπανσης παρουσιάζει το σημείο αναφοράς στην Πύλη του Αδριανού. Αυτό βγήκε βλέποντας πως σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση των PM10 που είναι ο πιο επιβλαβής σωματιδιακός ρύπος από τους τρεις αλλά και μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO. Επίσης είναι λογικό αφού αυτό το σημείο καθημερινά πλήττεται από την αυξημένη κίνηση των οχημάτων. Επίσης καλό θα ήταν να τονιστεί πως και στο Θησείο παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση κοντά στα επίπεδα της Πύλης του Αδριανού. Τέλος το σημείο με την καλύτερη ατμόσφαιρα από τα μετρούμενα είναι η Ακρόπολη, καθώς κρίνοντας από τους σωματιδιακούς ρύπους PM2.5 και PM1 όπως και του CO στα οποία ήταν το σημείο με την λιγότερη συγκέντρωση, ενώ επίσης και για τα PM10 ήταν αρκετά χαμηλή.

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

6.1 Συμπεράσματα

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυριαρχεί σήμερα στα Ευρωπαϊκά συνέδρια περιβαλλοντικής προστασίας. Για αυτόν τον λόγο έχει επιβάλει συγκεκριμένα όρια συγκέντρωσης των ρύπων.

Η παρούσα εργασία αρχικά πραγματοποιείται την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, ώστε να έχουμε αξιόπιστες και έγκυρες μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο κέντρο της Αθήνας με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες χαμηλού κόστους (Libelium). Πριν να ξεκινήσουν οι μετρήσεις έπρεπε να λυθούν αρκετά προβλήματα και δυσκολίες. Έτσι για να κατανοήσουμε την ποιότητα των δεδομένων κάναμε δοκιμαστικές μετρήσεις, αρχικά στο σημείο που είναι το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και στη συνέχεια παράλληλα και με το κινητό εργαστήριο που είχαμε στην διάθεση μας. Ωστε να δούμε την συσχέτιση των μετρήσεων. Τα πρώτα προβλήματα που κληθήκαμε να

αντιμετωπίσουμε ήταν στην σύνδεση και τον συγχρονισμό των οργάνων στο ίντερνετ και να βρούμε λύση στις διακοπές που συν έβαιναν. Αυτό λύθηκε μετά από αρκετές δοκιμές στο εργαστήριο και η λύση ήταν πως η μόνη εταιρία με την οποία δεν παρουσιάζαν διακοπές και αποσυνδέσεις στο δίκτυο τα όργανα ήταν η Cosmote, την οποία και χρησιμοποιήσαμε στην συνέχεια.

Για να ήμαστε σε θέση να σταθμεύσουμε στο κέντρο της Αθήνας με το κινητό εργαστήριο (βαν) και να κάνουμε μετρήσεις, χρειάστηκε να ακολουθήσουμε μια αρκετά χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία, αφού χρειαζόμασταν αρκετές άδειες για στάθμευση, για νομιμότητα της διαδικασίας όπως και για ηλεκτροδότηση. Μετά από αρκετές προσπαθείς και ομιλίες με πολλούς υπευθύνους ήμασταν σε θέση να κάνουμε τις μετρήσεις μας. Η μέρα ξεκίνησε αρκετά νωρίτερα από τις 9-10 που είναι οι πρώτες μετρήσεις, διότι χρειάζεται χρόνος για την μεταφορά και εύρεση κενού του σημείου στάθμευσης (νωρίς το πρωί) όπως και για την προετοιμασία των οργάνων. Επίσης πρέπει να τονιστεί πως κατά την διαδικασία των μετρήσεων πρέπει να είμαστε παρών καθ' όλη την διάρκεια και να γίνεται έλεγχος της ποιότητας των μετρήσεων κάθε μίση ώρα, το οποίο είναι αρκετά κουραστικό.

Αφού κατανοήσαμε πλήρως την λειτουργία των χαμηλού κόστους ηλεκτροχημικών αισθητήρων και λύσαμε τα προβλήματα που μας παρουσιάστηκαν, ήμασταν σε θέση να ξεκινήσουμε τις μετρήσεις μας στο κέντρο της Αθήνας. Συνολικά έγιναν 10 ημερήσιες μετρήσεις με 3 διαδρομές στο κέντρο της Αθήνας την ημέρα (πρωί, μεσημέρι, βράδυ). Τα όργανα παρέμεναν ανοιχτά παίρνοντας μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής. Με ενδιαμέσες δεκάλεπτες στάσεις στα έξι σημεία ενδιαφέροντος Θησείο, Ακρόπολη, Πύλη του Αδριανού, Σύνταγμα, Ερμού και Ευαγγελίστριας και Μοναστηράκι. Το πιο δύσκολο σε αυτήν την προσπάθεια ήταν η μεγάλη ζεστή, καθώς και ο αρκετός χρόνος και χιλιόμετρα που διανύσαμε με τα πόδια για να γίνουν εφικτές η μετρήσεις.

Το επόμενο βήμα ήταν να επεξεργαστούμε τις μετρήσεις. Αρχίζοντας πρώτα να κοιτάμε την συσχέτιση των μετρήσεων των χαμηλού κόστους οργάνων μας με τα υψηλού κόστους και ακριβείας του Αστεροσκοπείου, αλλά και του κινητού εργαστηρίου. Παρατηρήθηκε πως υπάρχει αρκετά μεγάλη συσχέτιση στις συγκεντρώσεις των PM10, PM2,5, PM1 και CO αλλά πως δεν υπάρχει στις συγκεντρώσεις των NO₂, O₃ και SO₂. Αυτό μας οδήγησε στην απόφαση να μην χρησιμοποιηθούν και αποτυπωθούν οι συγκεντρώσεις των τριών αυτών ρύπων διότι κρίθηκε πως δεν ήταν αρκετά έγκυρες. Έτσι συνεχίσαμε στην επεξεργασία των υπόλοιπων συγκεντρώσεων ώστε να είναι σε θέση να αποτυπωθούν με τον βέλτιστο τρόπο.

Τα αποτελέσματα από την αποτύπωση και χαρτογράφηση, έδειξαν πως βασικός παράγοντας επιβάρυνσης της ατμοσφαιράς είναι οι συγκεντρώσεις των ρύπων και σωματιδίων που παράγονται από τους κινητήρες των οχημάτων της περιοχής. Ουσιαστικά φαίνεται πως στις 18/12/2019 είναι μια αρκετά επιβαρυσμένη ημέρα λόγω αυξημένης κίνησης και τουριστικής δραστηριότητας από λεωφορεία. Σε αντίθεση η 12/6/2020 είναι η πιο καθαρή ημέρα από τις μετρήσεις που κάναμε και επίσης η μέρα με την λιγότερη κίνηση στους δρόμους.

Στο Θησείο τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι σχετικά αυξημένα για PM10, PM2.5, PM1 όπως επίσης και για το CO. Ο κύριος παράγοντας είναι η ύπαρξη της ύπαρξης σταθμού λεωφορείων και ΚΤΕΛ στο σημείο αυτό, με αποτέλεσμα τα λεωφορεία να κάνουν στάση ή και να σταθμεύουν στο σημείο αυτό συνήθως με ανοιχτούς κινητήρες, ώστε να επιβιβαστούν οι πολίτες.

Στη Ακρόπολη παρατηρούμε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις στα σωματίδια PM10, PM2.5, PM1 αλλά και CO, λόγω της μορφολογίας του σημείου. Ειδικότερα εκεί παρατηρείται αυξημένη βλάστηση, ενώ οι μεγάλοι οδικοί δρόμοι είναι αρκετά μακριά από το σημείο. Οι συγκεντρώσεις κάποιες μέρες

έδειξαν σχετική άνοδο που επί το πλείστον προέρχονται από τα λεωφορεία που περνάνε από το σημείο, κάνουν αναστροφή και αφήνουν τουρίστες συχνά.

Στην Πύλη του Αδριανού βλέπουμε αρκετά αυξημένη την συγκέντρωση του CO, αλλά και των σωματιδίων PM10, PM2,5 και PM1. Αυτό συμβαίνει διότι το σημείο αυτό παρουσιάζει καθημερινά πολύ αυξημένη κίνηση συνήθως το μεσημέρι. Λόγο του ότι το σημείο αυτό βρίσκεται στην Λεωφόρο Βασιλίσσης Όλγας όπου είναι ένας πολύ κεντρικός και πολυσύχναστος δρόμος της Αθήνας.

Στο Σύνταγμα οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε μέτρια επίπεδα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σημεία για όλους τους μετρούμενους ρύπους. Κάποιες υψηλές συγκεντρώσεις περισσότερο στο CO και στα PM10, συμβαίνουν λόγω του πολύ κεντρικού σημείου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνηση τις ώρες αιχμής. Αλλά και την ύπαρξη αρκετών στάσεων λεωφορείων στην γύρο περιοχή.

Στην Ερμού και Ευαγγελίστριας βλέπουμε κατά κύριο λόγο στα σωματίδια PM10, PM2.5 και PM1 αυξημένες συγκεντρώσεις το πρωί. Αυτό οφείλεται στα φορτηγά που έρχονται συνήθως το πρωί για τον ανεφοδιασμό των καταστημάτων της περιοχής, τα οποία πολλές φορές κατά την διάρκεια της εργασίας τους έχουν ανοιχτούς τους κινητήρες.

Στο Μοναστηράκι παρατηρούμε πως οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε μέτρια επίπεδα για τους ρύπους που μετρήσαμε σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σημεία μετρήσεων. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των PM10, PM2.5, PM1 και CO, οφείλονται στην ύπαρξη φαναριού δίπλα στο σημείο των μετρήσεων με αποτέλεσμα να δημιουργείται κίνηση σε αυτό το σημείο συχνά.

Αναλογιζόμενος όλα τα παραπάνω, βγαίνει το συμπέρασμα, πως το σημείο κατά την μετρητική διαδικασία που παρουσιάζει την μεγαλύτερη συγκέντρωση ρύπανσης είναι η Πύλη του Αδριανού. Αυτό γίνεται φανερό γνωρίζοντας πως σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO και των PM10 που είναι τα πιο επιβλαβή σε σχέση με τα υπόλοιπα. Επίσης είναι λογικό αφού αυτό το σημείο καθημερινά πλήττεται από την αυξημένη κίνηση των οχημάτων. Επίσης καλό θα ήταν να τονιστεί πως και στο Θησείο παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση κοντά στα επίπεδα της Πύλης του Αδριανού. Τέλος το σημείο με την καλύτερη ατμόσφαιρα από τα μετρούμενα είναι η Ακρόπολη, καθώς κρίνοντας από τους σωματιδιακούς ρύπους PM2.5 και PM1 όπως και του CO ήταν το σημείο με την λιγότερη συγκέντρωση σε αυτά, ενώ επίσης ήταν αρκετά χαμηλή και για τα PM10.

6.2 Πρόταση για μελλοντική εξέλιξη

Μια πρόταση για μελλοντική εξέλιξη θα ήταν η χρήση των ηλεκτροχημικών αισθητήρων χαμηλού κόστους για μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των μετεωρολογικών δεδομένων, στο κέντρο της Αθήνας, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη απεικόνιση ολοκλήρου του λεκανοπέδιου.

Επίσης σημαντική εξέλιξη της παρούσας εργασίας θα ήταν η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων ώστε να εξαχθούν παραπάνω πληροφορίες και αποτελέσματα. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να γίνει κατανοητό στο ευρύτερο κοινό και ιδιαίτερα στις ευπαθείς ομάδες τα σημεία αποφυγής σε ημέρες έξαρσης της ρύπανσης.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Oliveira RH, Carneiro C de C, de Almeida FGV, de Oliveira BM, Nunes EHM, dos Santos AS. (2019). Multivariate air pollution classification in urban areas using mobile sensors and self-organizing maps. *Int J Environ Sci Technol.*;16(10):5475-5488. doi:10.1007/s13762-018-2060-9
2. Lim, C. C., Kim, H., Vilcassim, M. J. R., Thurston, G. D., Gordon, T., Chen, L. C., Lee, K., Heimbinder, M., & Kim, S. Y. (2019). *Mapping urban air quality using mobile sampling with low-cost sensors and machine learning in Seoul, South Korea*. *Environment International*, 131(March), 105022.
3. Schneider, P., Castell, N., Vogt, M., Dauge, F. R., Lahoz, W. A., & Bartonova, A. (2017). *Mapping urban air quality in near real-time using observations from low-cost sensors and model information*. *Environment International*, 106(December 2016), 234–247.
4. Sifakis, N., & Sarigiannis, D. (2005). *RETROPOLIS : RETROSPECTIVE MAPPING RETROPOLIS : ΑΝΑΔΡΟΜΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΑΠΟ Δ ΟΡΥΦΟΡΟ*.
5. Tasic V., Jovasevic-Stojanovic, M., Topalovic, D., & Davidovic, M. (2016). *Measurement of PM 2.5 Concentrations in Indoor Air Using Low-Cost Sensors and Arduino Platforms*. 1–4.
6. Blythe, P.T., Sharif, B., Watson, P., Bell, M.C., Edwards, S., Neasham, J., Suresh, V., Wagner, J., Bryan, H. (2008). *An environmental sensor system for pervasively monitoring road networks*, in *IET - Road Transport Information and Control*. Manchester, UK.
7. Weissert, L. F., Alberti, K., Miskell, G., Pattinson, W., Salmond, J. A., Henshaw, G., & Williams, D. E. (2019). *Low-cost sensors and microscale land use regression: Data fusion to resolve air quality variations with high spatial and temporal resolution*. *Atmospheric Environment*, 213(March), 285–295.
8. Popoola, O. A. M. (2012). *Studies of urban air quality using electrochemical based sensor instruments*. 245. Ph.D. Thesis, University of Cambridge.
9. Μουστρής, Κ.Π (2019) Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης-Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης: *Η ιστορία και η διαβάθμιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης*.
10. Ζιώμας, Γ. (2007) *Ρύπανση-Ατμόσφαιρα Ατμοσφαιρική*.
11. Σαρηγιάννης, Μ.Γ. (2006). *Σημειώσεις Για Το Μάθημα «ειδικά Θέματα Περιβάλλοντος» Του 7ου Χειμερινού Εξαμήνου*. : 1–41.
12. Ανδρεοπούλου, Ε. (2011) *Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση Στην Αθήνα*. MSc. Thesis. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

13. Γκικνούδης, Χ. (2015) *Σύγκριση Πρότυπης Σταθμικής Μεθόδου Με Μέθοδο Αυτόματης Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων PM10*. MSc. Thesis. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
14. Χρέμου, Ε. (2013) *Μακροχρόνιες Μεταβολές Στις Εκπομπές Των Αέριων Ρύπων Στην Ελλάδα*. MSc. Thesis ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
15. Νικολής, Δ. (2019) *ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ PM2.5 ΚΑΙ PM10*. MSc. Thesis. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
16. Στόγιαννης, Κ. (2019) *Χωρική Και Χρονική Κατανομή Των Επιπέδων Της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης Σε Μεγάλες Ελληνικές Αστικές Περιοχές*. MSc. Thesis ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ.
17. Ταπεινός, Δ. (2019) *AIR QUALITY MONITORING DEVICES WITH LOW-COST PORTABLE*. Bachelor d. Thesis. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.
18. Λιάπης, Χ. (2008) *Σύγχρονη Τεχνολογία Συστημάτων Μετρήσεων Περιβαλλοντικών Παραμέτρων*. MSc. Thesis. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
19. Κανελλοπούλου, Ζ. (2015). *Διαχρονική μεταβολή των αέριων ρύπων στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας κατά την οικονομική κρίση στην Ελλάδα*. MSc. Thesis. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ.
20. Μασσαρά, Β., 2011. *Αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα της Πάτρας*. MSc. Thesis. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ.
21. Kassomenos, P. (2009) *Daily Variation of Traffic Emissions in Athens Greece*.
22. Καμπεξίδης, Χ.¹, Ματράλης, Χ. (2004). *Διαχείριση αέριων ρύπων: Ατμοσφαιρικοί ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους II, Τόμος Β΄*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
23. Γεωργόπουλος, Α. (2002) *Γη – ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης.*, Αθήνα: Gutenberg.
24. Σπυρόπουλος Γ. (2017) WinAQMS Air Quality Monitoring
25. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. (2015) Waspmote Plug & Sense.
26. Google my maps 2020 online δημιουργίας χαρτών: www.google.com/maps/d/u/0/
27. Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο 2020: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/>
28. Σημειώσεις τμήματος φυσικής πανεπιστημίου Πατρών: http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_109_2195.pdf
29. Σύστημα διαχείρισης περιβαλλοντικών δεδομένων 2020: <https://www.air-quality.gr/air.php>

30. World Health Organization 2020: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
31. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2020: <http://www.ypeka.gr/el-gr/Environment/AirQuality/AirQuality-Measuring-Data>
32. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας 2020: <https://www.civilprotection.gr/el/%CF%87%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B5%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BC%CF%8E%CE%BD-%CE%BC%CE%AD%CF%84%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%B1%CF%82-%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7%CF%82>
33. Air visual 2020: <https://www.airvisual.com/greece>
34. Air-quality 2020: https://air-quality.com/country/greece/b1757cf9?lang=en&standard=aqi_us
35. Breezometer 2020: <https://breezometer.com/>
36. Air index 2020: <https://airindex.eea.europa.eu/>
37. Purple air 2020: <https://www.purpleair.com/map?opt=1/mAQI/a10/cC0#1/25/-30>
38. Air Plume Labs 2020: <https://air.plumelabs.com/air-quality-in-athens-16M3>
39. Aqicn 2020: <http://aqicn.org/city/greece/airlab/addem/>
40. European Environmental Agency 2020: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-mean-no2-concentration-observed-12>
41. Επαγγελματικό Επιμελητήριο Αθηνών 2020: <https://www.eea.gr/>

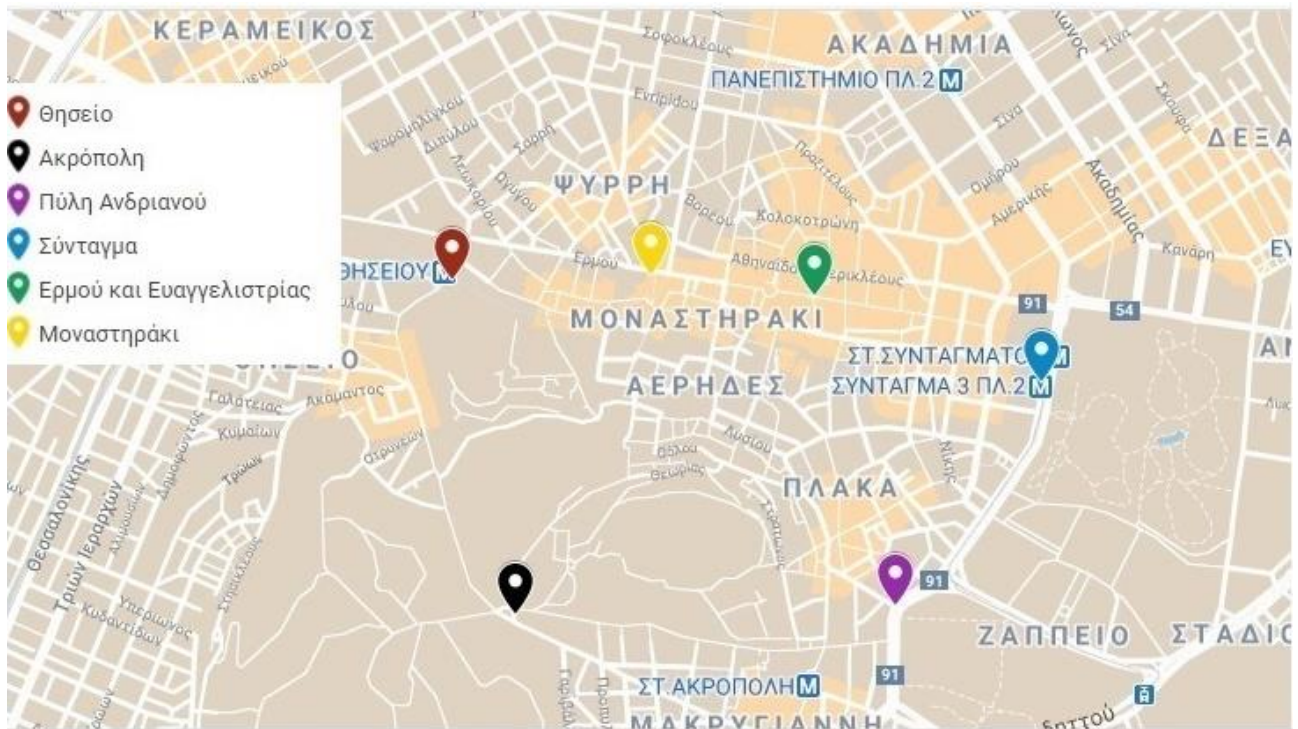
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



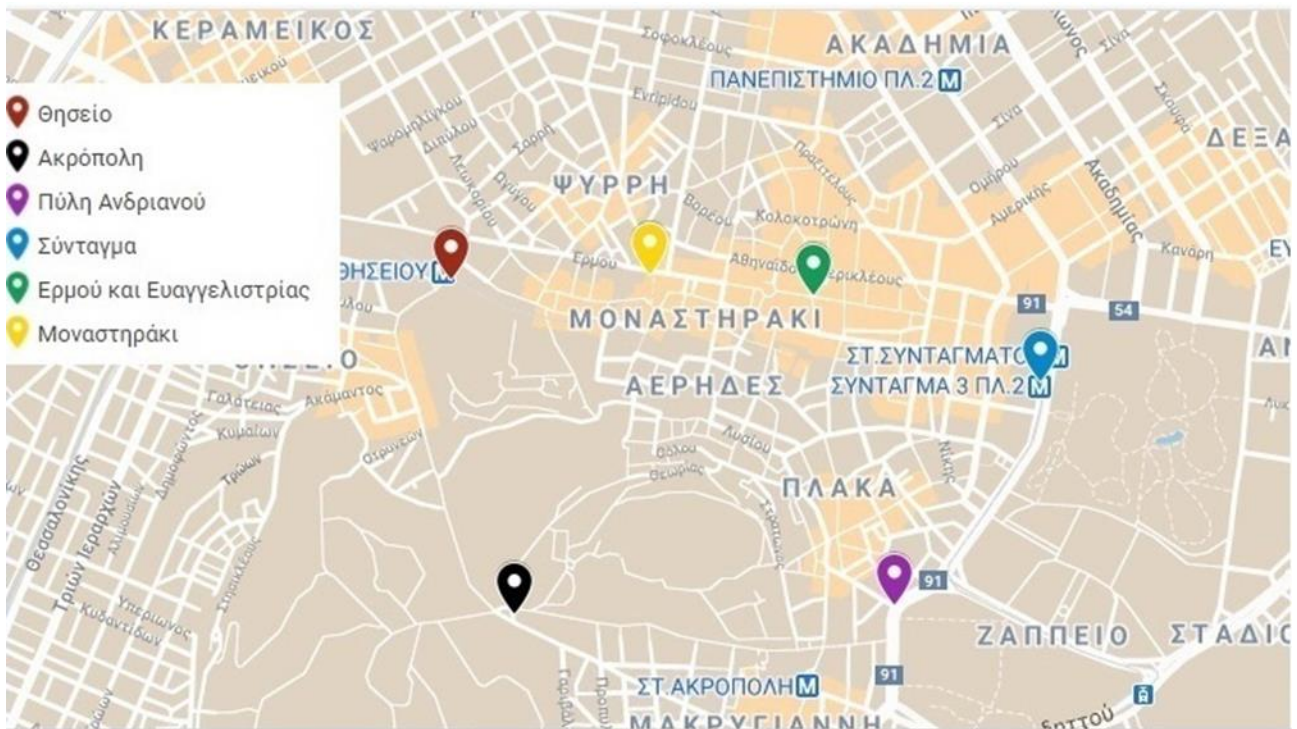
	18/12/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM 10 (µg/m ³)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 1 (µg/m ³)	CO (ppm)
πρωί								
Θησείο		102214	100,00	9,22	36,953	19,715	12,290	6,211
Ακρόπολη		101816	100,00	13,73	16,837	12,457	8,120	1,857
Πύλη Αδριανού		102011	99,64	14,18	28,093	13,430	7,098	0,000
Σύνταγμα		101823	85,48	17,23	17,805	11,368	6,340	0,000
Ερμού και Ευαγγελιστριάς		102136	100,00	14,61	102,487	27,553	13,330	0,000
Μοναστηράκι		102200	86,73	18,09	38,613	15,801	8,328	0,000
μεσημέρι								
Θησείο		102143	66,69	20,91	11,928	8,086	4,932	0,861
Ακρόπολη		101732	76,10	18,46	8,962	6,010	3,512	0,286
Πύλη Αδριανού		101909	72,54	18,28	29,224	8,132	3,916	1,464
Σύνταγμα		101738	71,12	18,33	19,400	7,324	3,990	0,966
Ερμού και Ευαγγελιστριάς		102007	70,13	18,46	8,044	5,868	3,744	0,461
Μοναστηράκι		102075	60,23	22,56	15,665	10,723	7,135	1,137
βράδυ								
Θησείο		102283	100,00	11,89	33,130	22,648	15,675	7,979
Ακρόπολη		101886	100,00	11,33	28,698	22,428	15,735	1,025
Πύλη Αδριανού		102057	100,00	13,09	26,520	16,235	10,355	0,000
Σύνταγμα		101869	100,00	13,86	24,750	16,253	10,908	0,000
Ερμού και Ευαγγελιστριάς		102148	100,00	14,78	48,820	30,943	22,367	0,000
Μοναστηράκι		102254	100,00	14,66	43,045	23,933	16,778	0,000



	10/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί								
Θησείο		100344	53,08	26,50	24,612	8,235	2,473	3,388
Ακρόπολη		99963	57,01	25,29	13,799	6,603	1,859	0,532
Πύλη Αδριανού		100150	47,77	28,50	30,534	7,651	2,564	2,290
Σύνταγμα		99995	47,41	28,16	18,520	7,640	2,598	1,921
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100248	48,45	27,26	23,494	9,322	3,538	0,494
Μοναστηράκι		100333	44,75	28,98	23,011	9,527	3,251	0,988
μεσημέρι								
Θησείο		100318	42,82	30,28	12,895	4,793	1,355	0,830
Ακρόπολη		99973	40,67	29,95	36,470	9,403	1,820	0,619
Πύλη Αδριανού		100110	38,07	30,78	27,642	5,026	1,328	1,017
Σύνταγμα		99915	36,14	31,51	12,180	5,122	1,818	1,074
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100154	36,78	30,76	8,703	4,332	1,202	0,869
Μοναστηράκι		100239	35,10	31,46	8,574	4,240	1,266	0,767
βράδυ								
Θησείο		100204	34,44	32,47	7,020	4,693	1,298	0,851
Ακρόπολη		99817	40,07	28,93	10,473	3,155	0,925	0,569
Πύλη Αδριανού		99986	40,70	28,33	15,192	4,434	1,158	1,465
Σύνταγμα		99802	42,23	28,20	7,525	4,260	1,650	0,663
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100050	43,27	27,95	14,908	4,366	1,478	0,486
Μοναστηράκι		100143	43,70	27,98	18,036	8,198	3,580	0,498



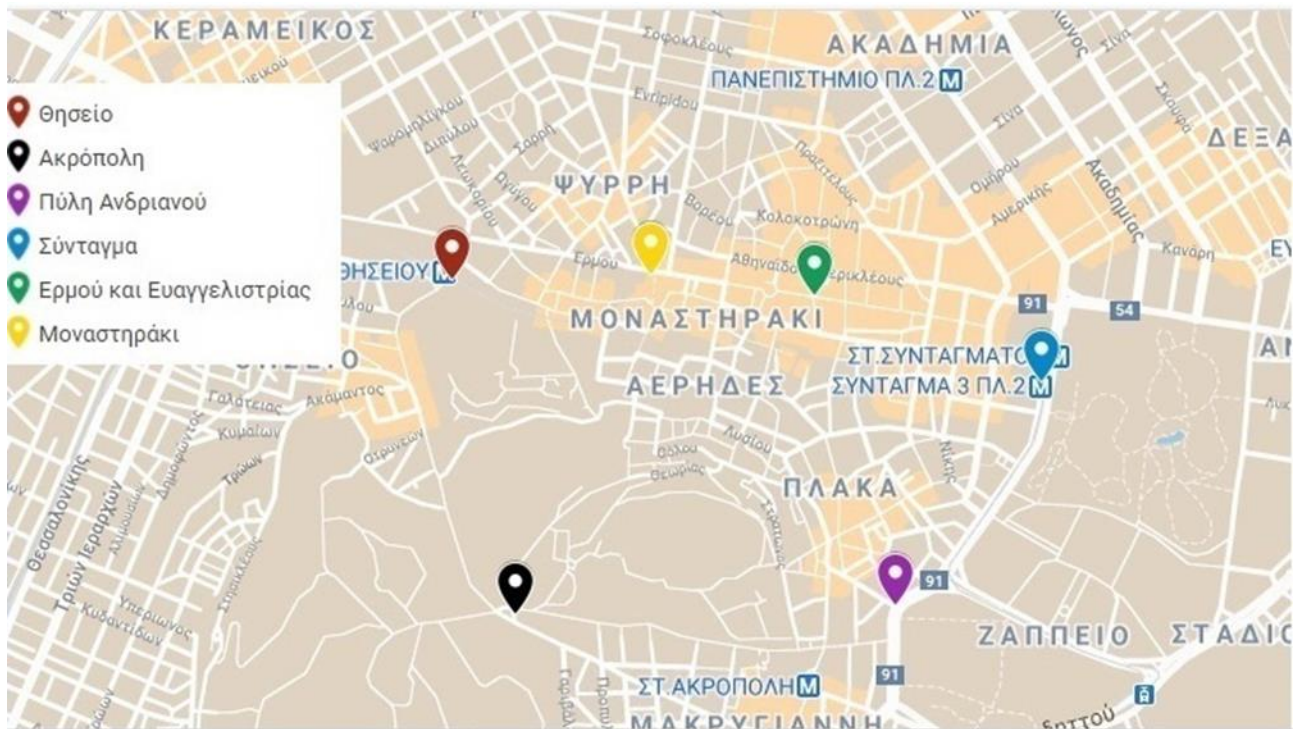
	12/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	PM1 (µg/m ³)	CO (ppm)
πρωί								
Θησείο		100333	48,60	23,77	8,050	4,534	1,270	0,704
Ακρόπολη		99956	46,84	23,71	15,902	4,155	1,067	0,405
Πύλη Αδριανού		100115	44,62	25,41	24,004	5,620	1,602	0,280
Σύνταγμα		99938	41,76	26,56	13,150	4,254	1,150	1,089
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100180	43,82	24,69	20,178	3,806	1,252	0,789
Μοναστηράκι		100277	42,64	25,86	15,818	5,108	1,694	0,866
μεσημέρι								
Θησείο		100256	28,81	29,40	20,663	2,438	0,605	0,665
Ακρόπολη		99892	28,05	29,39	3,862	1,396	0,462	0,474
Πύλη Αδριανού		100037	27,47	30,10	5,784	2,834	0,884	0,833
Σύνταγμα		99846	28,01	30,07	6,308	1,986	0,824	0,833
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100087	30,52	27,77	6,987	1,593	0,587	0,715
Μοναστηράκι		100173	29,49	29,87	19,398	3,735	1,335	0,561
βράδυ								
Θησείο		100108	37,11	28,57	6,960	2,402	0,920	0,070
Ακρόπολη		99728	38,90	27,13	8,860	2,750	0,820	0,974
Πύλη Αδριανού		99918	41,91	26,80	43,462	6,660	1,470	0,598
Σύνταγμα		99801	41,40	26,09	21,613	3,991	1,269	0,683
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100083	40,06	26,62	10,590	3,120	1,090	0,451
Μοναστηράκι		100129	40,54	26,79	12,076	3,746	1,524	0,639



	26/6/2020 Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί							
Θησείο	101032	49,73	29,55	7,516	3,736	2,024	1,169
Ακρόπολη	100646	55,22	27,49	5,730	3,350	1,690	0,462
Πύλη Αδριανού	100813	50,83	29,64	34,832	7,198	2,412	0,670
Σύνταγμα	100628	51,56	29,46	6,495	3,330	1,920	0,759
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100891	52,21	28,89	11,270	2,858	1,678	0,778
Μοναστηράκι	100986	50,14	29,88	12,515	4,198	2,640	0,897
μεσημέρι							
Θησείο	100973	42,16	31,01	34,778	6,998	2,758	0,749
Ακρόπολη	100585	38,99	32,34	15,858	4,396	2,430	0,473
Πύλη Αδριανού	100744	40,17	32,09	41,830	10,028	4,038	1,566
Σύνταγμα	100561	39,29	32,25	9,954	6,614	3,712	0,888
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100814	39,86	31,47	18,062	6,518	3,210	0,729
Μοναστηράκι	100904	39,48	31,78	13,644	6,396	3,516	0,940
βράδυ							
Θησείο	100849	46,90	29,72	18,954	5,128	3,522	0,398
Ακρόπολη	100492	45,93	29,79	6,896	4,154	2,492	0,362
Πύλη Αδριανού	100678	47,11	29,85	7,594	4,700	2,994	0,159
Σύνταγμα	100512	47,59	28,83	7,216	3,912	2,174	0,514
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100764	47,61	28,81	12,518	4,012	2,584	0,650
Μοναστηράκι	100848	47,94	29,31	12,118	7,394	4,234	0,520



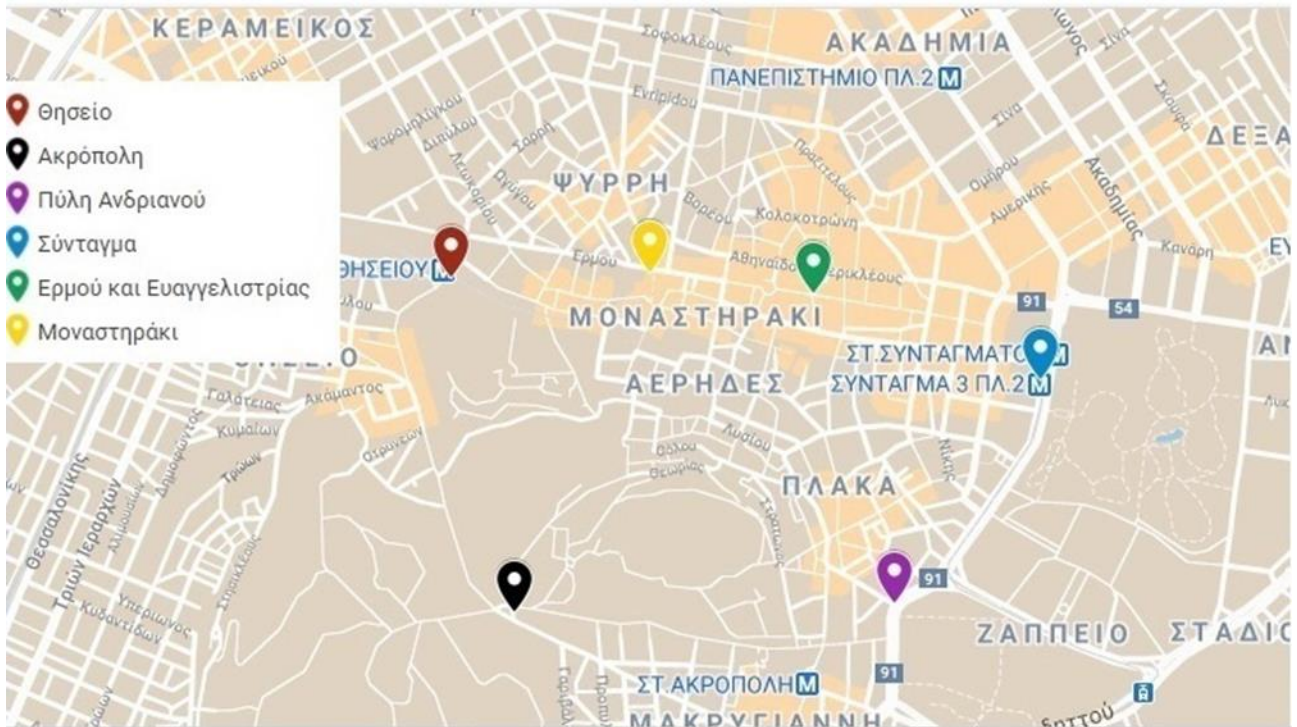
27/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί							
Θησείο	100850	45,15	26,77	14,090	3,062	0,870	0,278
Ακρόπολη	100486	44,12	26,91	5,498	2,843	0,893	1,064
Πύλη Αδριανού	100634	39,09	29,85	128,330	24,136	3,504	1,072
Σύνταγμα	100474	35,22	30,39	8,668	3,220	0,985	0,654
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100715	38,00	28,94	35,135	7,618	2,563	0,768
Μοναστηράκι	100808	37,78	30,26	19,822	4,660	1,485	0,770
μεσημέρι							
Θησείο	100414	31,46	36,06	18,740	5,296	2,994	1,366
Ακρόπολη	100033	29,31	37,20	12,104	4,444	2,912	1,059
Πύλη Αδριανού	100169	28,86	37,95	20,328	6,098	3,138	1,783
Σύνταγμα	99999	27,35	38,45	10,960	4,070	2,824	1,238
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100236	29,59	36,23	13,696	4,118	3,034	1,251
Μοναστηράκι	100303	29,52	36,93	12,024	6,486	4,166	1,344
βράδυ							
Θησείο	100712	31,58	30,13	11,098	3,402	1,127	1,392
Ακρόπολη	100335	32,13	29,49	3,344	1,906	0,804	0,589
Πύλη Αδριανού	100479	31,89	29,03	34,515	4,535	1,100	1,340
Σύνταγμα	100326	32,46	28,51	8,594	2,222	1,140	0,788
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100587	31,92	28,69	8,224	3,570	1,588	0,661
Μοναστηράκι	100676	33,44	28,47	12,552	4,414	2,512	0,652



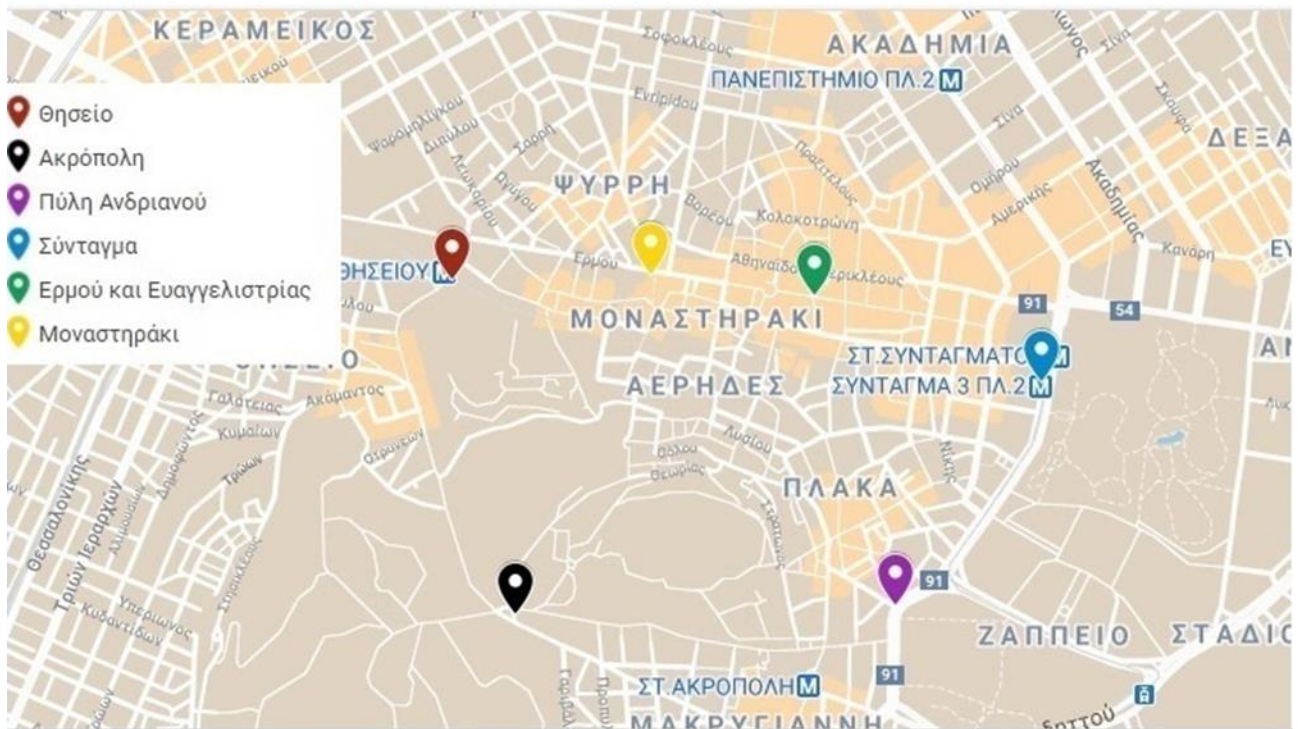
	29/6/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί								
Θησείο		100484	47,87	25,79	38,262	7,238	1,988	1,998
Ακρόπολη		100088	45,15	25,17	16,336	4,880	1,632	0,000
Πύλη Αδριανού		100247	36,79	28,73	34,323	5,305	1,632	0,866
Σύνταγμα		100077	35,28	28,69	14,028	3,800	1,600	1,671
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100331	36,50	28,34	18,803	4,385	1,595	0,640
Μοναστηράκι		100445	37,77	27,92	32,682	6,128	2,064	0,745
μεσημέρι								
Θησείο		100310	27,43	35,68	11,230	2,920	1,535	0,625
Ακρόπολη		99964	28,56	35,39	8,198	2,518	1,398	0,640
Πύλη Αδριανού		100084	30,09	34,75	25,526	4,488	2,016	1,396
Σύνταγμα		99910	29,81	35,37	11,157	3,425	1,827	1,372
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100153	32,31	32,78	10,868	3,446	1,900	1,098
Μοναστηράκι		100231	31,76	33,60	11,165	8,070	6,510	0,889
βράδυ								
Θησείο		100209	44,61	29,64	12,444	4,002	2,210	0,399
Ακρόπολη		99852	52,39	29,58	2,360	2,320	1,810	0,321
Πύλη Αδριανού		99985	29,58	29,77	20,960	2,790	1,730	0,600
Σύνταγμα		99852	44,21	29,93	18,515	4,945	1,920	0,695
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100112	43,60	29,20	11,256	4,200	2,534	0,661
Μοναστηράκι		100212	44,72	29,43	8,624	5,956	3,078	0,456



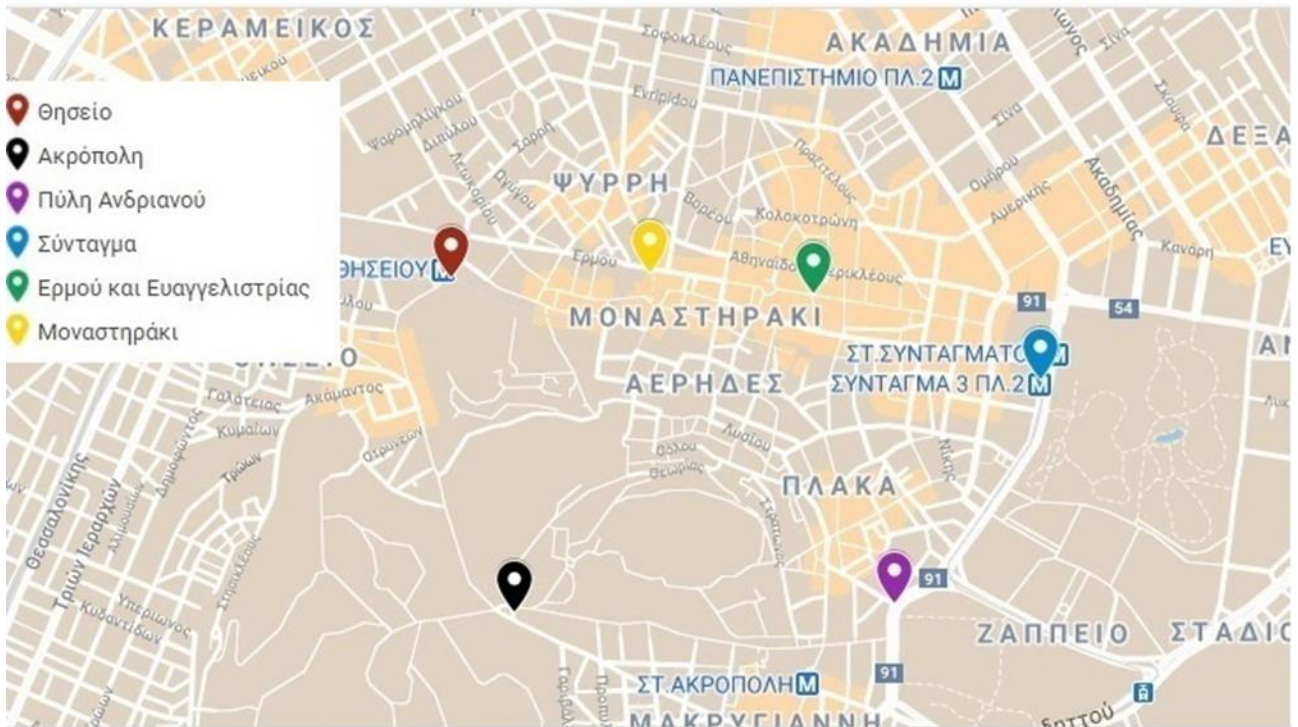
	2/7/2020	Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί								
Θησείο		99775	57,90	27,45	19,268	5,070	2,543	0,335
Ακρόπολη		99418	55,94	27,96	30,488	5,688	2,452	0,802
Πύλη Αδριανού		99531	47,20	31,17	34,944	6,174	2,780	1,859
Σύνταγμα		99359	41,88	32,80	16,448	4,556	2,120	1,276
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		99613	47,48	30,03	58,937	17,330	6,377	0,698
Μοναστηράκι		99706	47,95	30,22	11,074	5,570	3,214	0,954
μεσημέρι								
Θησείο		100249	34,28	33,87	8,262	3,330	1,960	0,660
Ακρόπολη		99881	29,92	36,22	18,493	3,497	2,067	0,350
Πύλη Αδριανού		100015	30,21	36,46	12,063	3,833	2,300	1,292
Σύνταγμα		99848	27,37	38,89	9,753	3,805	1,855	0,631
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		100080	29,96	36,07	23,510	4,246	2,620	0,831
Μοναστηράκι		100148	29,16	37,15	18,078	5,412	2,772	1,025
βράδυ								
Θησείο		100020	31,33	35,19	50,133	9,377	2,730	0,434
Ακρόπολη		99751	32,75	33,62	7,530	2,485	1,458	0,278
Πύλη Αδριανού		99900	34,48	33,14	5,973	3,490	1,727	0,836
Σύνταγμα		99771	34,77	33,24	15,660	3,540	2,037	0,525
Ερμού και Ευαγγελιστρίας		99978	35,35	31,87	15,525	4,335	2,267	1,398
Μοναστηράκι		100082	36,53	31,85	15,970	4,866	3,014	0,943



	3/7/2020 Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί							
Θησείο	100140	46,55	30,01	29,178	6,488	3,455	4,617
Ακρόπολη	99797	46,36	30,66	21,932	5,954	3,294	1,406
Πύλη Αδριανού	99948	44,04	32,52	15,886	8,300	3,844	1,526
Σύνταγμα	99858	43,24	32,94	31,570	7,110	3,554	0,862
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	100027	43,68	32,20	25,878	5,396	3,202	0,812
Μοναστηράκι	100118	41,98	33,34	6,000	4,930	3,480	1,030
μεσημέρι							
Θησείο	100159	39,07	34,51	12,625	4,988	3,198	0,901
Ακρόπολη	99813	37,80	35,23	33,088	8,136	3,406	0,493
Πύλη Αδριανού	99959	35,67	36,22	24,880	6,675	3,640	1,854
Σύνταγμα	99856	37,41	36,12	10,846	4,826	2,944	0,567
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	100009	35,77	35,43	19,124	5,840	3,924	0,679
Μοναστηράκι	100102	37,49	35,35	13,583	4,980	3,533	0,821
βράδυ							
Θησείο	100070	52,36	32,34	20,906	6,396	3,338	1,373
Ακρόπολη	99719	52,40	32,30	27,128	5,473	2,860	0,489
Πύλη Αδριανού	99906	52,36	32,06	19,482	6,334	2,936	0,573
Σύνταγμα	99747	51,34	32,35	9,450	5,653	3,640	1,435
Ερμού και Ευαγγελιστριάς	100008	50,78	31,52	17,906	6,278	3,610	2,641
Μοναστηράκι	100106	54,71	31,15	14,848	9,228	5,804	0,770



	4/7/2020 Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)	PM1 (μg/m ³)	CO (ppm)
πρωί							
Θησείο	100422	42,34	32,10	150,345	34,295	4,313	1,419
Ακρόπολη	100082	42,21	31,36	8,814	4,702	3,124	0,948
Πύλη Αδριανού	100208	43,24	31,85	16,482	5,356	3,092	0,938
Σύνταγμα	100079	38,90	33,04	15,810	4,730	3,054	0,800
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100252	39,54	31,03	31,024	6,954	3,012	1,270
Μοναστηράκι	100349	38,99	32,08	10,512	4,420	3,064	0,558
μεσημέρι							
Θησείο	100375	39,49	35,50	21,798	7,520	4,424	0,886
Ακρόπολη	100048	42,12	34,80	13,816	6,084	3,942	0,642
Πύλη Αδριανού	100187	39,22	34,96	9,650	4,983	3,470	1,253
Σύνταγμα	100053	36,03	36,26	10,215	5,185	3,765	0,961
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100224	37,64	35,21	21,680	6,684	4,440	3,139
Μοναστηράκι	100308	36,08	35,39	9,765	4,488	3,240	0,660
βράδυ							
Θησείο	100283	63,72	31,31	9,920	6,190	4,106	0,875
Ακρόπολη	99961	66,49	30,69	10,506	6,514	4,144	0,495
Πύλη Αδριανού	100110	65,53	30,62	8,252	5,886	4,118	0,634
Σύνταγμα	99932	62,47	31,06	17,833	7,228	4,350	0,607
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100182	61,73	30,92	13,808	6,492	4,094	0,432
Μοναστηράκι	100264	61,46	30,84	16,760	8,235	5,610	0,899



	5/7/2020 Pressure (Pa)	R. Humidity	T (°C)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	PM1 (µg/m ³)	CO (ppm)
πρωί							
Θησείο	100206	46,92	31,57	21,143	5,530	2,800	1,090
Ακρόπολη	99855	46,99	31,34	26,772	5,126	2,530	0,669
Πύλη Αδριανού	100014	44,86	32,26	15,600	4,834	2,560	0,981
Σύνταγμα	99856	40,86	34,05	11,572	4,328	2,512	0,665
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	100080	42,48	33,21	14,136	5,736	2,696	0,500
Μοναστηράκι	100170	41,32	34,08	8,680	5,515	2,843	0,657
μεσημέρι							
Θησείο	100188	40,89	33,18	56,106	8,628	3,212	0,572
Ακρόπολη	99800	36,98	34,66	13,743	4,232	2,377	0,315
Πύλη Αδριανού	99931	35,90	34,91	17,134	7,084	3,110	1,145
Σύνταγμα	99756	34,32	36,25	19,212	4,708	2,328	0,371
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	99961	38,13	34,55	15,312	5,520	2,756	0,545
Μοναστηράκι	100043	37,76	34,58	20,328	6,100	3,453	0,646
βράδυ							
Θησείο	100045	52,00	30,28	24,688	6,715	2,948	0,898
Ακρόπολη	100018	65,04	31,28	9,230	4,290	3,190	0,900
Πύλη Αδριανού	99803	50,82	30,28	17,977	5,307	3,213	0,732
Σύνταγμα	99620	51,35	29,87	11,376	4,510	2,828	0,638
Ερμού και Ευαγγελιστρίας	99858	52,38	29,68	17,494	5,590	3,322	0,604
Μοναστηράκι	99955	51,93	29,69	18,333	8,267	5,520	0,916