



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην καμπίνα ενός βενζινοκίνητου και ενός πετρελαιοκίνητου αυτοκινήτου»

Στοιχεία Φοιτητή		
Επώνυμο	Όνομα	Α.Μ
Γκουντουβά	Ειρήνη – Αγγελική	18392128

Επιβλέπων καθηγητές	
1.	Δρ. Μουστράς Κωνσταντίνος Καθηγητής
2.	Ντούρου Κλεοπάτρα Ε.ΔΙ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

«Study of the atmospheric environment quality in the cabin of a gasoline-powered and a diesel-powered car»

Student name – Surname – R.N.		
Surname	Name	Registration Number
Gkountouva	Eirini – Aggeliki	18392128

Supervisor	
1.	Dr. Moustiris Konstantinos Professor
2.	Ntoutou Cleopatra L.T.S.

Athens, September 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

«Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην καμπίνα ενός βενζινοκίνητου και ενός πετρελαιοκίνητου αυτοκινήτου»

Η διπλωματική εργασία βαθμολογήθηκε και έγινε αποδεκτή από την εξής επιτροπή:

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Α/Α	ΟΝΟΜΑ/ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΟΥΣΤΡΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ ΝΤΟΥΡΟΥ	Ε.ΔΙ.Π.	
3	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ	Ε.ΔΙ.Π.	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γκουντουβά Ειρήνη Αγγελική του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 18392128 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Η δηλούσα



Γκουντουβά Ειρήνη Αγγελική

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η ποιότητα της ατμόσφαιρας στην καμπίνα δύο αυτοκινήτων. Τα δύο οχήματα χρησιμοποιούσαν διαφορετικό καύσιμο και κινήθηκαν σε διαφορετικές περιοχές. Το πρώτο όχημα ήταν πετρελαιοκίνητο και πραγματοποιούσε διαδρομές κυρίως σε επαρχιακούς δρόμους, ενώ το δεύτερο ήταν βενζινοκίνητο και μετακινήθηκε κυρίως στον νότιο τομέα της Αθήνας και στο κέντρο. Προσδιορίστηκαν λοιπόν κατά την οδήγηση υπό διαφορετικές συνθήκες (ανοιχτά/κλειστά παράθυρα, ενεργοποιημένη/απενεργοποιημένη θέρμανση, αριθμός επιβατών κλπ.) οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10}), με τη βοήθεια αισθητήρων χαμηλού κόστους (Purple Air). Κατά τη διάρκεια των διαδρομών λήφθηκαν μετρήσεις ανά δύο λεπτά και η μελέτη διήρκεσε συνολικά 8 μήνες, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό της καμπίνας δείχνει να επηρεάζεται σημαντικά από τις συγκεντρώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. εργασίες οδοστρώματος, αφρικανική σκόνη, γύρη κ.α.). Παράγοντες όπως τα παράθυρα (ανοιχτά/κλειστά), η θέρμανση (ενεργοποιημένη/απενεργοποιημένη), το Air Condition αλλά και ο αριθμός των επιβατών, δεν είχαν τόσο έντονη επιρροή. Φάνηκε επίσης ότι τα αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζουν εποχικότητα, τόσο τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος) όσο και την περίοδο της άνοιξης (Μάιος-Ιούνιος). Στα μέσα της εβδομάδας και την Κυριακή παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις. Σημαντικός ήταν ο παράγοντας της περιοχής στην οποία μετακινήθηκε το κάθε όχημα. Τέλος, αποδείχθηκε ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στη θερμοκρασία και στην συγκέντρωση των μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}). Αντίθετα, υπάρχει μία καλή συσχέτιση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των PM_{10} και στις τιμές της σχετικής υγρασίας.

Λέξεις κλειδιά: Αιωρούμενα σωματίδια, Ατμοσφαιρική ρύπανση, καμπίνα αυτοκινήτου, PurpleAir, αισθητήρες χαμηλού κόστους, PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10} .

ABSTRACT

In this Thesis, the air quality in the cabin of two cars was studied. The two vehicles utilized different fuel and were driven in different areas. The first vehicle was diesel driven and occupied mainly provincial roads, while the second vehicle was petrol driven and occupied mainly the southern sector of Athens and the city Centre. The concentrations of particulate matter (PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10}) were determined during driving under different conditions (open/closed windows, heating on/off, number of passengers, etc.), using low-cost sensors (Purple Air). Measurements were taken every two minutes during the journeys and the study lasted a total of 8 months, from November 2022 to June 2023. According to the results, the concentration of particulate matter inside the cabin seems to be significantly influenced by concentrations in the external environment (e.g. road works, African dust, pollen, etc.). The results were not significantly affected by factors such as windows (open/closed), heating (on/off), air conditioning and the number of passengers. It also appears that particulate matter shows seasonality of concentration, both in the winter months (December-January-February) and in the spring period (May-June). The highest concentrations were observed during the middle of the week and on Sundays. The area which each vehicle occupied was an important factor. Finally, it is shown that there is no correlation between temperature and the concentration of larger diameter particulate matter (PM_{10}). On the contrary, there is a positive correlation between PM_{10} concentrations and relative humidity values.

Keywords: Particular Matters, Air pollution, cabin-car, PurpleAir, low-cost sensors, PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 .

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να εκφράσω θερμά τις ευχαριστίες μου στους επιβλέποντες καθηγητές, κα Ντούρου Κλεοπάτρα και κ. Μουστρή Κωνσταντίνο, για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθεια που έλαβα κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τσίτση Χρήστο. Είμαι ευγνώμων για όλες τις γνώσεις που μου μεταδώσανε. Οι συμβουλές και η εμπιστοσύνη που μου δείξαν, έκανε αυτή την πορεία πολύ πιο εύκολη. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή και την κατανόηση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xvii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xviii
1. Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή	1
2. Κεφάλαιο 2 ^ο : Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	2
2.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση	2
2.2 Πηγές - επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων.....	2
2.3 Ιστορική αναδρομή φαινομένου.....	4
2.4 Νομοθετικό πλαίσιο για την ποιότητα της ατμόσφαιρας.....	7
3. Κεφάλαιο 3 ^ο : Αιωρούμενα Σωματίδια - ΑΣ	9
3.1 Γενικά	9
3.2 Πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων	9
3.3 Κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων	11
3.3.1 Μηχανισμός σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων	11
3.3.2 Χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων	12
3.3.3 Μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων	12
3.4 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων	13
3.4.1 Ανθρώπινη υγεία.....	13
3.4.2 Φυτά	14
3.4.3 Κλίμα.....	14
3.5 Νομοθετικό πλαίσιο για τα αιωρούμενα σωματίδια.....	14
3.6 Πετρελαιοκίνηση – Βενζινοκίνηση – Νομοθεσία - Εκπομπές Ρύπων	16
4. Κεφάλαιο 4 ^ο : Παρόμοιες μελέτες.....	18
4.1 Μελέτη πρώτη: Characterizing in-cabin air quality and vehicular air filtering performance for passenger cars in China.	18
4.2 Μελέτη δεύτερη: In-car and Near-road Exposure to PM_{2.5} and BC.	19
4.3 Μελέτη Τρίτη: Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars.	20
4.4 Μελέτη τέταρτη: Air Quality Into Cabin Environment of Different Passenger Cars: Effect of Car Usage, Fuel Type and Ventilation/Infiltration Conditions.	21
5. Κεφάλαιο 5 ^ο : Μεθοδολογία έρευνας.....	23

5.1	Σκοπός.....	23
5.2	Όργανο μέτρησης - PurpleAir	23
5.3	Δεδομένα Purple Air.....	24
5.4	Περιοχές μελέτης – Χάρτες.....	25
5.5	Επεξεργασία Μετρήσεων	31
6.	Κεφάλαιο 6 ^ο : Αποτελέσματα και συζήτηση.....	36
6.1	Αποτελέσματα Δεκεμβρίου – Ford.....	36
6.1.1	Μέση ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα).....	36
6.1.2	Μέση μηνιαία τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα).....	38
6.2	Αποτελέσματα Ιανουαρίου– Ford	39
6.2.1	Μέση ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)	39
6.2.2	Μέση μηνιαία τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)	41
6.3	Αποτελέσματα Φεβρουαρίου – Ford	42
6.3.1	Μέση ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα).....	42
6.3.2	Μέση μηνιαία τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα).....	44
6.4	Αποτελέσματα Μαρτίου – Ford	45
6.4.1	Μέση ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)	45
6.4.2	Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)	47
6.5	Αποτελέσματα Απριλίου– Ford.....	48
6.5.1	Μέση ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα).....	48
6.5.2	Μέση μηνιαία τιμή Απριλίου (2-λεπτα).....	50
6.6	Αποτελέσματα – Ford.....	51
6.6.1	Διακόμανση	51
6.6.2	Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα).....	53
6.6.3	Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα).....	54
6.7	Αποτελέσματα Νοεμβρίου – Subaru	55
6.7.1	Μέση ημερήσια τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα).....	55
6.7.2	Μέση μηνιαία τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα).....	57
6.7.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα).....	58
6.8	Αποτελέσματα Δεκεμβρίου – Subaru.....	60
6.8.1	Μέση ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα).....	60
6.8.2	Μέση μηνιαία τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα).....	62
6.8.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)	63
6.9	Αποτελέσματα Ιανουαρίου – Subaru	65
6.9.1	Μέση ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)	65

6.9.2	Μέση μηνιαία τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)	67
6.9.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα).....	68
6.10	Αποτελέσματα Φεβρουαρίου – Subaru	70
6.10.1	Μέση ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα).....	70
6.10.2	Μέση μηνιαία τιμή Φεβρουαρίου.....	72
6.10.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα)	73
6.11	Αποτελέσματα Μαρτίου – Subaru.....	75
6.11.1	Μέση ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)	75
6.11.2	Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)	77
6.11.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα).....	78
6.12	Αποτελέσματα Απριλίου – Subaru.....	80
6.12.1	Μέση ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα)	80
6.12.2	Μέση μηνιαία τιμή Απριλίου (2-λεπτα).....	82
6.12.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα)	83
6.13	Αποτελέσματα Μαΐου – Subaru.....	85
6.13.1	Μέση ημερήσια τιμή Μαΐου (2-λεπτα)	85
6.13.2	Μέση μηνιαία τιμή Μαΐου (2-λεπτα).....	87
6.13.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Μαΐου (2-λεπτα)	88
6.14	Αποτελέσματα Ιουνίου – Subaru	90
6.14.1	Μέση ημερήσια τιμή Ιουνίου (2-λεπτα).....	90
6.14.2	Μέση μηνιαία τιμή Ιουνίου (2-λεπτα)	92
6.14.3	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Ιουνίου (2-λεπτα)	93
6.15	Αποτελέσματα – Subaru	95
6.15.1	Διακύμανση	95
6.15.2	Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα).....	97
6.15.3	Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα).....	100
6.15.4	Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα)	101
6.15.5	Σχέση Θερμοκρασίας – Συγκέντρωσης PM ₁₀	102
6.15.6	Σχέση Υγρασίας – Συγκέντρωσης PM ₁₀	103
7.	Κεφάλαιο 7 ^ο : Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις	104
7.1	Συμπεράσματα.....	104
7.2	Μελλοντικές προτάσεις.....	105
8.	Βιβλιογραφία.....	107
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	109
9.1	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Πίνακες μέσων ημερήσιων τιμών - Ford (2-λεπτα).....	109

9.2	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Πίνακες μέσων ημερήσιων τιμών - Subaru (2-λεπτα)	110
9.3	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Διακόμανση ρύπων (Ford)	113
9.4	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Διακόμανση ρύπων (Subaru)	116
9.5	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Απόσπασμα σημειώσεων ανά διαδρομή.	120

ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 6.1.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).....	36
Σχήμα 6.1.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).....	37
Σχήμα 6.1.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).....	37
Σχήμα 6.1.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).....	38
Σχήμα 6.2.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).....	39
Σχήμα 6.2.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).....	40
Σχήμα 6.2.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).....	40
Σχήμα 6.2.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).....	41
Σχήμα 6.3.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).....	42
Σχήμα 6.3.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).....	43
Σχήμα 6.3.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).....	43
Σχήμα 6.3.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).....	44
Σχήμα 6.4.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).....	45
Σχήμα 6.4.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).....	46
Σχήμα 6.4.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).....	46
Σχήμα 6.4.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).....	47
Σχήμα 6.5.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).....	48
Σχήμα 6.5.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).....	49
Σχήμα 6.5.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).....	49
Σχήμα 6.6.1.1: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_1 για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).....	51
Σχήμα 6.6.1.2: Διακύμανση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).....	52
Σχήμα 6.6.1.3: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).....	52

Σχήμα 6.6.2.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).....	53
Σχήμα 6.6.3.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).....	54
Σχήμα 6.7.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).	55
Σχήμα 6.7.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).	56
Σχήμα 6.7.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).	56
Σχήμα 6.7.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).	57
Σχήμα 6.7.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).....	58
Σχήμα 6.7.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).....	59
Σχήμα 6.7.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).	59
Σχήμα 6.8.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).	60
Σχήμα 6.8.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).	61
Σχήμα 6.8.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).	61
Σχήμα 6.8.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).	62
Σχήμα 6.8.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).....	63
Σχήμα 6.8.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).....	64
Σχήμα 6.8.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).	64
Σχήμα 6.9.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).....	65
Σχήμα 6.9.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).....	66
Σχήμα 6.9.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).....	66
Σχήμα 6.9.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).....	67
Σχήμα 6.9.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).	68
Σχήμα 6.9.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).	69

Σχήμα 6.13.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	86
Σχήμα 6.13.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	86
Σχήμα 6.13.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	87
Σχήμα 6.13.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	88
Σχήμα 6.13.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	89
Σχήμα 6.13.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).	89
Σχήμα 6.14.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	90
Σχήμα 6.14.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	91
Σχήμα 6.14.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	91
Σχήμα 6.14.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	92
Σχήμα 6.14.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	93
Σχήμα 6.14.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	94
Σχήμα 6.14.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).	94
Σχήμα 6.15.1.1: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_1 για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	95
Σχήμα 6.15.1.2: Διακύμανση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	96
Σχήμα 6.15.1.3: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	96
Σχήμα 6.15.2.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	97
Σχήμα 6.15.2.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	98
Σχήμα 6.15.2.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	98
Σχήμα 6.15.2.4: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	99
Σχήμα 6.15.3.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	100

Σχήμα 6.15.4.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).	101
Σχήμα 6.15.5.1: Σχέση θερμοκρασίας – Συγκέντρωσης PM_{10}	102
Σχήμα 6.15.6.1: Σχέση υγρασίας – Συγκέντρωσης PM_{10}	103

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1.1: Σύσταση της καθαρής ατμόσφαιρας (Ποσοστιαία) [1].....	2
Εικόνα 2.2.1: Πίνακας κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων [1].....	3
Εικόνα 2.2.2: Πυραμίδα επιπτώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης [1].	4
Εικόνα 2.3.1: Φωτοχημικό νέφος Σιγκαπούρης [5].	6
Εικόνα 3.2.1: Απεικόνιση φυσικών και ανθρωπογενών πηγών [10].....	10
Εικόνα 3.3.1: Κατηγορίες σωματιδίων [11].....	11
Εικόνα 5.2.1: PurpleAir Flex Air Quality Monitor [23].	23
Εικόνα 5.4.1: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Καμένα Βούρλα – Καρπενήσι (Δεκέμβριος 2022) [25].	25
Εικόνα 5.4.2: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Καρπενήσι – Λειανοκλάδι – Κονισκός - Πύλη Τρικάλων – Τρίκαλα – Μετέωρα – Σιάτιστα (Ιανουάριος 2023) [25].	26
Εικόνα 5.4.3: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Παραπουγκί (Φεβρουάριος 2023) [25].	26
Εικόνα 5.4.4: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Παραπουγκί Μεσσηνίας – Πύλος Μεσσηνίας – Καλαμάτα (Απρίλιος 2023) [25].	27
Εικόνα 5.4.5: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Κονισκός – Θεολόγος – Γέρακας (Φεβρουάριος 2023) [25].	27
Εικόνα 5.4.6: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Ακαδημία Αθηνών (Φεβρουάριος 2023) [26].	28
Εικόνα 5.4.7: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας - Αττική Οδός - Αιγάλεω (Απρίλιος 2023) [26].	28
Εικόνα 5.4.8: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – ΠΑΔΑ [26].	29
Εικόνα 5.4.9: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – Εξάρχεια [26].	30
Εικόνα 5.4.10: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – Μεταξουργείο [26].	30
Εικόνα 5.5.1: Στιγμιότυπο οθόνης ενός αρχείου υπό την αρχική μορφή «.csv».	31
Εικόνα 5.5.2: Στιγμιότυπο οθόνης ενός αρχείου μετά το 2 ^ο στάδιο επεξεργασίας. ...	31
Εικόνα 5.5.3: Μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) Μαρτίου, Βενζινοκίνητου οχήματος.	32
Εικόνα 5.5.4: Μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM ₁ , PM _{2.5} και PM ₁₀ , ενδεικτικά για τον μήνα Μάρτιο, για το βενζινοκίνητο όχημα.	33
Εικόνα 5.5.5: Μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM ₁ , PM _{2.5} και PM ₁₀ , ενδεικτικά για τον μήνα Μάρτιο, για το βενζινοκίνητο όχημα.	33
Εικόνα 5.5.6: Τρίτο στάδιο επεξεργασίας - Μέσες τιμές (2-λεπτα) Μαρτίου, ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.	33
Εικόνα 5.5.7: Μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM ₁ , PM _{2.5} και PM ₁₀ , ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.	34
Εικόνα 5.5.8: Μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM ₁ , PM _{2.5} και PM ₁₀ , ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.	35
Εικόνα 5.5.9: Στιγμιότυπο οθόνης αρχείου «.xlsx» - Μέρος των μέσων ημερήσιων τιμών (2-λεπτα) ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.	35
Εικόνα 9.5.1: Απόσπασμα σημειώσεων ανά διαδρομή, για το πετρελαιοκίνητο όχημα.	120

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.5.1: Οριακές τιμές - Προθεσμίες PM_{10} (Στάδιο 1 ^ο) [1].	15
Πίνακας 3.5.2: Οριακές τιμές - Προθεσμίες PM_{10} (Στάδιο 2 ^ο) [1].	15
Πίνακας 3.5.3: Οριακές τιμές – κατευθυντήριες γραμμές EU-WHO [4].	16
Πίνακας 3.6.1: Πρότυπα Euro ανά χρονολογία [18].	17
Πίνακας 9.1.1: Μέσες τιμές ημέρας - Ford (2-λεπτα).	109
Πίνακας 9.2.1: Μέσες τιμές ημέρας - Subaru (2-λεπτα).	110

1. Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ταυτίζεται απόλυτα με τον τίτλο της, δηλαδή, <<Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην καμπίνα ενός βενζινοκίνητου και ενός πετρελαιοκίνητου αυτοκινήτου>>. Για τον σκοπό αυτό, μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀, στο εσωτερικό δύο αυτοκινήτων, με τη βοήθεια ενός αισθητήρα της PurpleAir.

Αναλυτικότερα, το **δεύτερο κεφάλαιο**, είναι αφιερωμένο στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Γίνεται μία πρώτη προσέγγιση στο θέμα, αναλύοντας τόσο τους βασικούς ορισμούς (ατμοσφαιρική ρύπανση, ρύπος κτλ.), όσο και τις πηγές αλλά και τις επιπτώσεις του προβλήματος. Πραγματοποιείται επιπλέον μία σύντομη ιστορική αναδρομή και τέλος γίνεται μία αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που σχετίζεται με την αντιμετώπιση, την ρύθμιση και τον περιορισμό του φαινομένου.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, δίνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, για τα αιωρούμενα σωματίδια, γνωστά ως PM_x. Το κεφάλαιο, ακολουθεί παρόμοια δομή με το δεύτερο κεφάλαιο και αποτελείται από 5 βασικές υποενότητες. Περιλαμβάνει αρχικά μία μικρή εισαγωγή με γενικές πληροφορίες σχετικά με τον ρύπο και στην συνέχεια ακολουθούν οι πηγές, οι κατηγορίες, οι επιπτώσεις και το νομοθετικό πλαίσιο των αιωρούμενων σωματιδίων.

Ένας εξαιρετικά υψηλός αριθμός μελετών, μας αποδεικνύει πόσο σημαντική είναι η βραχυπρόθεσμη έκθεση του ανθρώπου σε αιωρούμενα σωματίδια. Για τον λόγο αυτό το **τέταρτο κεφάλαιο** είναι αφιερωμένο σε παρόμοιες μελέτες που έχουν διεξαχθεί ανά καιρούς.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** αναλύεται τόσο η μεθοδολογία συλλογής των δεδομένων-μετρήσεων, όσο και η επεξεργασία και η ανάλυση τους. Παρουσιάζονται ακόμη, οι περιοχές μελέτης για το κάθε ιδιωτικό όχημα και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τα όργανα μέτρησης.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα και πραγματοποιείται μία σύντομη συζήτηση, με σκοπό να εξαχθούν τελικά τα ανάλογα συμπεράσματα στο **έβδομο κεφάλαιο**, στο οποίο προτείνονται και κάποιες μελλοντικές προτάσεις, για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

2. Κεφάλαιο 2^ο: Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

2.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Το αέριο μίγμα που περιβάλλει τη γη καλείται ατμόσφαιρα. Ο καθαρός αέρας, η καθαρή δηλαδή ατμόσφαιρα, μπορεί να γίνει αισθητή με έναν και μοναδικό τρόπο, την κίνηση της, καθώς είναι άοσμη, άγευστη και άχρωμη. Μέχρι και σήμερα γνωρίζουμε την σχεδόν σταθερή σύσταση της (**Εικόνα 2.1.1**), από την επιφάνεια μέχρι και ένα ύψος που φτάνει τα 90-100 km περίπου [1].

Συστατικό	Σύμβολο	% κ.ο
Αζωτο	N ₂	78.09
Οξυγόνο	O ₂	20.94
Αργό	Ar	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0.032
Νέο	Ne	0.0018
Ήλιο	He	0.00052
Μεθάνιο	CH ₄	0.00015
Κρυπτό	Kr	0.0001
Υποξείδιο του αζώτου	N ₂ O	0.00005
Υδρογόνο	H ₂	0.00005
Ξένο	Xe	0.000008
Οζόν	O ₃	(0.01-0.04) 10 ⁻⁴

Εικόνα 2.1.1: Σύσταση της καθαρής ατμόσφαιρας (Ποσοστιαία) [1].

Η ατμοσφαιρική ρύπανση εμφανίζεται στη βιβλιογραφία με πολλούς διαφορετικούς τρόπους και ορισμούς. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (Υ.Π.Ε.Ν.) ως ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται << Η παρουσία κάθε είδους ουσίας στην ατμόσφαιρα σε τέτοια συγκέντρωση ή για τέτοιο χρονικό διάστημα, που να την καθιστά ικανή να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία και στους ζωντανούς οργανισμούς όσο και στα οικοσυστήματα, αλλά και να κάνει το περιβάλλον ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση>> [2]. Αντίστοιχα, κάθε είδους ουσία ή θόρυβος ή ακτινοβολία ή γενικότερα κάποια άλλη μορφή ενέργειας, με βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις σε ζωντανούς οργανισμούς αλλά και κατασκευές καλείται ρύπος [3].

2.2 Πηγες - επιπτώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ανάλογα με τον τρόπο που έχουν σχηματιστεί, συνηθίζεται να χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους πρωτογενείς και τους δευτερογενείς. Πρωτογενείς καλούνται οι ρύποι που σχηματίζονται και στην συνέχεια εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από την πηγή τους (Υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του Αζώτου, αιωρούμενα σωματίδια, καπνός κλπ.), ενώ οι δευτερογενείς

είναι εκείνοι που σχηματίζονται μετά από μία σειρά από χημικές αντιδράσεις ή ως προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών ρύπων, με την συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας (Οζόν, Αλδεΐδες, κετόνες κλπ) [1,3].

Οι πηγές των ρύπων μπορεί να είναι είτε φυσικές, είτε ανθρωπογενείς. Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται αυτοί που προέρχονται από το έδαφος, τις πυρκαγιές τα ηφαίστεια, τους ωκεανούς και τις βιολογικές αποσυνθέσεις ζώων και φυτών. Στην δεύτερη ανήκουν όσοι προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι η παραγωγή ενέργειας, η θέρμανση, η βιομηχανία, τα μεγάλης κλίμακας ατυχήματα και οι μεταφορές [3]. Οι ρύποι που είναι γνωστοί και απασχολούν έντονα την επιστημονική κοινότητα μέχρι και σήμερα, φαίνονται αναλυτικά στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 2.2.1**) [1]:

CO	Μονοξείδιο του άνθρακα
Pb	Μόλυβδος
NO ₂ , NO _x	Διοξείδιο του αζώτου Οξείδια του αζώτου
O ₃	Οζόν
TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Αιωρούμενα σωματίδια (ολικά, αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm, αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm)
SO ₂ , SO _x	Διοξείδιο του θείου Οξείδια του θείου
CFCs	Χλωροφθοράνθρακες
CH ₄	Μεθάνιο
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
HFCs	Πολύ-φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες
N ₂ O	Υποξείδιο του αζώτου
PFCs	Υπερφθοροϋδρογονάνθρακες
VOCs	Πτητικές ασταθείς οργανικές ενώσεις

Εικόνα 2.2.1: Πίνακας κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων [1].

Μεγαλύτερη βαρύτητα ωστόσο (από την επιστημονική κοινότητα) δίνεται στο διοξείδιο του Θείου (SO₂), στο Όζον (O₃), στο Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO), στο Βενζόλιο (C₆H₆), στο διοξείδιο του Αζώτου (NO₂), στον Μόλυβδο (Pb) και στα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM_x) [2].

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας (World Health Organization - W.H.O) ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού του πλανήτη μας, σχεδόν το 99% αυτού, εισπνέει καθημερινά αέρα, ο οποίος δεν συμμορφώνεται με τις κατευθυντήριες οδηγίες που ο ίδιος έχει θέσει. Περιέχει δηλαδή, σημαντικά υψηλά ποσοστά ρύπων [4].

Αξίζει λοιπόν στο σημείο αυτό να αναφερθεί, ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση απειλεί καθημερινά την ανθρώπινη υγεία και το κλίμα (**Εικόνα 2.2.2**). Έχει αποδειχθεί ότι είναι υπεύθυνη τόσο για αρκετές καρδιακές και αναπνευστικές παθήσεις, όσο για εγκεφαλικά επεισόδια και καρκίνο του πνεύμονα. Ο W.H.O έχει υπολογίσει ότι έχουμε περίπου 7 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. [4] Εξίσου σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις στην πανίδα. Έχει επιβεβαιωθεί επίσης, ότι η μείωση ή και εξαφάνιση

κάποιων ζώων και πουλιών, συνδέεται έντονα με το φαινόμενο. Επιπτώσεις έχουμε και στην γλωρίδα, καθώς η έκθεση της βλάστησης σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων οδηγεί άμεσα ή μακροπρόθεσμα στην καταστροφή της. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι πιο σημαντικές επιπτώσεις σχετίζονται με τις κλιματολογικές συνθήκες. Η αυξημένη ρύπανση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των βροχοπτώσεων, πυκνές ομίχλες, καταγίδες, χαλάζι, αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας που επικρατεί σε μία περιοχή κλπ. [5].



Εικόνα 2.2.2: Πυραμίδα επιπτώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης [1].

2.3 Ιστορική αναδρομή φαινομένου

Το φαινόμενο της αέριας ρύπανσης αποτελεί ένα μείζον πρόβλημα, με μία ιστορία εκατοντάδων αιώνων, από την οποία μπορούμε να εξάγουμε πολλά σημαντικά συμπεράσματα. Είναι άλλωστε φανερό το πόσα μπορεί να μας διδάξει το παρελθόν [5].

Οι δυσάρεστες οσμές, που μπορεί να προερχόταν από φυτά, από ζώα αλλά και από τα ανθρώπινα απορρίμματα είχαν ως αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα να γίνεται αποπνικτική. Όλο αυτό αποτέλεσε αιτία υιοθέτησης του νομαδικού τρόπου ζωής, των πρώτων φυλών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, μίας τέτοιας αιτίας, αποτελεί η φωτιά, η οποία για πολλά χρόνια (χιλιάδες) χρησιμοποιήθηκε λάθος, με αποτέλεσμα η ατελής καύση να οδηγήσει στην παραγωγή επιπλέον ρύπων (Οσμές και παράγωγα ατελής καύσης). Στην αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου συνέβαλε αργότερα η ανακάλυψη της καμινάδας, ο ρόλος της οποίας ήταν ουσιαστικά να απομακρύνει τις οσμές και τα προϊόντα καύσης από τους εσωτερικούς χώρους μόνο. Το πρόβλημα λοιπόν συνέχισε να υφίσταται σε εξωτερικούς χώρους [5].

Γενικότερα υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός αναφορών για τέτοιες καταστάσεις από πολύ παλιά. Οι πρώτες αναφορές έγιναν από τον πατέρα της Ιατρικής, τον Ιπποκράτη, τον 4^ο αιώνα π.Χ. Ήταν ο πρώτος λοιπόν που κατάφερε να συσχετίσει τις καιρικές συνθήκες με τα επιδημικά φαινόμενα. Ταυτόχρονα, περιέγραψε την επίδραση της γεωγραφίας και του κλίματος μίας περιοχής, στην ατμοσφαιρική ρύπανση [6]. Στην συνέχεια η ιατρική κοινότητα, της Ιατρικής σχολής της Αλεξάνδρειας, ήταν εκείνη που αποφάσισε να διερευνήσει περαιτέρω και να εμπλουτίσει τις πληροφορίες αυτές. Πιο συγκεκριμένα ο Βιτρούβιος ήταν αυτός που περιέγραψε πιο αναλυτικά τον ορθό προσανατολισμό των κτηρίων, των δρόμων και συνολικά των πόλεων [7].

Η έντονη βρωμιά και οι αποπνικτικές οσμές από τις καπνοδόχους οδήγησαν τον Ρωμαίο φιλόσοφο Σενέκα, να περιγράψει με έντονη απέχθεια την κατάσταση στη Ρώμη [5].

Αρκετούς αιώνες αργότερα, κατά τον Μεσαίωνα (1157 μ.Χ.), κάνει την εμφάνιση της, η σύζυγος του Ερρίκου II (Βασιλιά της Αγγλίας). Έντονα ενοχλημένη από τη ρύπανση που προκαλούσε η ατελής καύση της ξυλείας αποφάσισε να λάβει κάποια μέτρα, μετακινώντας το κάστρο του Νοτινχαμ. Ύστερα από ένα διάστημα 116 χρόνων, η έντονη ρύπανση που επικρατούσε στο Λονδίνο ανάγκασε τον Βασιλιά της Αγγλίας Κάρολο II, να εκδώσει την πρώτη οδηγία σχετική με τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης, σύμφωνα με την οποία απαγορεύτηκε η καύση του άνθρακα [6]. Ο John Evelyn ήταν αυτός που το 1661 υπέβαλε προς τον βασιλιά και το κοινοβούλιο ένα φυλλάδιο με τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες από τις προτάσεις εφαρμόζονται μέχρι και σήμερα [5].

Την εποχή εκείνη η μεταλλουργία, τα κεραμικά αλλά και η συντήρηση των ζωικών προϊόντων, ήταν οι πρώτες βιομηχανίες, πριν την βιομηχανική επανάσταση, που συνδέθηκαν με το πρόβλημα.

Φτάνοντας λοιπόν στην εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, μπορούμε εύκολα να πούμε ότι αποτέλεσε ορόσημο για το πρόβλημα. Τον 18^ο αιώνα παρατηρήθηκε μία έντονη αύξηση της χρήσης του κάρβουνου και του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, από την παραγωγή καπνού και στάχτης [7]. Τον 19^ο αιώνα λοιπόν φαίνεται ότι ο καπνός και η στάχτη που προερχόταν από την καύση του πετρελαίου ή του κάρβουνου, σε φούρνους, καυστήρες, πλοία, τρένα, οικιακές εστίες θέρμανσης και σταθμούς παραγωγής ενέργειας, αποτελεί κύρια πηγή της αέριας ρύπανσης [6].

Τον 19^ο αιώνα στην Αγγλία παρουσιάστηκε τόσο έντονο πρόβλημα εξαιτίας του καπνού και της ιπτάμενης τέφρας, που οδήγησε την μεγάλη Βρετανία να λάβει τα πρώτα μέτρα. Η συνεχόμενη πίεση από το κοινοβούλιο, που υπήρχε μέχρι το 1819 είχε ως αποτέλεσμα την αντίδραση του, το 1845, επιβάλλοντας με διάφορους τρόπους τον έλεγχο του καπνού που προερχόταν από τους κινητήρες και τους φούρνους [5]. Όλα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα την επιβολή στρατηγικών και μέτρων για τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης, όπως φαίνεται και από την πρώτη Δράση Δημόσιας Υγείας το 1848 αλλά και από αυτές που ακολούθησαν το 1866 και το 1875.

Παράλληλα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στις βιομηχανίες, ενώ η μείωση του καπνού αποτέλεσε εθνική ευθύνη. Το 1880 επιβλήθηκαν οι πρώτοι νόμοι για την μείωση των εκπομπών της ιπτάμενης τέφρας και του καπνού που προερχόταν κυρίως από βιομηχανίες, κινητές και ναυτιλιακές [1,2].

Με την έναρξη του 20^{ου} αιώνα σημειώθηκαν οι πρώτες αλλαγές στην τεχνολογία. Το 1900-1925 έχουμε την αντικατάσταση της ατμομηχανής από τον ηλεκτροκινητήρα, ο ρόλος του οποίου ήταν να μεταφέρει τις εκπομπές που προκύπταν από τον καυστήρα του εργοστασίου, στον καυστήρα του σταθμού παραγωγής ενέργειας. Παράλληλα η συνεχής ανάπτυξη των πόλεων αλλά και των εργοστασίων, οδηγούσε στην συνεχή αύξηση της αέριας ρύπανσης [6]. Την ίδια εποχή ο Dr. Henry Antoine Des Voeux έκανε ξεκάθαρο το πόσο έντονο ήταν το πρόβλημα, αφού σε άρθρο του, δήλωσε πως οποιοσδήποτε, ανεξάρτητα από τις επιστημονικές του γνώσεις μπορούσε να αντιληφθεί την ομίχλη από τον καπνό στις μεγαλύτερες σε πληθυσμό πόλεις [7].

Την εποχή εκείνη, σημαντικός παράγοντας για την μείωση της ιπτάμενης τέφρας αποτέλεσε η χρήση του πετρελαίου έναντι του κάρβουνου. Το αυτοκίνητο ήταν αυτό που χαρακτηρίστηκε ως η μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή ρύπανσης και συνεχίζει να χαρακτηρίζεται μέχρι και σήμερα. Η τεράστια αύξηση των οχημάτων, ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις έκανε ακόμη πιο έντονο το πρόβλημα.

Από το 1925 έως και το 1950 έχουν καταγραφεί σημαντικά υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης, με σημαντικές επιπτώσεις. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το επεισόδιο στο Meuse Valley του Βελγίου (1930) στο οποίο καταγράφηκαν 63 θάνατοι και το επεισόδιο στην Donora της Πενσυλβάνια με 20 θανάτους. Εξίσου σημαντική ήταν και η εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους το 1940 στο Λος Άντζελες, το οποίο έχει φτάσει και σε άλλες μεγαλουπόλεις, όπως και στην Αθήνα. Στην **Εικόνα 2.3.1** απεικονίζεται το φυτοχημικό νέφος στη Σιγκαπούρη.



Εικόνα 2.3.1: Φωτοχημικό νέφος Σιγκαπούρης [5].

Η μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω αγωγών αποτέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα τεχνολογικά επιτεύγματα, καθώς κατείχε πρωταγωνιστικό ρόλο στην ραγδαία μείωση του κάρβουνου και του πετρελαίου, κάτι που οδήγησε σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Παραδειγματική ήταν και η μείωση του μαύρου νέφους σε δύο περιοχές. Στο Pittsburgh και στο St. Louis.

Λίγο αργότερα (1950-1980) συνεχίζουν να εμφανίζονται σημαντικά επεισόδια στο χώρο της αέριας ρύπανσης. Το 1952 καταγράφηκαν 4000 θάνατοι στο Λονδίνο εξαιτίας ενός κρίσιμου επεισοδίου καπνομίχλης. Το γεγονός αυτό οδήγησε μελλοντικά (1956) στην ψήφιση ενός νόμου, γνωστού ως Clean Air Act [8,9].

Την ίδια περίοδο, οι μεγάλες επιπτώσεις του προβλήματος ενθάρρυναν, ένα μεγάλο αριθμό των Ευρωπαίων, όπως και την Νέα Ζηλανδία, την Αυστραλία και την Ιαπωνία να λάβουν δραστικά μέτρα και να θεσπίσουν εθνικές νομοθεσίες για τον έλεγχο της ρύπανσης. Εντυπωσιακό παραμένει το γεγονός της συνεχούς αύξησης των αυτοκινήτων την περίοδο αυτή [5].

Κατά την διάρκεια των τριών δεκαετιών σημειώθηκε σημαντική αύξηση της επιστημονικής και τεχνολογικής κοινότητας στην Ευρώπη και την Αμερική. Επίκεντρο των ερευνητών ήταν η αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης που προερχόταν κυρίως από τα αμάξια, ο έλεγχος της ρύπανσης που προκαλούσε το SO₂ (μέσω αποθείωσης των καυσίμων) και η διαχείριση των παραγόμενων NO_x ως αποτέλεσμα ορισμένων διαδικασιών καύσης [6,7]. Εργαλεία για τον σκοπό αυτό αποτέλεσαν διάφορα μαθηματικά μοντέλα και όργανα μέτρησης χημικών στοιχείων, τα οποία αναπτύχθηκαν από τους ίδιους τους επιστήμονες, σε συνδυασμό με τα πρώτα συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα που εγκαταστάθηκαν.

Φτάνοντας στο εγγύς παρελθόν, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μόλις τότε έγινε αντιληπτό ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελεί ένα πρόβλημα τοπικής κλίμακας. Άρχισαν λοιπόν στο σημείο αυτό να εμφανίζονται δράσεις ημισφαιρικής αλλά και παγκόσμιας κλίμακας. Έτσι δόθηκε μεγάλη βαρύτητα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, στην μεταφορά της ρύπανσης σε σημαντικά μεγάλες αποστάσεις και στην όξινη βροχή [6,7]. Επιπλέον έχουμε χρονικά την πρώτη οικολογική και περιβαλλοντική προσέγγιση από Κυβερνήσεις κρατών και Οργανισμούς με δια υπογραφών συμφωνίες. Ισχυρό παραδείγματα τέτοιων συμφωνιών, γνωστά σε όλους μας, αποτελούν το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (Ιούλιος, 1987) και 10 χρόνια αργότερα και το Πρωτόκολλο του Κιότο (Δεκέμβριος, 1997). Το πρώτο αφορά την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, ενώ το δεύτερο την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου [7].

2.4 Νομοθετικό πλαίσιο για την ποιότητα της ατμόσφαιρας

Σύμφωνα με το υπουργείο περιβάλλοντος, έχει τεθεί στην χώρα μας μία σειρά από όρια και στόχους, με βάση τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που αφορούν τους βασικότερους ρύπους (Αιωρούμενα σωματίδια, κάδμιο, νικέλιο, βενζόλιο,

μονοξείδιο του άνθρακα κτλ). Το περιεχόμενο της σχετικής νομοθεσίας αφορά κυρίως τα όρια και τα μέτρα για την προστασία των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης υγείας. Η σχετική νομοθεσία για την ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι η εξής [2]:

- ✓ **Οδηγία 2008/50/ΕΚ:** Αφορά κυρίως τον πιο καθαρό αέρα και την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα της Ευρώπης (ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11).
- ✓ **Οδηγία 2004/107/ΕΚ:** Σχετίζεται κυρίως με την εμφάνιση στοιχείων και ενώσεως όπως είναι το κάδμιο, το νικέλιο, το αρσενικό και οι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).
- ✓ **Οδηγία 2015/1480/ΕΚ:** Αφορά την τροποποίηση συγκεκριμένων παραρτημάτων που βρίσκονται στις οδηγίες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (2004/107/ΕΚ, 2008/50/ΕΚ).
- ✓ **ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272Β/23.12.13):** Περιλαμβάνει βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης που αφορούν την αντιμετώπιση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, από τα αιωρούμενα σωματίδια.
- ✓ **Κ.Υ.Α 11824 (ΦΕΚ 369Β/24.5.93):** Περιλαμβάνει κάποια έκτακτα μέτρα που σχετίζονται με την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πρωτεύουσα, έπειτα από τροποποίηση της με την ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11.

3. Κεφάλαιο 3^ο: Αιωρούμενα Σωματίδια - ΑΣ

3.1 Γενικά

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια (**SPM - Suspended Particulate Matter**), αναφερόμαστε στα υγρά και στα στερεά σώματα (Εξαιρέση αποτελεί το νερό), τα οποία εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα σε διασπορά, με αεροδυναμική διάμετρο που κυμαίνεται από 0,0002 μm έως και 500 μm [1]. Πρόκειται ουσιαστικά για τεμάχια ύλης με ποικιλία στη μορφή, τη χημική σύσταση και στο μέγεθος τους [10].

Τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ (αεροδυναμική διάμετρος μέχρι 10 μm) αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους ρύπους που μας απασχολούν. Πρόκειται ουσιαστικά για στερεά ή και υγρά σώματα, με ακανόνιστο σχήμα, πάνω στα οποία έχει παρατηρηθεί ότι επικάθονται άλλες χημικές ουσίες (αποτελούν δηλαδή μίγμα ρύπων), οι οποίες με την επίδραση της υγρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας αντιδρούν δημιουργώντας ένα πλήθος άγνωστων τοξικών ενώσεων. Φαίνεται λοιπόν ότι δεν αποτελούν έναν ενιαίο ρύπο, αλλά ένα μίγμα ρύπων. Βασική διαφορά των σωματιδίων από τους υπόλοιπους ρύπους είναι ότι έχουν μία πολύπλοκη σύνθεση, με αποτέλεσμα να μην γνωρίζουμε κάθε φορά ποιοτικά τι έχουμε να αντιμετωπίσουμε, παρά μόνον ποσοτικά [1].

Η ιπτάμενη τέφρα, ο καπνός και η σκόνη αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα. Κάποια από αυτά μπορούν να γίνουν εύκολα αντιληπτά, εξαιτίας του χρώματος και του μεγέθους τους, με γυμνό μάτι. Σε άλλες περιπτώσεις, το εξαιρετικά μικρό τους μέγεθος οδηγεί στην ανάγκη χρήσης μέχρι και ειδικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου [1,11].

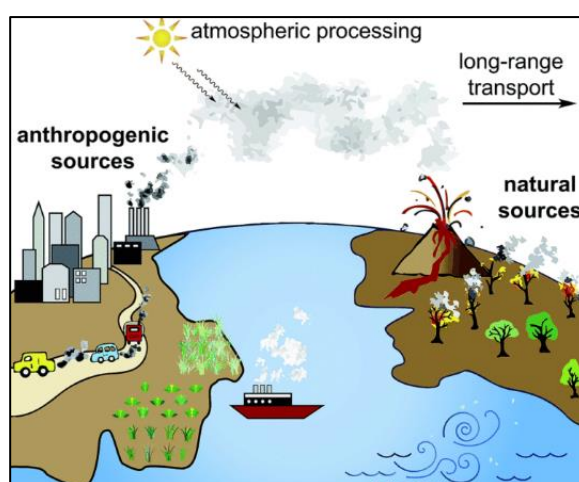
Εξαιτίας του ακανόνιστου σχήματος των σωματιδίων, η μελέτη τους καθίσταται εξαιρετικά περίπλοκη. Πραγματοποιείται λοιπόν μελέτη χωρίς να γίνεται κάποια διαφοροποίηση των σωματιδίων ως προς το μέγεθος τους. Για τον σκοπό αυτό θεωρήθηκε ένα σφαιρικό σωματίδιο με πυκνότητα 1 g/cm³ (ίδια με του νερού) το οποίο καθιζάνει στην ατμόσφαιρα με την ίδια ταχύτητα με την οποία καθιζάνει κατά μέσο όρο και ένα σωματίδιο. Την διάμετρο του σωματιδίου αυτού την ονομάσαμε αεροδυναμική διάμετρο [1].

Μια βασική ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί η οπτική τους συμπεριφορά, δηλαδή η ελάττωση της ορατότητας και της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη. Ανάλογα με το μέγεθός τους και τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, διαθλούν, περιθλούν, διαχέουν ή ακόμα και αποκόπτουν το φως [1].

3.2 Πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων

Οι δύο μεγάλες κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα αιωρούμενα σωματίδια, ανάλογα με την προέλευση τους, είναι οι φυσικές και οι ανθρωπογενείς πηγές (**Εικόνα 3.2.1**). Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται αρχικά η επιφάνεια των

ωκεανών, εξαιτίας της μεταφοράς σταγονιδίων νερού με άλατα, μέσω της επίδρασης του αέρα (ανέμου). Επιπλέον συμπεριλαμβάνονται, τόσο η επιφάνεια της γης, καθώς μεταφέρονται μέσω των ανέμων σκόνης, όσο και οι ηφαιστειακές εκρήξεις που εκλύουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων, με μέγεθος τέτοιο που μπορεί να διαταράξει το περιβάλλον σε μεγάλες αποστάσεις. Ακόμη, συμπεριλαμβάνονται οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες απελευθερώνουν ρύπους με την μορφή καπνού και ιπτάμενης τέφρας. Τέλος στην ίδια ομάδα ανήκουν η γύρη και οι σπόροι των μυκήτων. Στην δεύτερη ομάδα περιλαμβάνονται κυρίως οι εκπομπές που προκύπτουν από τη βιομηχανική δραστηριότητα. Παραδείγματα αποτελούν, η καύση του λιγνίτη, που αποσκοπεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η μεταλλουργία, η παραγωγή τσιμέντου, η καύση στερεών αποβλήτων και τέλος η κίνηση των οχημάτων [11].



Εικόνα 3.2.1: Απεικόνιση φυσικών και ανθρωπογενών πηγών [10].

Όπως ήδη έχει αναφερθεί τα οχήματα αποτελούν μία από τις σημαντικότερες αιτίες ρύπανσης. Τόσο τα καυσαέρια των οχημάτων όσο και τα κατάλοιπα που προέρχονται από τη φθορά των ελαστικών τους, αποτελούν πρωταρχική πηγή για τα σωματίδια. Συγκρίνοντας τα οχήματα πετρελαίου με τα οχήματα βενζίνης, έχει παρατηρηθεί ότι τα πρώτα εκπέμπουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Ωστόσο αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της ύπαρξης ακόμη και σήμερα μη καταλυτικών βενζινοκίνητων οχημάτων, των οποίων οι εκπομπές είναι εξαιρετικά μεγάλες [7].

Μαζί με τα οχήματα πρωταγωνιστικό ρόλο στην ρύπανση της ατμόσφαιρας των πόλεων κατέχουν και οι βιομηχανίες. Το μέγεθος των σωματιδίων που εκπέμπουν κυμαίνεται από 0,5 έως 100 μm . Στις βιομηχανίες που γνωρίζουμε ότι εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες ανήκουν τα διυλιστήρια καυσίμων, οι βιομηχανίες παραγωγής χαρτιού, οι βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και οι χημικές και γεωργικές βιομηχανίες [7].

Η ρύπανση που προκαλείται από πυρκαγιές δασικών και γεωργικών εκτάσεων εξαρτάται από το μέγεθος της ίδιας της πυρκαγιάς. Η φωτιά μπορεί να είναι είτε μικρής κλίμακας με αποτέλεσμα να παραμένει ο καπνός για μικρό χρονικό διάστημα

στην ατμόσφαιρα, είτε μεγάλης κλίμακας. Στην περίπτωση αυτή η ρύπανση είναι εξαιρετικά έντονη αφού το υλικό της καύσης που δημιουργείται περιέχει στοιχειακό άνθρακα, οργανική ύλη και ανόργανα υλικά, με μέγεθος μικρότερο των 10 μm , που έχει ως αποτέλεσμα η αιώρηση να είναι εξαιρετικά εύκολη. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν πόσο μεγαλύτερη είναι η επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού αέρα [7].

3.3 Κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων

3.3.1 Μηχανισμός σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων

Με βάση τον μηχανισμό σχηματισμού διακρίνουμε δύο μεγάλες ομάδες. Έχουμε λοιπόν τα πρωτογενή και τα δευτερογενή σωματίδια [11].

Τα πρωτογενή είναι εκείνα που εκλύονται είτε άμεσα από την πηγή τους, είτε από φυσικές διεργασίες, δηλαδή πυρκαγιές και σκόνες, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως είναι για παράδειγμα τα οχήματα και οι γεωργικές δραστηριότητες. Τα δευτερογενή είναι αυτά που σχηματίζονται μέσω μίας σειράς χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα στις οποίες λαμβάνουν μέρος [11,12]:

- ✓ Αέρια όπως είναι το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, και οι υδρατμοί
- ✓ Αντιδρώντα μόρια (Οζόν και ελεύθερες ρίζες)
- ✓ Ρύποι όπως τα διοξειδία του αζώτου, τα οξειδία του θείου και τα οργανικά αέρια (VOCs) [11].

		Κατηγορία Σωματιδίων
ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ		
Πρωτογενή Σωματίδια		
	Σκόνη από Έδαφος	Χονδρά Σωματίδια
	Υδροσταγονίδια	Χονδρά Σωματίδια
	Σκόνη από Ηφαίστειο	Χονδρά Σωματίδια
	Βιολογικό Υλικό	Χονδρά Σωματίδια
Δευτερογενή Σωματίδια		
	Θειικά Άλατα από εκπομπές Ηφαιστίου SO ₂	Λεπτά Σωματίδια
	Νιτρικά Άλατα NO _x	Λεπτά Και Χονδρά Σωματίδια
	Οργανικά από Εκπομπές Βιογενών Οργανικών Πτητικών Ενώσεων VOC	Λεπτά Σωματίδια
ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ		
Πρωτογενή Σωματίδια		
	Βιομηχανική Σκόνη	Λεπτά και Χονδρά Σωματίδια
	Εκπομπές από Καύσεις	Λεπτά Σωματίδια
	Εκπομπές από Μεταφορές	Λεπτά Σωματίδια
Δευτερογενή Σωματίδια		
	Θειικά Άλατα από Εκπομπές SO ₂	Λεπτά Σωματίδια
	Νιτρικά Άλατα από NO _x	Χονδρά Σωματίδια
	Καύση Βιομάζας	Λεπτά Σωματίδια
	Οργανικά από Εκπομπές Πτητικών Οργανικών Πτητικών Ενώσεων VOC	Λεπτά Σωματίδια

Εικόνα 3.3.1: Κατηγορίες σωματιδίων [11].

3.3.2 Χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων

Γενικότερα η χημική σύσταση, όπως και η φύση των σωματιδίων εξαρτάται από την εποχή, τη τοποθεσία και τις μετεωρολογικές συνθήκες [1]. Δίνοντας βάση την κυρίαρχη χημική σύσταση, έχουμε ανόργανα και οργανικά αιωρούμενα σωματίδια. Τόσο τα ανόργανα όσο και τα οργανικά μπορεί να είναι πρωτογενή αλλά και δευτερογενή [11].

Στην κατηγορία των ανόργανων ανήκουν για παράδειγμα οι ιπτάμενες τέφρες, προερχόμενες από την καύση των ορυκτών καυσίμων και τα λεπτά σωματίδια, αποτελούμενα κυρίως από ιόντα [11].

Στην κατηγορία των οργανικών ανήκουν σωματίδια που κατά βάση περιέχουν μαύρο άνθρακα (στοιχειακό άνθρακα). Πρόκειται για σωματίδια που αποτελούνται από ένα σύνθετο μίγμα οργανικών ενώσεων, αποτελούμενα από ένα μεγάλο αριθμό ομάδων (Οξέα, αρωματικές ενώσεις κτλ) [11].

Τα πρωτογενή σωματίδια συνήθως συναντώνται με τον γενικότερο όρο sootcarbon, δηλαδή αιθάλη. Τα δευτερογενή με την σειρά τους προκύπτουν μέσα από διεργασίες μετατροπής ενός αερίου σε σωματίδιο από ενώσεις πρόδρομες, που είναι στην αέρια φάση [11].

Παραπάνω έγινε αναφορά στον όρο <<Μαύρος άνθρακας>>. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα συστατικό των αιρούμενων σωματιδίων, που προκύπτει από τη διαδικασία της ατελούς καύσης των ορυκτών καυσίμων (Παράδειγμα: καύση του άνθρακα). Ενώ λοιπόν με την τέλεια καύση ο άνθρακας μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε διοξείδιο του άνθρακα, η ατελής καύση οδηγεί επιπλέον στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα (CO), στοιχειακού άνθρακα (BC), σωματιδίων οργανικού άνθρακα (OC) και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) [11].

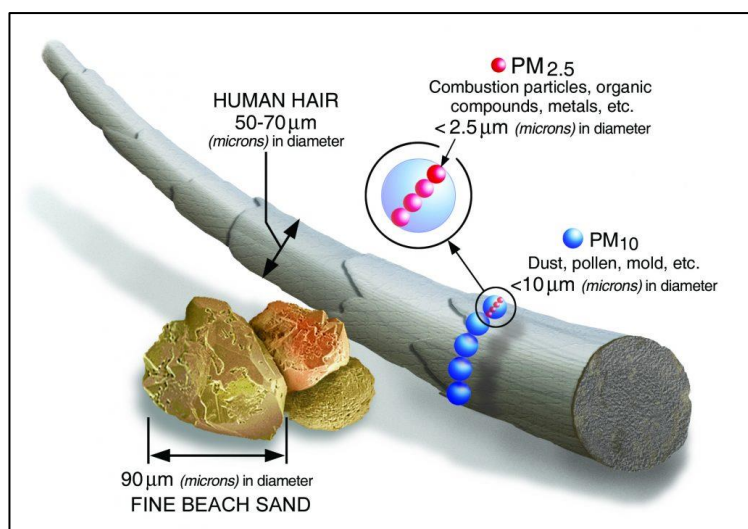
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας μεγάλος αριθμός σωματιδίων εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα από την πηγή τους. Υπάρχουν ωστόσο και περιπτώσεις αντίδρασης αερίων όπως είναι τα οξείδια του αζώτου ή το μονοξείδιο του άνθρακα ή τα VOCs, με άλλες ενώσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό λεπτόκοκκων σωματιδίων [1]. Με τον όρο VOCs αναφερόμαστε στις οργανικές πτητικές ενώσεις. Πρόκειται για μία ομάδα οργανικών ενώσεων με 1 έως 10 άτομα άνθρακα (Αλκάλια, αρωματικές ενώσεις κτλ) [13].

3.3.3 Μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων

Στην αρχή, η μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων γινόταν συνολικά, ως ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP – Total Suspended Particulate), χωρίς δηλαδή να δίνεται καμία σημασία στο μέγεθος τους. Στην συνέχεια, ως επακόλουθο της εξέλιξης της τεχνολογίας, το αρχικό αυτό μέτρο TSP, αντικαταστάθηκε από τα PM₁₀. Πρόκειται για τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο ίση ή μικρότερη

των 10 μm . Ακολούθησε έπειτα ένας ακόμη διαχωρισμός σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα [1].

Χονδρόκοκκα ονομάζονται τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο από 2.5 έως 10 μm , και λεπτόκοκκα αυτά που έχουν αεροδυναμική διάμετρο ίση ή μικρότερη από 2,5 μm [1]. Με τη σειρά τους τα λεπτόκοκκα χωρίζονται σε λεπτά και πολύ λεπτά. Στα λεπτά αιωρούμενα σωματίδια ανήκουν αυτά που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 1 μm και στα πολύ λεπτά αυτά που έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 0,1 μm περίπου [11].



Εικόνα 3.3.3: Μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων [9].

3.4 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία, είναι εξαιρετικά σημαντικές. Συνεπώς δεν μπορούν να αγνοηθούν. Οι παράγοντες που καθορίζουν τις επιπτώσεις αυτές είναι η χημική σύσταση, το μέγεθος και η παρουσία κάποιου άλλου ρύπου στην ατμόσφαιρα, με τον οποίο μπορούν να λειτουργήσουν συνεργατικά [1]. Έχουμε λοιπόν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά, το κλίμα, την ορατότητα κτλ [14,15].

3.4.1 Ανθρώπινη υγεία

Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, έχει αποδειχθεί ότι η μακροχρόνια ή βραχυχρόνια έκθεση μπορεί να επιφέρει μία σειρά από σημαντικά προβλήματα υγείας [4,16]. Παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων αποτελούν το άσθμα και γενικότερα τα αναπνευστικά προβλήματα, ο καρκίνος του πνεύμονα, τα καρδιαγγειακά προβλήματα ακόμη και ο πρόωρος θάνατος [16].

Έχει αποδειχθεί με τον καιρό ότι η εισπνοή των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει και σε παροδικές επιπτώσεις, όπως είναι η ναυτία, η απλή επιβάρυνση της αναπνοής ή ακόμη και ο ερεθισμός του δέρματος. Μπορεί επιπλέον να προκληθούν σε ακραίες περιπτώσεις γενετικές ανωμαλίες και αναπτυξιακές καθυστερήσεις σε παιδιά [14].

3.4.2 Φυτά

Οι κλιματολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με τους αέριους ρυπαντές επηρεάζουν σημαντικά την βλάστηση. Το τελικό αποτέλεσμα καθορίζεται από την αλληλεπίδραση διαφόρων παραγόντων (Ηλικία, είδος, υγρασία, ηλιοφάνεια, θρεπτική ισορροπία) [14].

Το υπουργείο υγείας των Η.Π.Α διακρίνει τις επιπτώσεις σε ζημιές και σε πλήγμα. Με τον όρο ζημιές αναφερόμαστε στην οικονομική απώλεια, ενώ με τον όρο πλήγμα στις αλλαγές που προκαλούνται στον ίδιο τον φυτικό οργανισμό. Η είσοδος στους φυτικούς οργανισμούς γίνεται είτε άμεσα, μέσω της αναπνοής, είτε έμμεσα, μέσω των ριζών. Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι ανεπαίσθητες μέχρι και ολικά καταστροφικές. Διακρίνονται επιπλέον σε ορατές (νέκρωση, κατάρρευση κτλ.) ή μη ορατές (μειωμένη ανάπτυξη, διαταραχές στην αναπαραγωγή κτλ.) [14].

3.4.3 Κλίμα

Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις στο κλίμα, καθώς μπορεί να επέλθει ψύξη ή θέρμανση της ατμόσφαιρας από την ανάκλαση την υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Ψύξη έχουμε όταν τα αιωρούμενα σωματίδια ανακλούν την εισερχόμενη υπεριώδη ακτινοβολία προς τη γη (μικρού μήκους κύματος) και θέρμανση όταν ανακλούν την εξερχόμενη υπεριώδη ακτινοβολία από τη γη (μεγάλου μήκους κύματος). Παράδειγμα της θέρμανσης αποτελεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου [14].

3.5 Νομοθετικό πλαίσιο για τα αιωρούμενα σωματίδια

Η πρώτη οδηγία που εκδόθηκε σχετικά με αιωρούμενα σωματίδια από την Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν το 1983 και το περιεχόμενο της σχετιζόταν με τις συγκεντρώσεις των TSP. Σύμφωνα με την οδηγία, η μέση ετήσια οριακή τιμή ήταν τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η αμέσως επόμενη οδηγία εκδόθηκε αρκετά χρόνια αργότερα το 1999, στην οποία δινότανε μεγάλη βάση στα PM_{10} . Αξίζει να σημειωθεί ότι ήταν σημαντικά πιο

αυστηρή αφού το αντίστοιχο όριο για την μέση ετήσια τιμή ήταν μόλις 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η ημερήσια οριακή τιμή ήταν 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Πλαίσιο της Ε.Ε. 96/62/EC και 2008/50/EC, έχουμε τις εξής οριακές τιμές για τα PM_{10} (Πίνακας 3.5.1, Πίνακας 3.5.2) [1].

Πίνακας 3.5.1: Οριακές τιμές - Προθεσμίες PM_{10} (Στάδιο 1^ο) [1].

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM_{10})			
<u>1^ο ΣΤΑΔΙΟ</u>			
Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50%) κατά την έναρξη ισχύος της οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κατόπιν ανά 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε τελικά να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1/1/2005
Ετήσια οριακή τιμή	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20%) κατά την έναρξη ισχύος της οδηγίας, μειούμενο από 1/1/2001 και κατόπιν ανά 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε τελικά να φτάσει το 0% την 1/1/2005	1/1/2005

Πίνακας 3.5.2: Οριακές τιμές - Προθεσμίες PM_{10} (Στάδιο 2^ο) [1].

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM_{10})			
<u>2^ο ΣΤΑΔΙΟ</u>			
Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
24ωρη οριακή τιμή	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του Σταδίου 1	1/1/2010
Ετήσια οριακή τιμή	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50%) την 1/1/2005 και κατόπιν ανά 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε τελικά να φτάσει το 0% την 1/1/2010	1/1/2010

Σύμφωνα με δύο οδηγίες της ΕΕ για την ποιότητα του αέρα (οδηγία 2008/50/ΕΚ και οδηγία 2004/107/ΕΚ) έχουν οριστεί ορισμένα όρια των συγκεντρώσεων τα οποία δεν πρέπει να υπερβαίνονται για ορισμένες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί κάποια υπέρβαση, οι αρχές καταρτίζουν και εφαρμόζουν κάποια σχέδια για την διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, που αποσκοπούν στη μείωση των συγκεντρώσεων σε επίπεδα κάτω από τις οριακές τιμές ή τις τιμές-στόχους.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά επιλεγμένα πρότυπα που έχει ορίσει η ΕΕ και κάποιες κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας [4].

Πίνακας 3.5.3: Οριακές τιμές – κατευθυντήριες γραμμές EU-WHO [4].

Pollutant	Averaging period	EU Air Quality Directives			WHO Air Quality Guidelines					
		Objective	Concentration	Comments	Concentration				AQG level	Comments
					1.	2.	3.	4.		
PM _{2.5}	24-hour	Target value			75	50	37,5	25	15 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
PM _{2.5}	Annual	Limit value	25 µg/m ³		35	25	15	10	5 µg/m ³	
PM _{2.5}	Annual	Indicative limit value	20 µg/m ³							
PM ₁₀	24-hour	Limit value	50 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 35 days/year	150	100	75	50	45 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
PM ₁₀	Annual	Limit value	40 µg/m ³		70	50	30	20	15 µg/m ³	
O ₃	Max. daily 8-hour mean	Target value	120 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 25 days/year (averaged over 3 years)						
O ₃	Max. daily 8-hour mean	Long-term objective	120 µg/m ³							
O ₃	8-hour	Target value			160	120	-	-	100 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
O ₃	Peak season ^a	Target value		100	70	-	-	60 µg/m ³		
NO ₂	Hourly	Limit value	200 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 18 hours/year					200 µg/m ³	
NO ₂	Annual	Limit value	40 µg/m ³		40	30	20	-	10 µg/m ³	
NO ₂	24-hour	Target value			120	50	-	-	25 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
SO ₂	Hourly	Limit value	350 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 24 hours/year						
SO ₂	24-hour	Limit value	125 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 3 days/year	125	50	-	-	40 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
CO	Max. daily 8-hour mean	Limit value	10 mg/m ³						10 mg/m ³	
CO	24-hour	Target value			7	-	-	-	4 mg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
C ₆ H ₆	Annual	Limit value	5 µg/m ³						1,7 µg/m ³	Reference level
BaP	Annual	Target value	1 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀						
Pb	Annual	Limit value	0,5 µg/m ³	Measured as content in PM ₁₀					0,5 µg/m ³	
As	Annual	Target value	6 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					6,6 ng/m ³	Reference level
Cd	Annual	Target value	5 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					5 ng/m ³	
Ni	Annual	Target value	20 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					25 ng/m ³	Reference level

3.6 Πετρελαιοκίνηση – Βενζινοκίνηση – Νομοθεσία - Εκπομπές Ρύπων

Εδώ και αρκετές δεκαετίες η ΕΕ, βασιζόμενη στις εκπομπές των ρύπων, έχει ορίσει ένα σύστημα αξιολόγησης των οχημάτων, την γνωστή σε όλους μας κατηγοριοποίηση Euro. Η ομαδοποίηση αυτή, ξεκίνησε το 1992 ως Euro 1 και έκανε υποχρεωτική την παρουσία του καταλυτικού μετατροπέα στα οχήματα. Πλέον έχουμε φτάσει στα Euro 6, με εξαιρετικά πιο αυστηρά όρια και αναμένουμε από το 2025 και μετά, την σειρά Euro 7 [17].

Πίνακας 3.6.1: Πρότυπα Euro ανά χρονολογία [18].

Πρότυπα Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων επιβατικών αυτοκινήτων								
Πρότυπο	Ημερομηνία ισχύος για εγκρίσεις τύπου	Ημερομηνία ισχύος για ταξινομήσεις	Ανώτατα όρια ρύπων (γρ./χλμ.)					
			CO	THC	NMHC	NOx	HC + NOx	PM
Κινητήρες Πετρελαίου								
Euro 1	Ιούλιος 1992	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	-	0,97	0,14
Euro 2	Ιανουάριος 1996	Ιανουάριος 1996	0,64	-	-	-	0,70	0,08
Euro 3	Ιανουάριος 2000	Ιανουάριος 2000	0,50	-	-	0,50	0,56	0,05
Euro 4	Ιανουάριος 2005	Ιανουάριος 2005	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	Ιανουάριος 2011	0,50	-	-	0,18	0,23	0,005
Euro 5b	Σεπτέμβριος 2011	Ιανουάριος 2013	0,50	-	-	0,18	0,23	0,0045
Euro 6b	Σεπτέμβριος 2014	Σεπτέμβριος 2015	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045
Euro 6c	-	Σεπτέμβριος 2018	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045
Euro 6d-TEMP	Σεπτέμβριος 2017	Σεπτέμβριος 2019	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045
Euro 6d	Ιανουάριος 2020	Ιανουάριος 2021	0,50	-	-	0,08	0,17	0,0045
Κινητήρες Βενζίνης								
Euro 1	Ιούλιος 1992	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	-	0,97	-
Euro 2	Ιανουάριος 1996	Ιανουάριος 1996	2,20	-	-	-	0,50	-
Euro 3	Ιανουάριος 2000	Ιανουάριος 2000	2,30	0,20	-	0,15	-	-
Euro 4	Ιανουάριος 2005	Ιανουάριος 2005	1,00	0,10	-	0,08	-	-
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	Ιανουάριος 2011	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,005*
Euro 5b	Σεπτέμβριος 2011	Ιανουάριος 2013	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045*
Euro 6b	Σεπτέμβριος 2014	Σεπτέμβριος 2015	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045*
Euro 6c	-	Σεπτέμβριος 2018	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045*
Euro 6d-TEMP	Σεπτέμβριος 2017	Σεπτέμβριος 2019	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045*
Euro 6d	Ιανουάριος 2020	Ιανουάριος 2021	1,00	0,10	0,068	0,06	-	0,0045*
*Μόνο για κινητήρες βενζίνης άμεσου ψεκασμού								

4. Κεφάλαιο 4^ο: Παρόμοιες μελέτες

Μετά από μία προσεκτική αναζήτηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας παρατηρήθηκε ότι έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς παρόμοιες μελέτες. Ο κάθε ερευνητής εξάγει τα ανάλογα συμπεράσματα, προσεγγίζοντας περιπτώσεις παρόμοιες με εκείνη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.1 Μελέτη πρώτη: **Characterizing in-cabin air quality and vehicular air filtering performance for passenger cars in China.**

Το πρώτο άρθρο έχει τίτλο <<**Characterizing in-cabin air quality and vehicular air filtering performance for passenger cars in China**>> και έχει συνταχθεί το 2023. Σύμφωνα με το άρθρο, η γρήγορη αύξηση του αριθμού των οχημάτων που κυκλοφορούν, απειλεί σοβαρά τόσο την ατμόσφαιρα όσο και την ανθρώπινη υγεία. Ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές τα οχήματα αποτελούν ίσως την βασικότερη πηγή ρύπανσης, καθώς ευθύνονται για εκπομπές οξειδίων του αζώτου και των μικρότερων σωματιδίων (PM_{2.5}). Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε περιοχές με μεγαλύτερη κυκλοφορία, είναι τουλάχιστον πολλαπλάσιες, κάτι που πιθανότατα να οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα έκθεσης στο εσωτερικό των οχημάτων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς του άρθρου, οι μελέτες που επικεντρώνονται στη μεταβολή των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό του οχήματος, οι οποίες συνδέουν παράλληλα την ρύπανση στο περιβάλλον εκτός της καμπίνας μαζί με την απόδοση των φίλτρων, κατά την διάρκεια πραγματικών ταξιδιών, είναι περιορισμένες [19].

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε μία μελέτη, στην οποία μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5 μm (PM_{2.5}). Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες χαμηλού κόστους και εξετάστηκαν περιπτώσεις με διαφορετικές συνθήκες [19].

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Οι δοκιμές κράτησαν τέσσερις μήνες (Μάιος -Αύγουστος 2020) και έλαβαν χώρα στο Πεκίνο. Στη μελέτη συμμετείχαν έντεκα οχήματα τα οποία αποτέλεσαν μία αντιπροσωπευτική εικόνα των επιβατικών οχημάτων που κυκλοφορούν στην Κίνα, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς του άρθρου. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αισθητήρες πραγματικού χρόνου, Plantower PMSA003. Επιπλέον για την συλλογή των GPS πληροφοριών χρησιμοποιήθηκε ο GNSS Hemisphere. Για την συλλογή των θερμικών δεδομένων και της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας, Sensirion SGT3x-LSS [19].

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, έδειξαν ότι παρόλο που οι συγκεντρώσεις των PM_{2.5}, εντός της καμπίνας του οχήματος επηρεάζονται από τα επίπεδα εκτός της καμπίνας, υπάρχει τελικά μεγαλύτερη επιρροή από τον τρόπο αερισμού του οχήματος και από το είδος της συσκευής φιλτραρίσματος που χρησιμοποιείται. Η μείωση των

επιπέδων PM_{2.5} μπορούσε να φτάσει το 44% για τα εν χρήση φίλτρα και το 77% για νέα φίλτρα, ενώ τα επίπεδα του CO₂ παρέμεναν σε ασφαλές επίπεδο, με την χρήση εξωτερικού αερισμού. Επιπλέον ένα υψηλής απόδοσης φίλτρο είναι ικανό να αυξήσει ακόμη περισσότερο τον περιορισμό των PM_{2.5}, φτάνοντας μία απόδοση φιλτραρίσματος της τάξης του 85-96% [19].

4.2 Μελέτη δεύτερη: In-car and Near-road Exposure to PM_{2.5} and BC.

Μία ακόμη μελέτη έλαβε χώρα στην πόλη Iksan, της Κορέας. Ο τίτλος της είναι <<In-car and Near-road Exposure to PM_{2.5} and BC>> και πραγματοποιήθηκε από τους Chang-Jin Ma και Gong-Unn Kang, τον Ιούνιο του 2020. Πρόκειται για μία μελέτη που αποσκοπούσε στον προσδιορισμό του ισοδύναμου ενεργού άνθρακα και των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5}, μέσα και έξω από την καμπίνα των οχημάτων, αλλά και κοντά στο οδόστρωμα. Επιπλέον, εκτιμήθηκε η προσωπική έκθεση τόσο του οδηγού όσο και των κατοίκων και των σχολικής ηλικίας παιδιών στους ρύπους αυτούς [20].

Πραγματοποιήθηκαν πέντε ανεξάρτητες μετρήσεις τον Μάιο του 2019, με τη βοήθεια οργάνων παρακολούθησης που είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό του οχήματος. Οι μετρήσεις λήφθηκαν τη στιγμή που οι μαθητές του δημοτικού και του γυμνασίου αποχωρούσαν από το σχολείο, καθώς έτσι υπήρχε η δυνατότητα παρακολούθησης της διαδρομής του λεωφορείου κατά τη διάρκεια της απογευματινής ώρας αιχμής. Κατά τη λήψη των μετρήσεων, τα παράθυρα του οχήματος ήταν κλειστά. Ο κλιματισμός και ο εξαερισμός ήταν απενεργοποιημένοι και οι συμμετέχοντες (δύο επιβάτες και ένας οδηγός) δεν κάπνιζαν στο εσωτερικό του αυτοκινήτου δοκιμής [20].

Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός αισθητήρας που καλείται AirBeam. Τα δεδομένα στη συνέχεια κοινοποιήθηκαν μέσω Bluetooth, σε μία εφαρμογή που ονομάζεται AirCasting Android. Για την συγκεκριμένη μελέτη λήφθηκαν μετρήσεις ανά 30 δευτερόλεπτα [20].

Από τα αποτελέσματα τους φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των PM_{2.5}, μέσα και έξω από την καμπίνα, είχαν τιμές από 29,4-47,4 μg/m³, με μέση τιμή 34,4 μg/m³ και 32,5-56,0 μg/m³ με μέση τιμή 45,6 μg/m³ αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Επιπλέον η αναλογία του ενεργού άνθρακα εντός/εκτός της καμπίνας, σε πολυσύχναστο δρόμο, κατά τη διάρκεια του ρελαντί, κυμαινόταν από 22% έως 86%. Η δόση PM_{2.5} στο εσωτερικό της καμπίνας για τα 30 δευτερόλεπτα της δοκιμαστικής διαδρομής κυμαινόταν από 166-240 ng με μία μέση τιμή της τάξης του 190,4 ng.

Για έναν μαθητή που φοιτούσε σε σχολείο κοντά στη στάση του λεωφορείου, αποδείχθηκε η εισπνεόμενη δόση PM_{2.5} μέσα στο σχολείο είναι 1,2 φορές υψηλότερη από εκείνη του μαθητή που φοιτά σε σχολείο, το οποίο βρίσκεται μακριά από στάση λεωφορείου. Ο χρόνος για την επίτευξη των PMNs_{90%} εξαιτίας της εισπνοής DEP για έναν άρρενα κάτοικο που κατοικεί γύρω από το οδόστρωμα, εκτιμήθηκε σε 113 ημέρες [20].

Αποδείχθηκε ότι οι οδηγοί μπορούν να μειώσουν σημαντικά την έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση στο δρόμο, κλείνοντας απλά τα παράθυρα και αερίζοντας κατάλληλα την καμπίνα. Άτομα που ζουν ή εργάζονται κοντά σε δρόμους με έντονη κυκλοφορία εκτίθενται σε υψηλότερη επίπεδα DEP. Στη χειρότερη περίπτωση, αποδείχθηκε ότι το αναπνευστικό σύστημα τους, μπορεί να μολυνθεί σε μόλις δύο ημέρες [20].

4.3 Μελέτη Τρίτη: Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς του άρθρου <<Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars>>, η έκθεση σε ρύπους, στο εσωτερικό της καμπίνας των επιβατικών οχημάτων, είναι συχνά υψηλή [21].

Με το δεδομένο αυτό διεξήχθη στην επαρχία Varese, της Βόρειας Ιταλίας, μία μελέτη που είχε ως στόχο τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ και των υπέρλεπτων σωματιδίων στο εσωτερικό κάποιων αυτοκινήτων. Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 18 μεταχειρισμένα, ιδιωτικά αυτοκίνητα, τα οποία παρατηρήθηκαν τόσο σε κατάσταση στάθμευσης όσο και κατά την διάρκεια της οδήγησης. Αυτό που κάνει την συγκεκριμένη μελέτη ξεχωριστή και την διαφοροποιεί σε μεγάλο βαθμό από άλλες όμοιες μελέτες, είναι το γεγονός ότι τα οχήματα κυκλοφορούσαν σε αγροτική περιοχή, όπου η κυκλοφορία ήταν περιορισμένη. Ακόμη, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση που έχουν τα σωματίδια εκτός της καμπίνας στα εντός της καμπίνας σωματίδια, λήφθηκαν παράλληλα (την ίδια χρονική στιγμή) μετρήσεις και στο εσωτερικό και στο εξωτερικό των οχημάτων [21].

Τα 18 οχήματα ήταν διαφορετικής κατασκευής και προέλευσης. Κατά τη διάρκεια της μελέτης τα παράθυρα ήταν κλειστά και κανένας από τους εθελοντές δεν κάπνιζε στο εσωτερικό του οχήματος. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα μικρό χρονικό διάστημα, 3 εβδομάδων. Ωστόσο η κάθε μέτρηση γινόταν διαφορετική μέρα και η μέση διάρκεια μίας διαδρομής ήταν περίπου 30 ± 18 λεπτά. Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν μετρητές σωματιδίων πραγματικού χρόνου (Optical Particle Counters, OPCs) [21].

Από τις μετρήσεις φάνηκε ότι οι μέσες συγκεντρώσεις για τα PM₁₀, για τα PM_{2.5} και για τα PM₁ ήταν $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $26,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $22,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αποδείχθηκε ότι εξαρτώνται άμεσα από την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στον ατμοσφαιρικό αέρα και τον τρόπο εξαερισμού που χρησιμοποιήθηκε στο κάθε αυτοκίνητο [21].

Επιπλέον ο μέσος αριθμός των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου πάνω από $0,3 \mu\text{m}$ που μετρήθηκε στις καμπίνες των οχημάτων, ήταν 185.723 σωματίδια/L, ενώ ο μέσος αριθμός σωματιδίων με διάμετρο από $0,02$ έως $1 \mu\text{m}$, ήταν 16.391 σωματίδια/cm³. Οι συγκεντρώσεις αυτές βρέθηκε ότι υπερβαίνουν θεωρητικά το καθορισμένο όριο για τον αέρα του περιβάλλοντος [21].

Αποδείχθηκε επιπλέον ότι ο χρόνος οδήγησης μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην ημερήσια συνολική έκθεση σε σωματίδια, στην περίπτωση ορισμένων ομάδων (επαγγελματιών-εργαζομένων) [21].

Από τη μελέτη αυτή έχουμε λοιπόν μία εικόνα των επιπέδων των συγκεντρώσεων των σωματιδίων, στο εσωτερικό της καμπίνας ιδιωτικών αυτοκινήτων κατά την οδήγηση. Οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν ήταν υψηλότερες από τις οριακές τιμές που έχουν οριστεί για τον ατμοσφαιρικό αέρα στο 50% των μετρούμενων PM₁₀ και στο 55% των μετρούμενων PM_{2.5} (Τυπική σύγκριση, καθώς δεν υπάρχουν όρια για εσωτερικό χώρο). Οι τιμές των συγκεντρώσεων στο εσωτερικό ενός οχήματος, ήταν σημαντικά υψηλότερες από εκείνες που μετρήθηκαν στους σταθερούς σταθμούς παρακολούθησης περιβάλλοντος υποβάθρου. Το τελευταίο αναγκάζει τους συγγραφείς να τονίσουν την ανάγκη εκτίμησης της ατομικής έκθεσης μέσω της απόκτησης δεδομένων απευθείας από τα μικροπεριβάλλοντα που περνούν τον χρόνο τους οι άνθρωποι [21].

Από το άρθρο αυτό λοιπόν, παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες που μπορούν να συμβάλλουν στην μεγαλύτερη κατανόηση της ανθρώπινης έκθεσης σε σωματίδια και των διεργασιών που οδηγούν στην συσσώρευση των σωματιδίων τόσο στα ιδιωτικά οχήματα όσο και στα δημόσια μέσα μεταφοράς [21].

4.4 Μελέτη τέταρτη: Air Quality Into Cabin Environment of Different Passenger Cars: Effect of Car Usage, Fuel Type and Ventilation/Infiltration Conditions.

Η τελευταία έρευνα πραγματοποιήθηκε στην Κοζάνη και έχει τίτλο <<Air Quality Into Cabin Environment of Different Passenger Cars: Effect of Car Usage, Fuel Type and Ventilation/Infiltration Conditions>>. Στην μελέτη αυτή, διερευνήθηκαν δύο επιβατικά αυτοκίνητα, ως προς την ποιότητα του αέρα και τη θερμική άνεση. Τα δύο οχήματα χρησιμοποιούσαν για την κίνηση τους, διαφορετικό τύπο καυσίμου. Το αυτοκίνητο Α ήταν πετρελαιοκίνητο και κατασκευάστηκε το 2012 (1200cc). Το αυτοκίνητο Β χρησιμοποιούσε βενζίνη και υγραέριο για την μετακίνηση του και κατασκευάστηκε το 2002 (1800cc) [22].

Για την παρούσα μελέτη λήφθηκαν για λόγους σύγκρισης δείγματα και κοντά στις εξατμίσεις. Μετρήθηκαν συνολικά 12 πτητικές οργανικές ενώσεις και το CO₂ στο εσωτερικό της καμπίνας, όταν τα αυτοκίνητα ήταν αρχικά σταματημένα και στη συνέχεια όταν βρίσκονταν στο ρελαντί, αλλά και όταν ταξίδευαν σε δρόμους μέσης και αυξημένης κυκλοφορίας, υπό διάφορες συνθήκες αερισμού. Ερευνήθηκε επιπλέον η θερμική άνεση κατά την οδήγηση μέσα στην πόλη [22].

Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι ο αέρας γύρω από τα καυσαέρια στην περίπτωση του ντίζελ, επηρεάζεται λιγότερο από τις εκπομπές του κινητήρα σε σύγκριση με την περίπτωση του υγραερίου. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν επίσης ότι η ποιότητα του αέρα ενός αυτοκινήτου που κινείται με καύσιμο ντίζελ, με ανοιχτά παράθυρα, επηρεάζεται μόνο από τις εκπομπές των γειτονικών οχημάτων, ενώ για το

αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί υγραέριο, η αυτορρύπανση από τα καυσαέρια του μπορεί να συμβάλει επιπλέον στην ρύπανση. Πριν την λήψη των μετρήσεων όλα τα πρόσθετα αξεσουάρ εντός του οχήματος αφαιρέθηκαν από την καμπίνα του [22].

Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι ο τύπος του εσωτερικού υλικού που χρησιμοποιείται στα δύο οχήματα, επηρέασε το επίπεδο της συγκέντρωσης των πτητικών οργανικών ενώσεων. Η δερμάτινη επιφάνεια ήταν αυτή που φαίνεται ότι επηρέασε περισσότερο την ποιότητα του αέρα, σε σύγκριση με την υφασμάτινη [22].

Και στις δύο περιπτώσεις αποδείχθηκε ότι οι εκπομπές των καυσαερίων επηρέασαν τον αέρα της καμπίνας και τη συγκέντρωση των πτητικών οργανικών ενώσεων, όταν τα παράθυρα του οχήματος ήταν κλειστά. Ακόμη, ο τύπος του καυσίμου που χρησιμοποιείται φαίνεται να παίζει καθοριστικό ρόλο όταν ο κινητήρας είναι αναμμένος, το αυτοκίνητο σταματημένο και τα παράθυρα ανοιχτά, λόγω των διαφορετικών επιπέδων συγκέντρωσης των VOCs στον αέρα της καμπίνας [22].

Ο τρόπος αερισμού φάνηκε επίσης ότι επηρεάζει τη συγκέντρωση των πτητικών οργανικών ενώσεων στον αέρα της καμπίνας, στην περίπτωση που το όχημα είναι σταματημένο και ο κινητήρας αναμμένος. Επιπλέον τα ανοιχτά παράθυρα μείωσαν το επίπεδο των πτητικών οργανικών ενώσεων στην καμπίνα σε σύγκριση με τα κλειστά παράθυρα [22].

Τέλος, όσον αφορά τη θερμική άνεση, τα κλειστά παράθυρα οδηγούν σε ‘‘απαράδεκτη’’ θερμοκρασία καμπίνας, ενώ η σχετική υγρασία, αν και εντός των αποδεκτών ορίων, καταδεικνύει μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών, λόγω της έλλειψης φρέσκου αέρα. Η συγκέντρωση CO₂ επαληθεύει τα παραπάνω, οδηγώντας σε σημαντικά υψηλότερες τιμές από τα αποδεκτά επίπεδα, που προβλέπονται από τα σχετικά πρότυπα [22].

5. Κεφάλαιο 5^ο: Μεθοδολογία έρευνας

5.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό της καμπίνας δύο ιδιωτικών αυτοκινήτων. Για την μελέτη μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μm και πιο συγκεκριμένα τα PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ και PM_{1} . Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες χαμηλού κόστους, PurpleAir, οι οποίοι βρισκόταν τοποθετημένοι στο εσωτερικό των δύο αυτών οχημάτων.

5.2 Όργανο μέτρησης - PurpleAir

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες χαμηλού κόστους <<PurpleAir Flex Air Quality Monitor>>, που φαίνονται στην **εικόνα 5.2.1**. Πρόκειται για αισθητήρες που μετράνε σε πραγματικό χρόνο τις συγκεντρώσεις και προορίζονται τόσο για οικιακή όσο και για βιομηχανική και εμπορική χρήση. Περιέχουν επιπλέον μία λυχνία LED, με την βοήθεια της οποίας, έχουμε μία πρώτη εικόνα για την ποιότητα του αέρα, από την προκύπτουσα λάμψη (Ανάλογα με το χρώμα: πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο, μοβ, καστανό). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξωτερικούς αλλά και εσωτερικούς χώρους, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μας [23].



Εικόνα 5.2.1: PurpleAir Flex Air Quality Monitor [23].

Τα όργανα αυτά, διαθέτουν ενσωματωμένο δίκτυο WiFi, το οποίο επιτρέπει την μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στον χάρτη της Purple Air. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο WiFi, οι συσκευές έχουν την δυνατότητα καταγραφής και αποθήκευσης των δεδομένων σε κάρτα MicroSD [23].

Διαθέτουν δύο κανάλια για την καταγραφή των δεδομένων και μετρούν σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο από 0,3 μm έως 10 μm . Το στήριγμα της

συσκευής μπορεί να αφαιρεθεί με μεγάλη ευκολία, κάτι που κάνει την συντήρηση του αισθητήρα εξαιρετικά γρήγορη και εύκολη. Για τον ίδιο λόγο, οι μετρητές λείζερ βρίσκονται επίσης τοποθετημένοι σε ένα σύστημα ταχείας απελευθέρωσης [23]. Γενικότερα, οι αισθητήρες PurpleAir αναπτύσσονται όλο και περισσότερο εξαιτίας της οικονομικής τους προσιτότητας και των χαμηλών αναγκών σε συντήρηση [24].

Συγκεκριμένα ο αισθητήρας Purple Air Flex, περιλαμβάνει επιπλέον μία συσκευή BME688 της Bosch. Το εξάρτημα αυτό μετράει τη θερμοκρασία, την υγρασία, την πίεση και τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC). Οι μετρήσεις VOC είναι προς το παρόν πειραματικές [23].

Πιο αναλυτικά οι αισθητήρες PurpleAir χρησιμοποιούν μετρητές λείζερ, οι οποίοι εναλλάσσουν μετρήσεις ανά πέντε δευτερόλεπτα, με έναν μέσο όρο δύο λεπτών. Διαθέτουν ακόμη έναν ανεμιστήρα, ο οποίος τραβάει ένα δείγμα αέρα μπροστά από μια ακτίνα λείζερ. Τα τυχόν υπάρχοντα σωματίδια ανακλούν τη δέσμη λείζερ σε μια πλάκα ανίχνευσης. Η ανάκλαση αυτή μετράται ουσιαστικά ως ένας παλμός, από την πλάκα. Το μήκος του παλμού αυτού, είναι αυτό που καθορίζει το μέγεθος του σωματιδίου ενώ ο αριθμός των παλμών, τον αριθμό των σωματιδίων. Με τον τρόπο αυτόν εξάγονται συμπεράσματα για τις συγκεντρώσεις μάζας των PM_1 , των $PM_{2.5}$ και των PM_{10} (Τυπικά σωματίδια ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους) [23].

5.3 Δεδομένα Purple Air

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας λήφθηκαν μετρήσεις σε **δίλεπτο βήμα**, σε κάθε διαδρομή. Το κάθε όχημα και οι διαδρομές του θα μελετηθούν αναλυτικά σε επόμενη ενότητα. Οι μετρήσεις αφορούσαν κυρίως τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} .

Τα δεδομένα από τον αισθητήρα ήταν πολλαπλά. Ωστόσο αυτά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

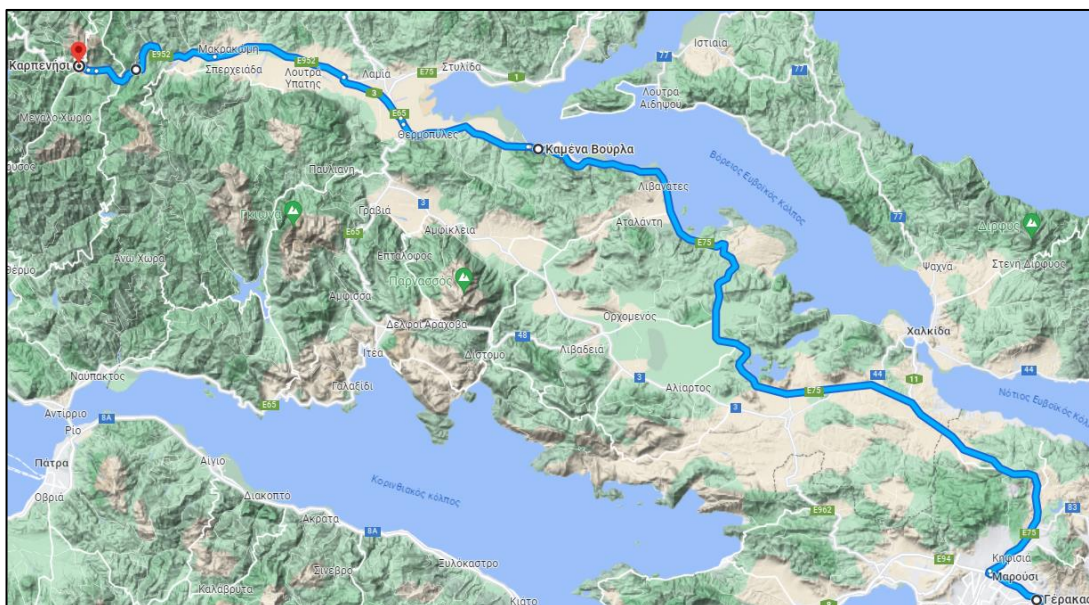
- **Date:** Η ημερομηνία που λήφθηκε η μέτρηση.
- **Time:** Η χρονική στιγμή που λήφθηκε η μέτρηση.
- **current_temp_f:** Η θερμοκρασία σε Φαρενάιτ (°F).
- **current_humidity:** Η σχετική υγρασία (%).
- **pressure:** Η τρέχουσα πίεση σε Millibars.
- **pm1_0_cf_1:** Η συγκέντρωση των PM_1 από το κανάλι 1.
- **pm1_0_cf_1_b:** Η συγκέντρωση των PM_1 από το κανάλι 2.
- **pm2_5_cf_1:** Η συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ από το κανάλι 1.
- **pm2_5_cf_1_b:** Η συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ από το κανάλι 2.
- **pm10_0_cf_1:** Η συγκέντρωση των PM_{10} από το κανάλι 1.
- **pm10_0_cf_1_b:** Η συγκέντρωση των PM_{10} από το κανάλι 2.

5.4 Περιοχές μελέτης – Χάρτες

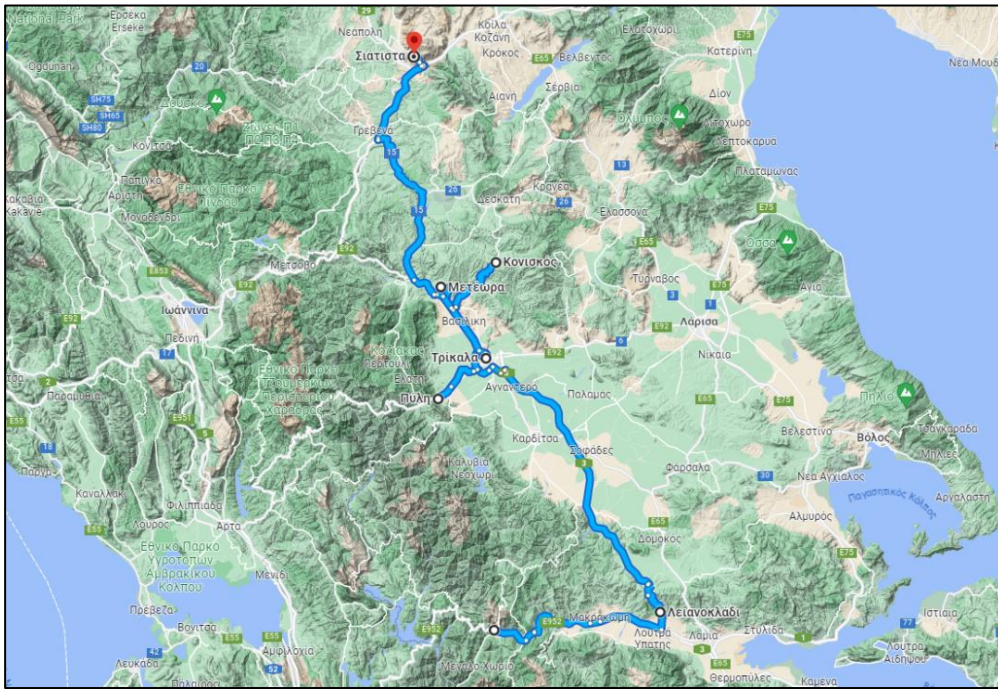
Για την μελέτη διερευνήθηκαν, ως προς την ποιότητα του αέρα της καμπίνας, δύο οχήματα κατά την οδήγηση, που χρησιμοποιούσαν διαφορετικό τύπο καυσίμου και κινήθηκαν σε διαφορετικές περιοχές. Η κάθε διαδρομή πραγματοποιήθηκε υπό διαφορετικές συνθήκες οδήγησης (ανοιχτά/κλειστά παράθυρα, αριθμός επιβατών, θέρμανση, Air-condition κλπ.) και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων κανένας από τους συμμετέχοντες οδηγούς, δεν κάπνιζε στο εσωτερικό των αυτοκινήτων. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα διάστημα 8 μηνών, τόσο κατά τη διάρκεια εργάσιμων ημερών όσο και κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου.

A) Πετρελαιοκίνητο όχημα

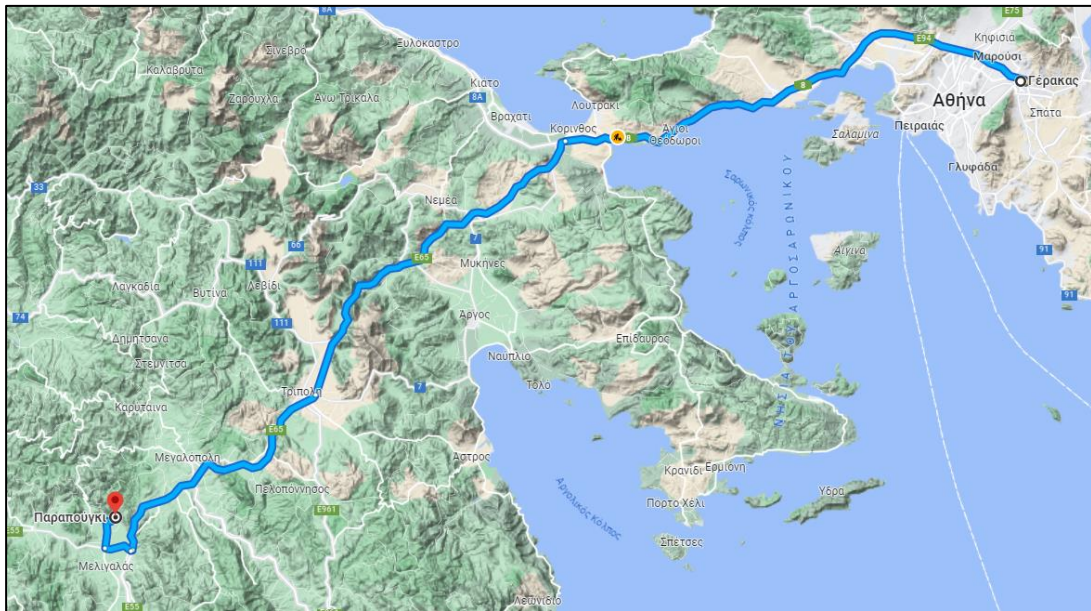
Το πρώτο όχημα που συμμετείχε στη μελέτη ήταν ένα πετρελαιοκίνητο Ford CMax, μοντέλο του 2012. Λήφθηκαν μετρήσεις για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023. Πραγματοποιούσε κυρίως διαδρομές μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας (ταξίδια) και κινήθηκε σε επαρχιακούς κατά βάση δρόμους.



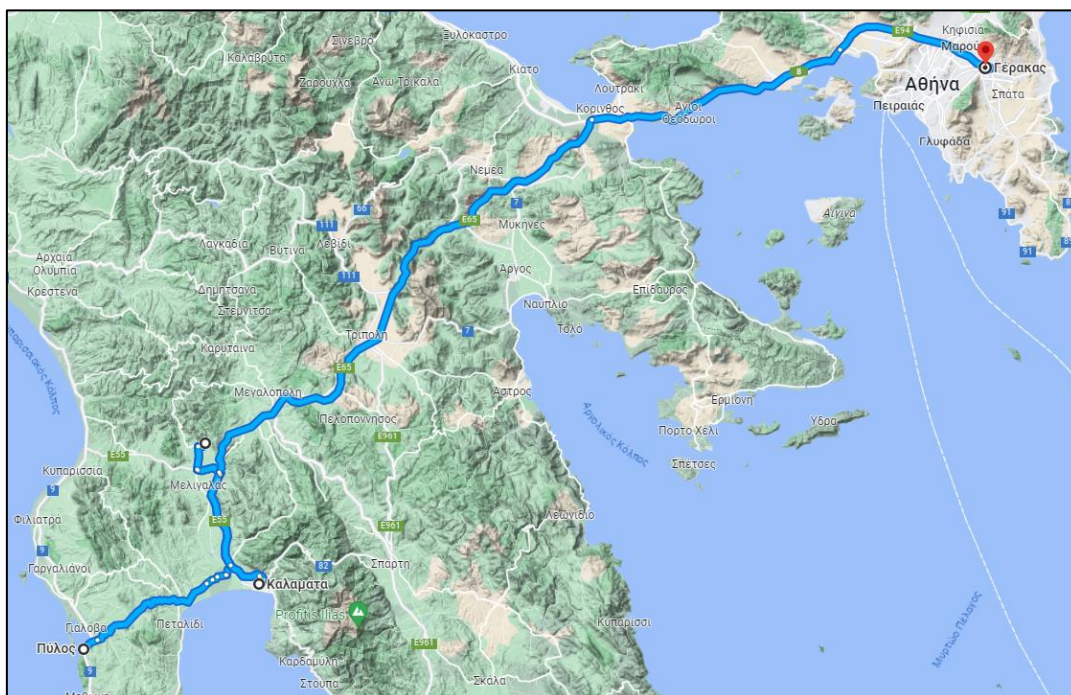
Εικόνα 5.4.1: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Καμένα Βούρλα – Καρπενήσι (Δεκέμβριος 2022) [25].



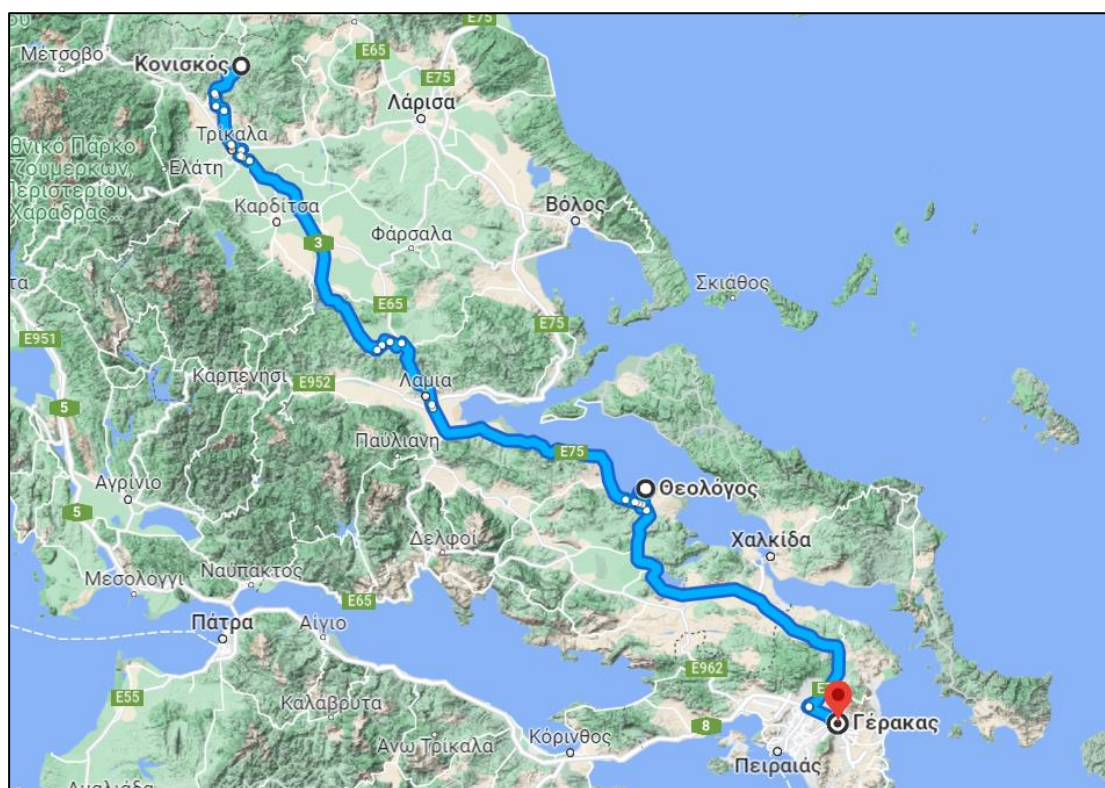
Εικόνα 5.4.2: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Καρπενήσι – Λειανοκλάδι – Κονισκός – Πύλη Τρικάλων – Τρίκαλα – Μετέωρα – Σιάτιστα (Ιανουάριος 2023) [25].



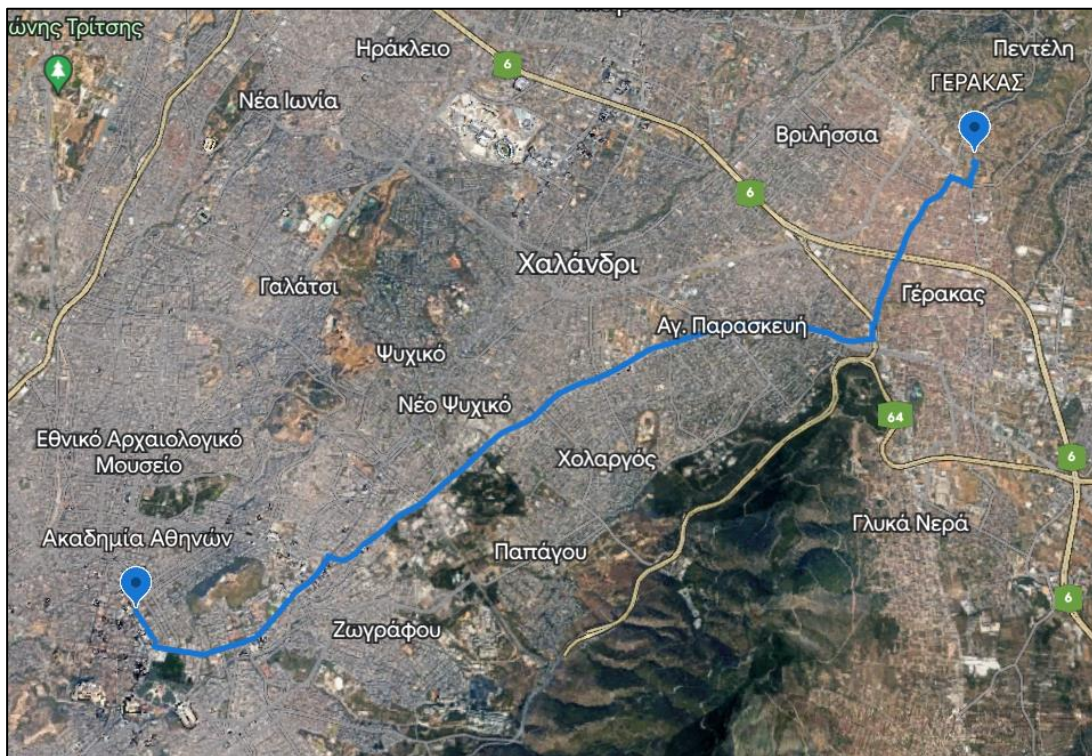
Εικόνα 5.4.3: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Παραπουγκί (Φεβρουάριος 2023) [25].



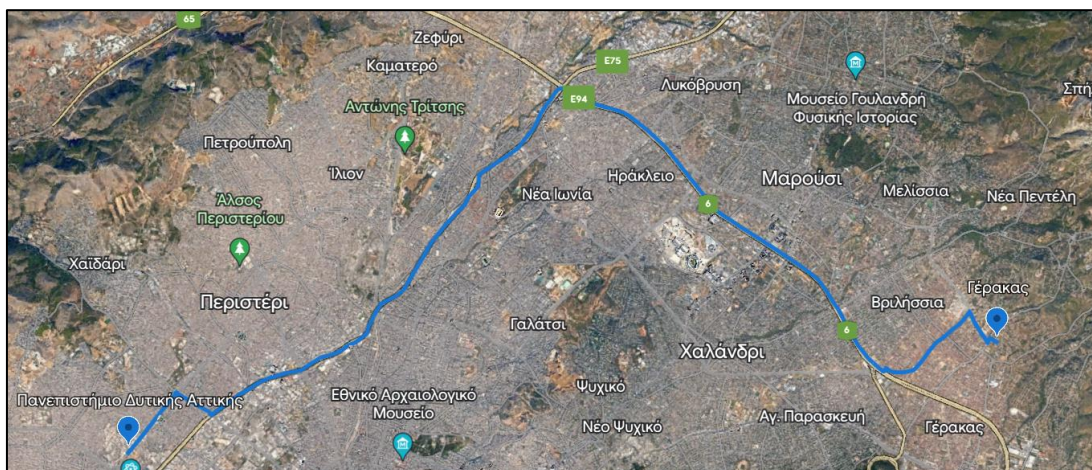
Εικόνα 5.4.4: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Παραπουγκί Μεσσηνίας – Πύλος Μεσσηνίας – Καλαμάτα (Απρίλιος 2023) [25].



Εικόνα 5.4.5: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Κονισκός – Θεολόγος – Γέρακας (Φεβρουάριος 2023) [25].



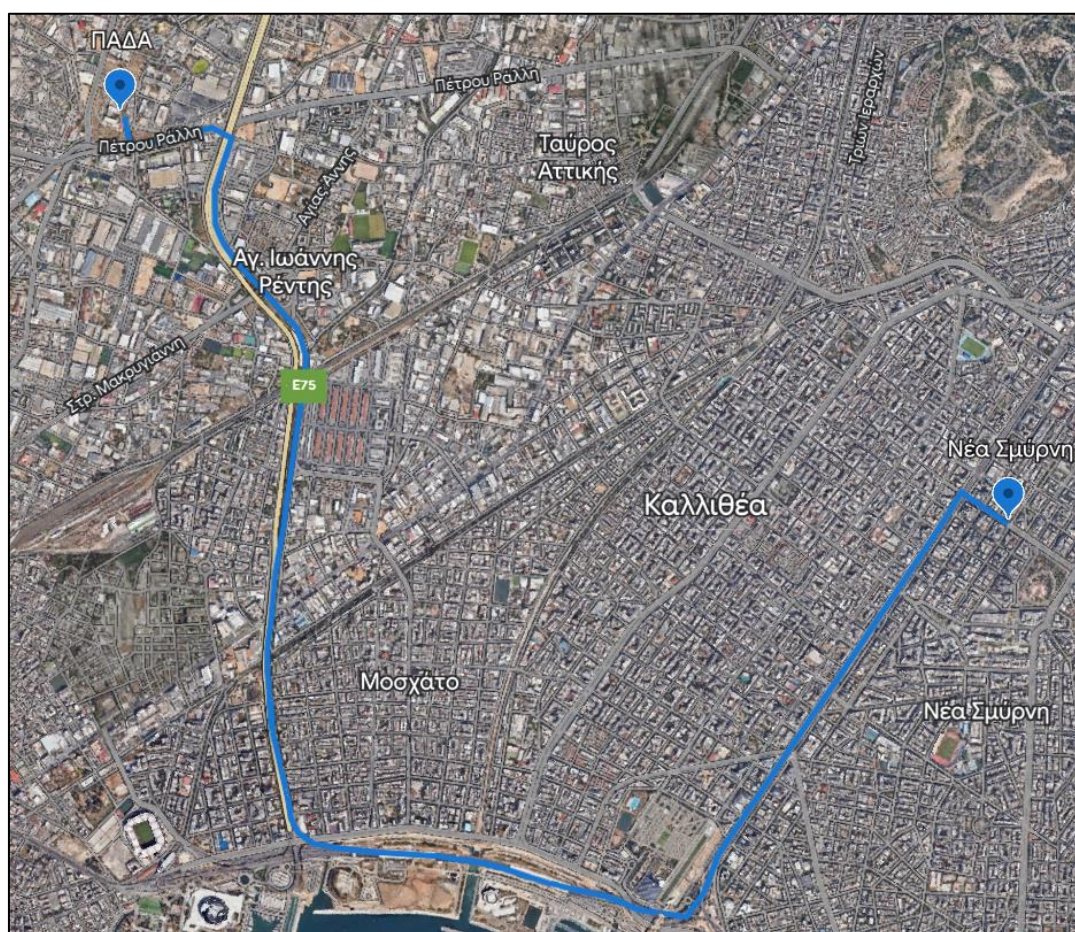
Εικόνα 5.4.6: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας – Ακαδημία Αθηνών (Φεβρουάριος 2023) [26].



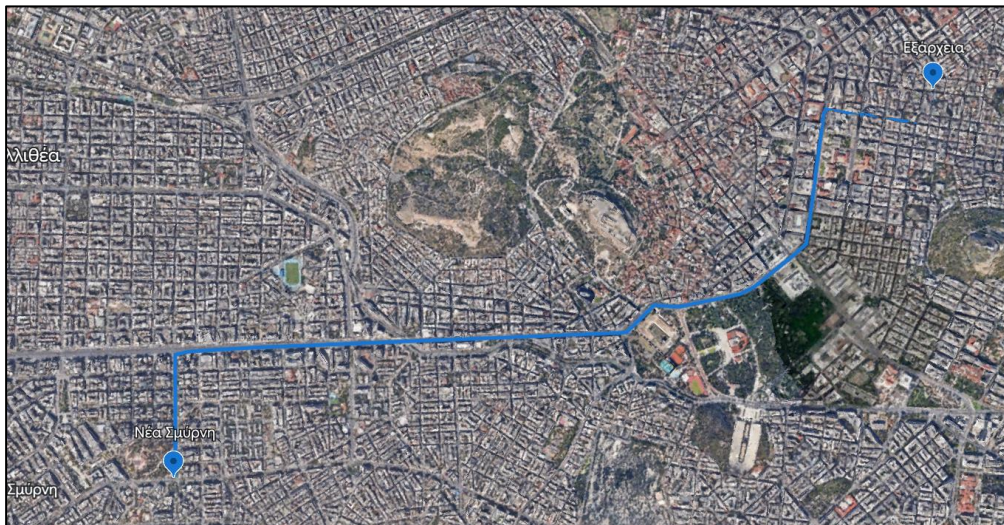
Εικόνα 5.4.7: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Γέρακας - Αττική Οδός - Αιγάλεω (Απρίλιος 2023) [26].

B) Βενζινοκίνητο όχημα

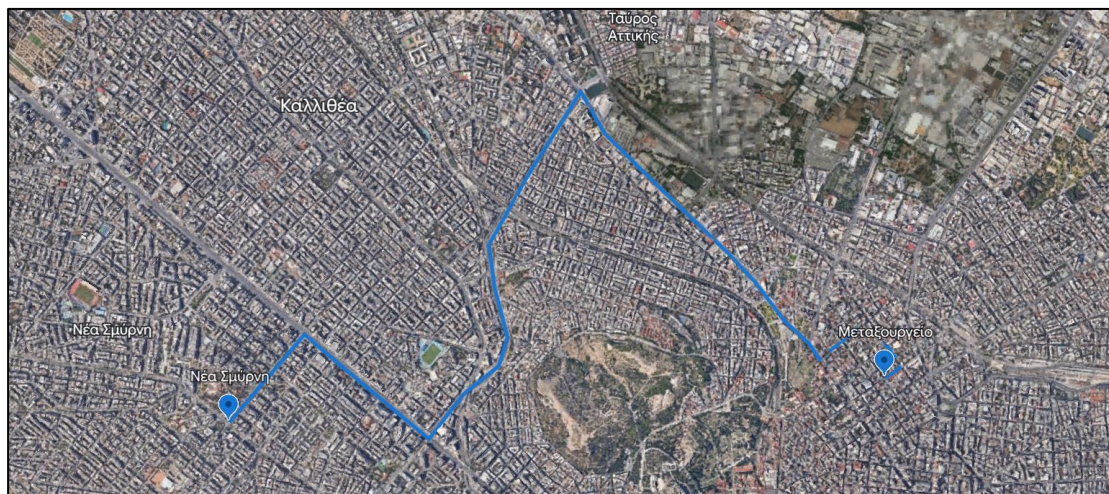
Το δεύτερο όχημα που συμμετείχε στη μελέτη ήταν ένα καταλυτικό Subaru Impreza (1600 cc), με έτος κυκλοφορίας 2004. Λήφθηκαν μετρήσεις για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο του 2022 έως και τον Ιούνιο του 2023. Κινήθηκε κυρίως στον νότιο τομέα της Αττικής και στο κέντρο. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές Αιγάλεω (Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής), Νέα Σμύρνη, Μεταξουργείο και Εξάρχεια. Οι κύριες διαδρομές που πραγματοποιούσε ήταν από Νέα Σμύρνη μέχρι το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Θηβών 250) στο Αιγάλεω, από Νέα Σμύρνη μέχρι Εξάρχεια και από Νέα Σμύρνη μέχρι Μεταξουργείο.



Εικόνα 5.4.8: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – ΠΑΔΑ [26].



Εικόνα 5.4.9: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – Εξάρχεια [26].



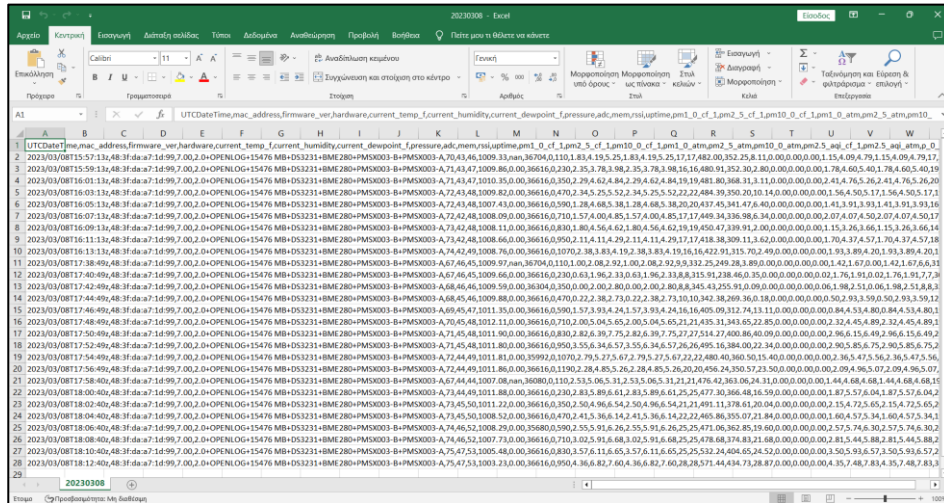
Εικόνα 5.4.10: Απεικόνιση περιοχών μελέτης Νέα Σμύρνη – Μεταξουργείο [26].

5.5 Επεξεργασία Μετρήσεων

Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων ήταν η ίδια και για τα δύο οχήματα και αποτελείται από τα εξής στάδια:

A. Στάδιο πρώτο:

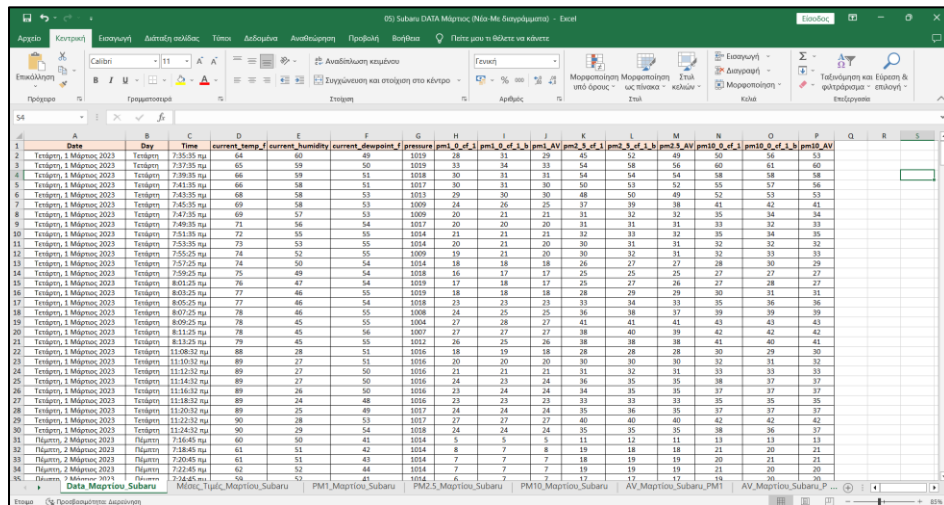
Τα δεδομένα από τον αισθητήρα αποθηκεύονται αρχικά στον υπολογιστή σε μορφή «.csvn», σε ημερησία βάση. Το πρώτο βήμα της επεξεργασίας αφορούσε λοιπόν την μετατροπή των αρχείων αυτών σε αρχείο «.xlsx».



Εικόνα 5.5.1: Στιγμιότυπο οθόνης ενός αρχείου υπό την αρχική μορφή «.csvn».

B. Στάδιο δεύτερο:

Το αμέσως επόμενο βήμα ήταν η ταξινόμηση των δεδομένων σε μηνιαία βάση. Δημιουργήθηκαν δηλαδή αρχεία «.xlsx» που περιλάμβαναν τις μετρήσεις του κάθε μήνα ξεχωριστά. Η ταξινόμηση αυτή αποσκοπούσε σε μία πρώτη επεξεργασία των μετρήσεων του κάθε μήνα. Στο σημείο αυτό υπολογίστηκε επιπλέον η μέση τιμή των συγκεντρώσεων, του κάθε ρύπου από τα δύο κανάλια του αισθητήρα.



Εικόνα 5.5.2: Στιγμιότυπο οθόνης ενός αρχείου μετά το 2^ο στάδιο επεξεργασίας.

C. Στάδιο τρίτο (Επεξεργασία μετρήσεων ανά μήνα):

Το τρίτο στάδιο επεξεργασίας σχετιζόταν με την ανάλυση των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα περιλάμβανε τους εξής υπολογισμούς:

a) Υπολογισμός της μέσης ημερήσιας τιμής (2-λεπτα).

Το κάθε όχημα πραγματοποιούσε σχεδόν καθημερινά, μία ή περισσότερες διαδρομές. Για να προκύψει μία συνολική εικόνα για την κάθε ημέρα, υπολογίστηκε, ξεχωριστά για κάθε όχημα, η μέση ημερήσια δίλεπτη τιμή του κάθε ρύπου, ως η μέση δίλεπτη τιμή όλων των δεδομένων, όλων των διαδρομών μίας ημέρας. Ενδεικτικά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα οι τιμές για τον μήνα Μάρτιο του 2023, για το βενζινοκίνητο όχημα.

G	H	I	J
Μέσες τιμές ημέρας (H κάθε μέρα ξεχωριστά με όλες τις διαδρομές μέσα)	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
01/03/2023	23,51	36,24	38,68
02/03/2023	8,70	19,64	21,22
04/03/2023	0,01	0,41	0,93
06/03/2023	0,06	1,65	2,06
07/03/2023	0,95	2,37	2,99
08/03/2023	2,00	4,56	5,07
09/03/2023	2,45	5,11	5,54
11/03/2023	0,99	3,16	3,63
13/03/2023	2,21	4,57	5,01
15/03/2023	3,74	7,33	8,19
18/03/2023	2,73	5,97	6,56
20/03/2023	3,73	6,39	6,78
21/03/2023	14,44	22,47	23,81
22/03/2023	4,91	10,12	12,22
23/03/2023	3,61	6,81	7,27
25/03/2023	17,83	26,90	28,10
26/03/2023	6,61	13,33	14,69
27/03/2023	4,80	9,48	10,50
29/03/2023	0,65	1,36	1,61
30/03/2023	0,19	0,61	0,75
31/03/2023	3,07	5,34	5,88

Εικόνα 5.5.3: Μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) Μαρτίου, Βενζινοκίνητου οχήματος.

b) Υπολογισμός της μέσης μηνιαίας τιμής (2-λεπτα).

Υπολογίστηκε αντίστοιχα, ξεχωριστά για κάθε όχημα, η μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) του κάθε ρύπου, ως η μέση τιμή όλων των δεδομένων, όλων των διαδρομών, ενός μήνα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται ενδεικτικά οι τιμές για τον μήνα Μάρτιο του 2023, για το βενζινοκίνητο όχημα.

Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
	5,14	9,28	10,09

Εικόνα 5.5.4: Μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀, ενδεικτικά για τον μήνα Μάρτιο, για το βενζινοκίνητο όχημα.

ε) Υπολογισμός της μέσης εβδομαδιαίας ημερήσιας τιμής (2-λεπτα), με τη βοήθεια φίλτρων.

Οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για τους ρύπους υπολογίστηκαν για κάθε μέρα της εβδομάδας, Δευτέρα με Κυριακή, σε πρώτη φάση για τον κάθε μήνα ξεχωριστά. Ενδεικτικά για τον μήνα Μάρτιο του 2023, για τον βενζινοκίνητο όχημα οι τιμές φαίνονται στον πίνακα της παρακάτω εικόνας.

Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
Δευτέρα	3,14	5,91	6,41
Τρίτη	7,69	12,42	13,40
Τετάρτη	8,54	14,11	15,33
Πέμπτη	4,05	8,77	9,48
Παρασκευή	3,07	5,34	5,87
Σάββατο	3,43	6,41	7,02
Κυριακή	6,61	13,38	14,69

Εικόνα 5.5.5: Μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀, ενδεικτικά για τον μήνα Μάρτιο, για το βενζινοκίνητο όχημα.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data for March 2023:

Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
5,14	9,28	10,09	

Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
Δευτέρα	3,14	5,91	6,41
Τρίτη	7,69	12,42	13,40
Τετάρτη	8,54	14,11	15,33
Πέμπτη	4,05	8,77	9,48
Παρασκευή	3,07	5,34	5,87
Σάββατο	3,43	6,41	7,02
Κυριακή	6,61	13,38	14,69

Εικόνα 5.5.6: Τρίτο στάδιο επεξεργασίας - Μέσες τιμές (2-λεπτα) Μαρτίου, ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.

D. Στάδιο τέταρτο:

Στο σημείο αυτό, δηλαδή στο τέταρτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η γραφική απεικόνιση των δεδομένων, που φαίνονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6 και συγκεκριμένα στις ενότητες 6.1 – 6.5 για το πετρελαιοκίνητο όχημα και στις ενότητες 6.7 – 6.14 για το βενζινοκίνητο όχημα.

E. Στάδιο πέμπτο:

Στο πέμπτο στάδιο της επεξεργασίας, δημιουργήθηκαν 2 αρχεία «.xlsx» με όλες τις μετρήσεις συνολικά (ένα για κάθε όχημα), για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης του κάθε οχήματος.

F. Στάδιο έκτο (Επεξεργασία μετρήσεων συγκεντρωτικά για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης):

Στο έκτο στάδιο επεξεργασίας ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το τρίτο στάδιο, η οποία αποσκοπούσε στην συνολική απεικόνιση του διαστήματος μελέτης. Δημιουργήθηκαν ουσιαστικά, δύο βοηθητικά φύλλα στα αρχεία «.xlsx» του πέμπτου σταδίου, στα οποία συγκεντρώθηκαν όλες οι μέσες ημερήσιες (2-λεπτα) (Στήλες K, L, M και N του αρχείου «.xlsx» που φαίνεται στην **εικόνα 5.5.9**) και οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) του χρονικού διαστήματος μελέτης του κάθε οχήματος (Από τον Δεκέμβριο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023 για το πετρελαιοκίνητο, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023 για το βενζινοκίνητο). Στη συνέχεια υπολογίστηκαν εκ νέου για το συνολικό διάστημα μελέτης του κάθε οχήματος, οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα).

Τέλος, πραγματοποιήθηκε γραφική απεικόνιση των δεδομένων για όλο το διάστημα μελέτης, που φαίνονται στην ενότητα 6.6 για το πετρελαιοκίνητο όχημα και στην ενότητα 6.15 για το βενζινοκίνητο όχημα.

R	S	T	U
Μέση μηνιαία τιμή	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
Νοέμβριος	6,73	11,31	10,72
Δεκέμβριος	9,24	15,39	16,66
Ιανουάριος	8,65	14,42	15,67
Φεβρουάριος	8,01	13,92	15,06
Μάρτιος	5,14	9,28	10,09
Απρίλιος	4,51	7,83	8,59
Μάιος	7,22	12,24	13,20
Ιούνιος	9,55	15,43	16,34

Εικόνα 5.5.7: Μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀, ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.

Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
Δευτέρα	4,32	8,04	8,84
Τρίτη	7,83	13,69	14,39
Τετάρτη	9,31	14,99	16,11
Πέμπτη	8,33	13,97	15,07
Παρασκευή	8,37	13,47	14,44
Σάββατο	6,60	11,58	12,53
Κυριακή	10,01	17,03	18,32

Εικόνα 5.5.8: Μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των ρύπων PM₁, PM_{2.5} και PM₁₀, ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.

Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή	PM1_AV	PM2.5_AV	PM10_AV
Δευτέρα	4,32	8,04	8,84
Τρίτη	7,83	13,69	14,39
Τετάρτη	9,31	14,99	16,11
Πέμπτη	8,33	13,97	15,07
Παρασκευή	8,37	13,47	14,44
Σάββατο	6,60	11,58	12,53
Κυριακή	10,01	17,03	18,32

Εικόνα 5.5.9: Στιγμιότυπο οθόνης αρχείου «.xlsx» - Μέρος των μέσων ημερήσιων τιμών (2-λεπτα) ενδεικτικά για το βενζινοκίνητο όχημα.

G. Έβδομο όγδοο:

Το έβδομο και τελευταίο στάδιο, αφορά μόνο το βενζινοκίνητο όχημα. Στο συγκεκριμένο σημείο αναζητήθηκαν πιθανές συσχετίσεις τόσο ανάμεσα σε θερμοκρασία και συγκέντρωση PM₁₀ όσο και ανάμεσα σε σχετική υγρασία και συγκέντρωση PM₁₀. Για τον σκοπό αυτό υπολογίστηκαν αρχικά οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν δύο γραφήματα που φαίνονται στις ενότητες 6.15.4 και 6.15.6, από τα οποία τελικά προκύψαν οι εξισώσεις που περιγράφανε τις δύο αυτές συσχετίσεις.

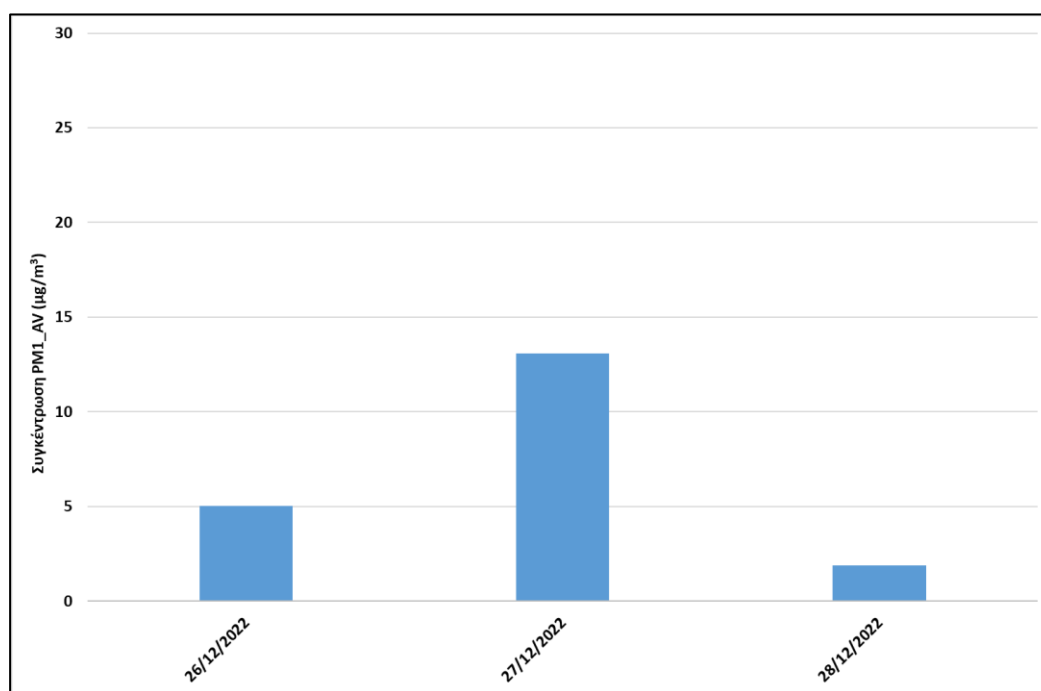
6. Κεφάλαιο 6^ο: Αποτελέσματα και συζήτηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων. Ταξινομούνται ανά αυτοκίνητο, μήνα και κατηγορία διαγράμματος. Έχουμε αρχικά τα αποτελέσματα για το πετρελαιοκίνητο και στην συνέχεια για το βενζινοκίνητο όχημα. Για το καθένα ξεχωριστά, παρουσιάζονται τόσο ανά μήνα, όσο και συγκεντρωτικά για το κάθε διάστημα μελέτης, οι μέσες ημερήσιες και οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα). Τέλος, παρουσιάζονται επιπλέον για τον βενζινοκίνητο όχημα, οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) και τα διαγράμματα θερμοκρασίας - συγκέντρωσης PM₁₀ και υγρασίας – συγκέντρωσης PM₁₀.

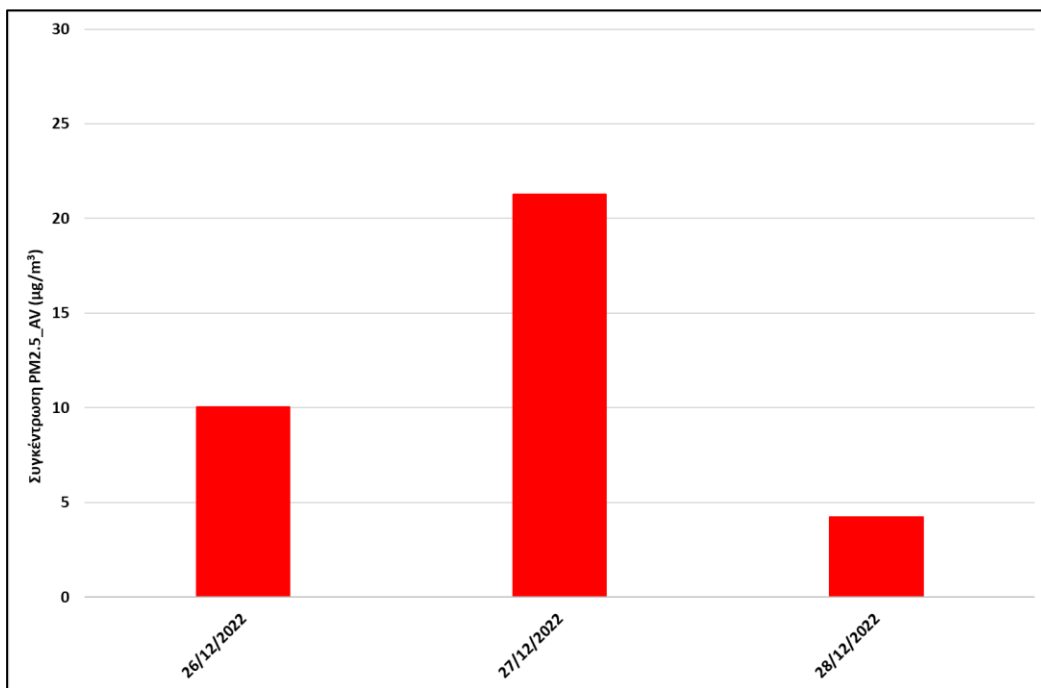
6.1 Αποτελέσματα Δεκεμβρίου – Ford

6.1.1 Μέση ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)

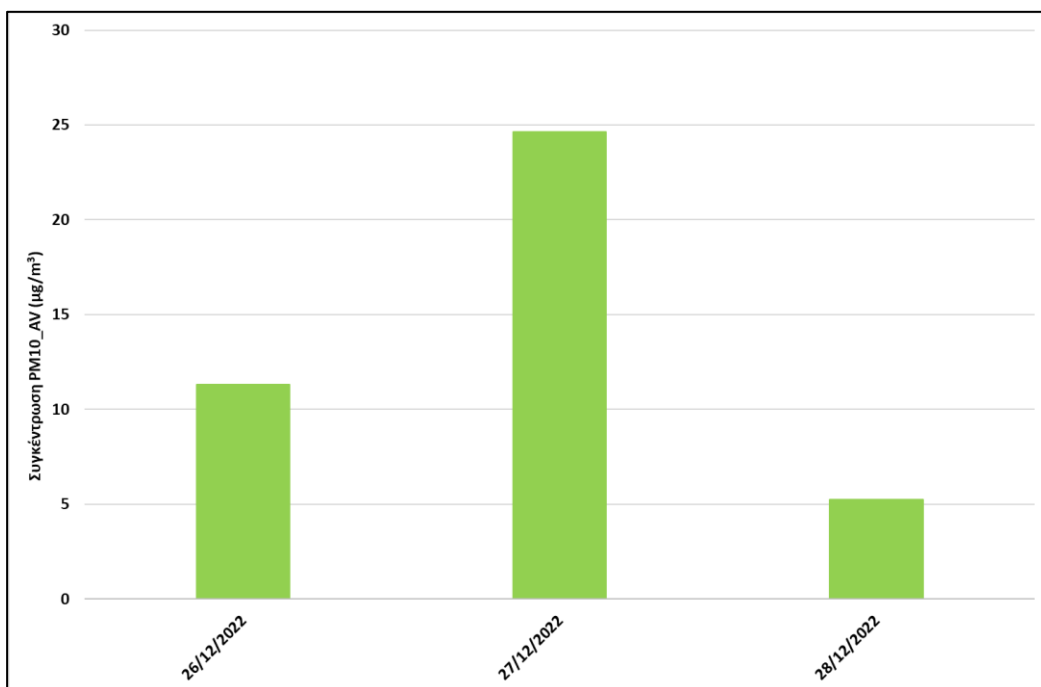
Στα Σχήματα 6.1.1.1 – 6.1.1.3 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα), για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Δεκέμβριο (2022). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 διαδρομές, με δύο επιβάτες, στις οποίες τα παράθυρα ήταν κατά βάση κλειστά και η θέρμανση απενεργοποιημένη. Η μεγαλύτερη τιμή για τον συγκεκριμένο μήνα εμφανίζεται στις 27 Δεκεμβρίου, όπου το όχημα πραγματοποιούσε τη διαδρομή Τυμφρηστό - Καρπενήσι, κατά τις πρωινές ώρες.



Σχήμα 6.1.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).



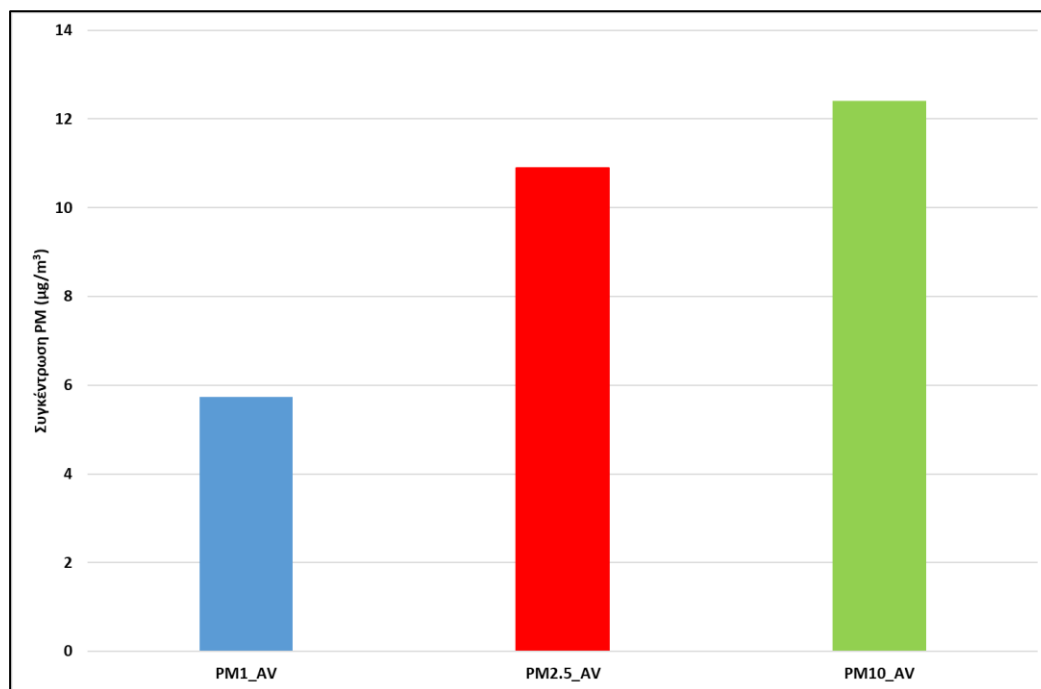
Σχήμα 6.1.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).



Σχήμα 6.1.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).

6.1.2 Μέση μηνιαία τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.1.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Δεκέμβριο (2022). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 4 διαδρομές, σε ένα διάστημα 3 ημερών. Από τα δεδομένα που έχουμε, για τον χειμερινό μήνα, διακρίνουμε μία πολύ καλή εικόνα, καθώς οι συγκεντρώσεις και των τριών ρύπων είναι χαμηλές.

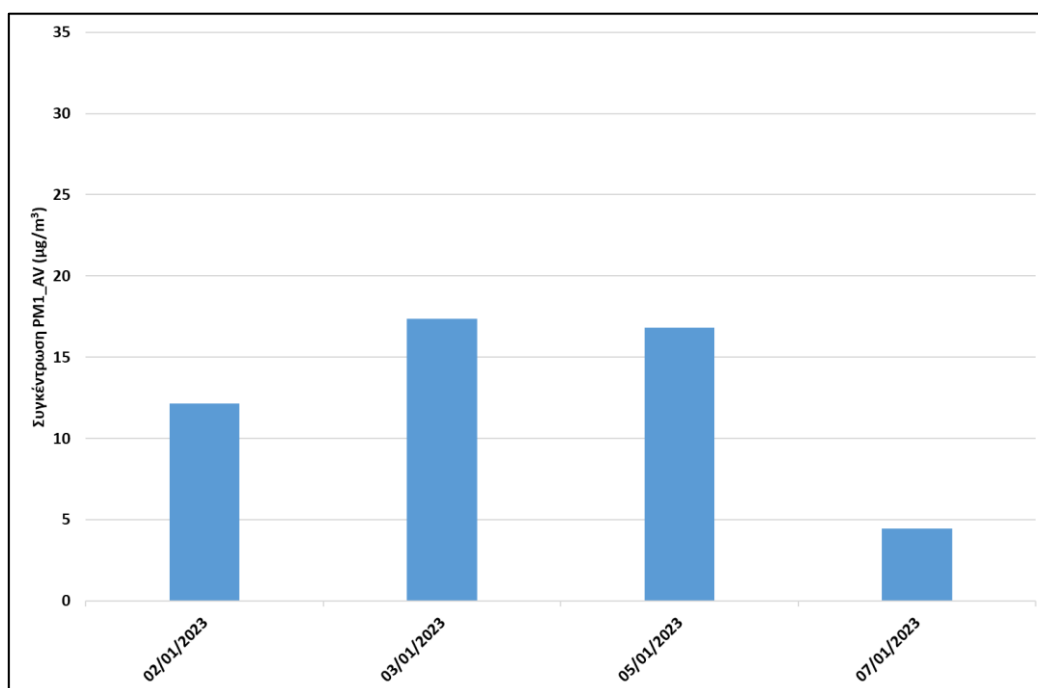


Σχήμα 6.1.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Ford).

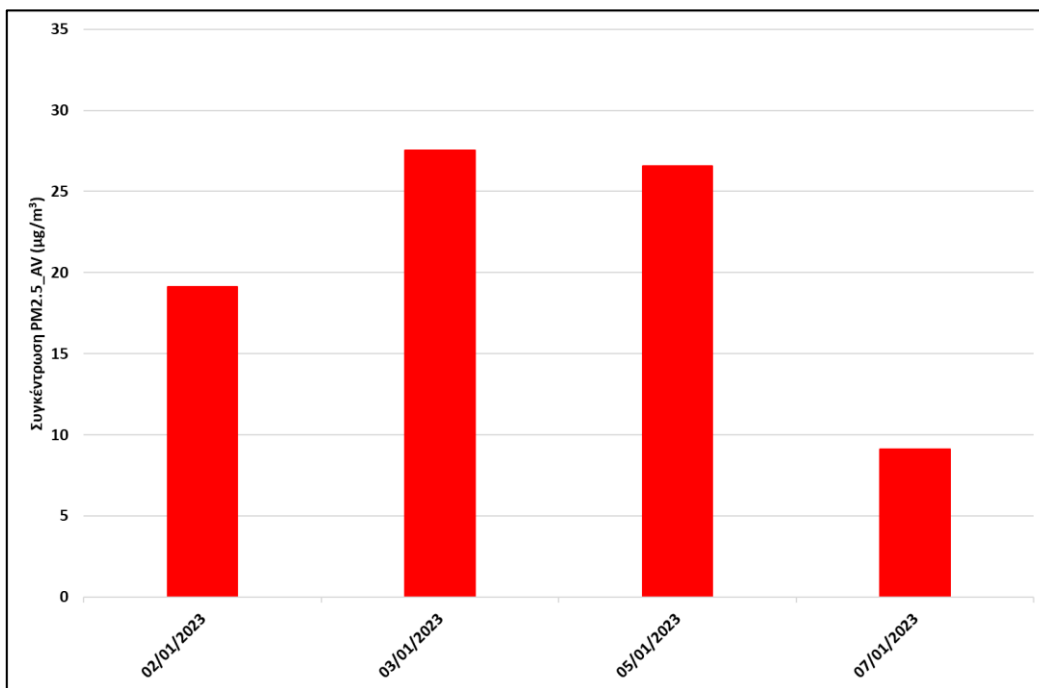
6.2 Αποτελέσματα Ιανουαρίου– Ford

6.2.1 Μέση ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)

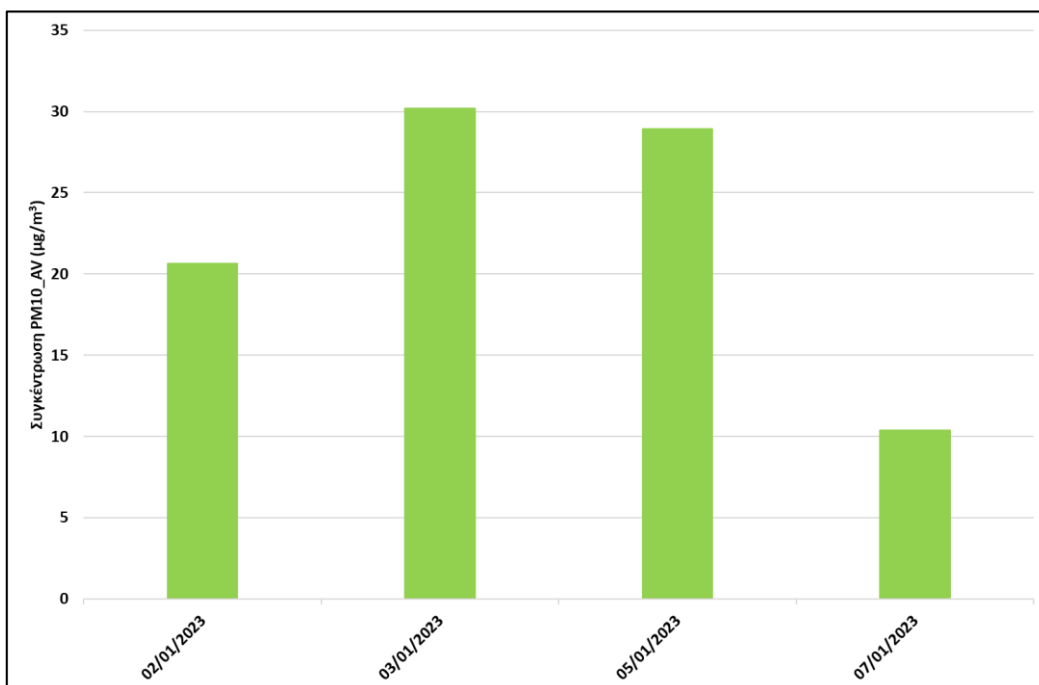
Στα Σχήματα 6.2.1.1 – 6.2.1.3 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα), για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιανουάριο (2023). Οι συγκεντρώσεις είναι εξαιρετικά χαμηλές και δεν παρουσιάζουν κάποια έντονη διακύμανση. Κινήθηκε κυρίως σε επαρχιακούς δρόμους, με ενεργοποιημένη τη θέρμανση.



Σχήμα 6.2.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).



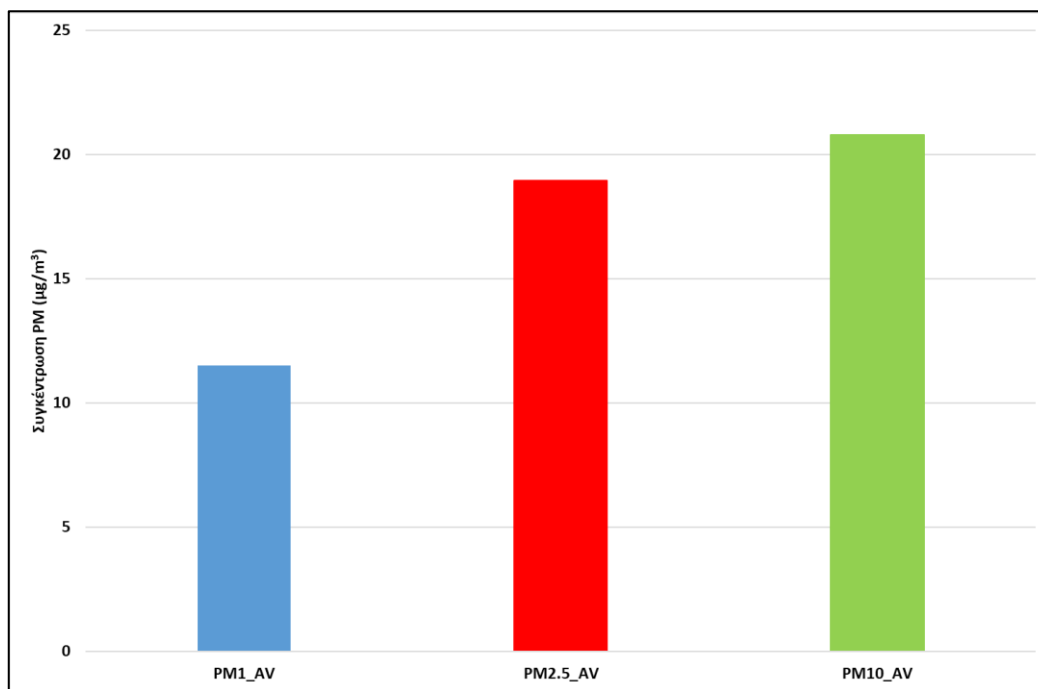
Σχήμα 6.2.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).



Σχήμα 6.2.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).

6.2.2 Μέση μηνιαία τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)

Στο **Σχήμα 6.2.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιανουάριο (2023). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 7 διαδρομές, σε 4 ημέρες. Παρόλο που οι συγκεντρώσεις διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, σε σύγκριση με τον Δεκέμβριο, υπάρχει μία μικρή αύξηση.

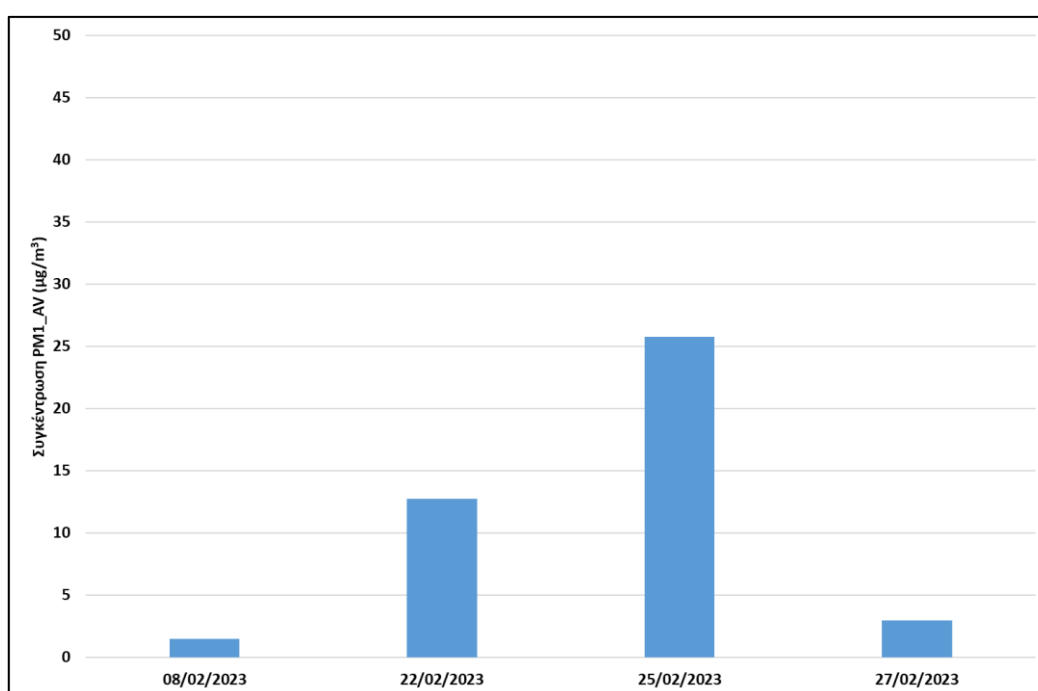


Σχήμα 6.2.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Ford).

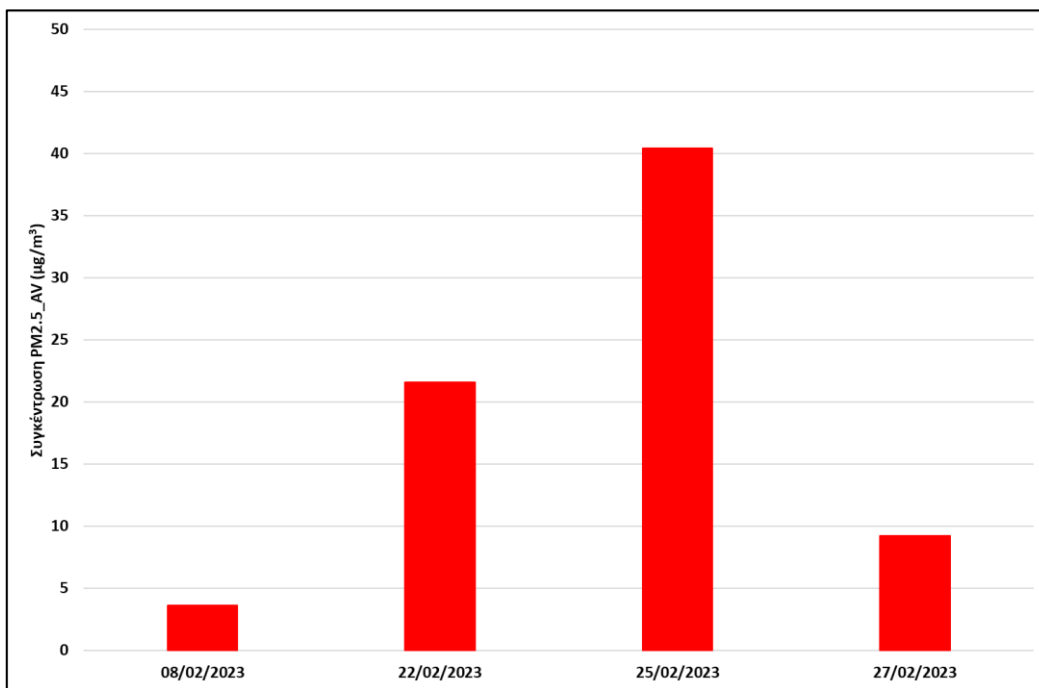
6.3 Αποτελέσματα Φεβρουαρίου – Ford

6.3.1 Μέση ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα)

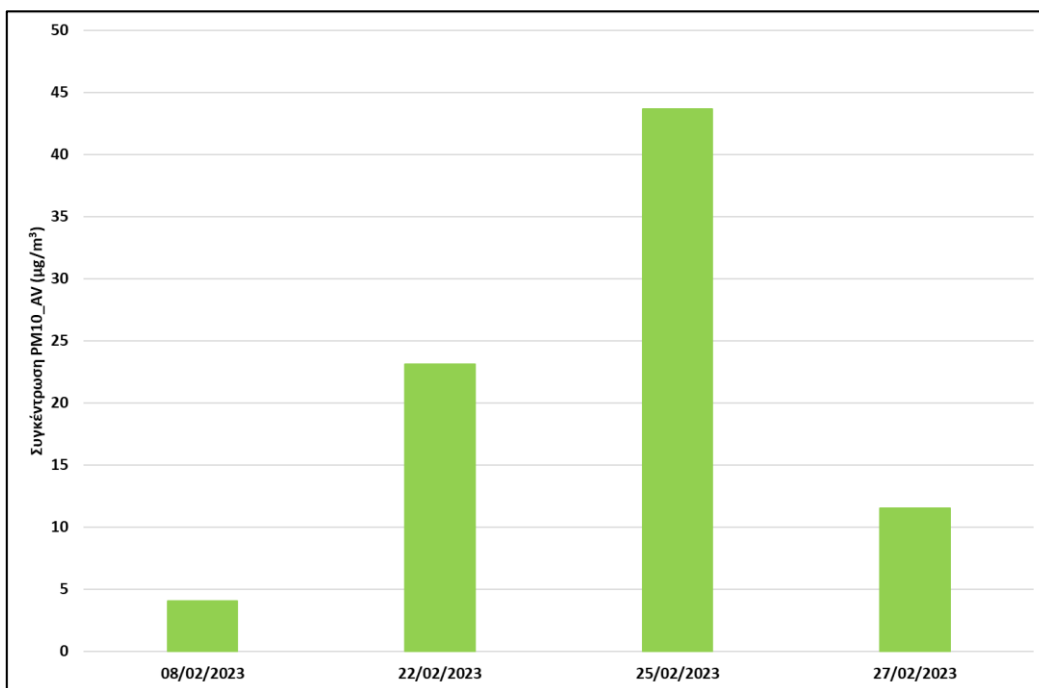
Στα Σχήματα 6.3.1.1-6.3.1.3 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Φεβρουάριο (2023). Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 3 διαδρομές, με 2 επιβάτες και κλειστά παράθυρα, από τον Γέρακα έως το Παραπουγκί Μεσσηνίας. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί, είναι η σχεδόν διπλάσια τιμή που καταγράφηκε κατά την διαδρομή Γέρακας – Ακαδημία Αθηνών, στις 25 Φεβρουαρίου.



Σχήμα 6.3.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁ για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).



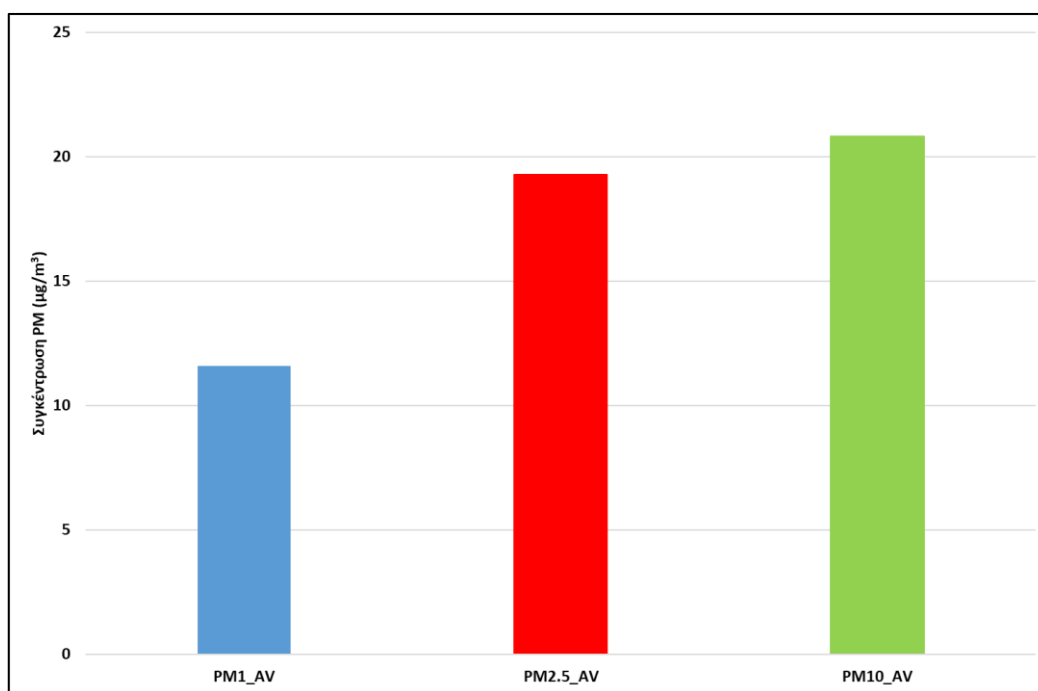
Σχήμα 6.3.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).



Σχήμα 6.3.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).

6.3.2 Μέση μηνιαία τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.3.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Φεβρουάριο (2023). Πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 4 ημερών, 4 διαδρομές. Ο μήνας παρουσιάζει σχεδόν ίδια εικόνα με τον Ιανουάριο.

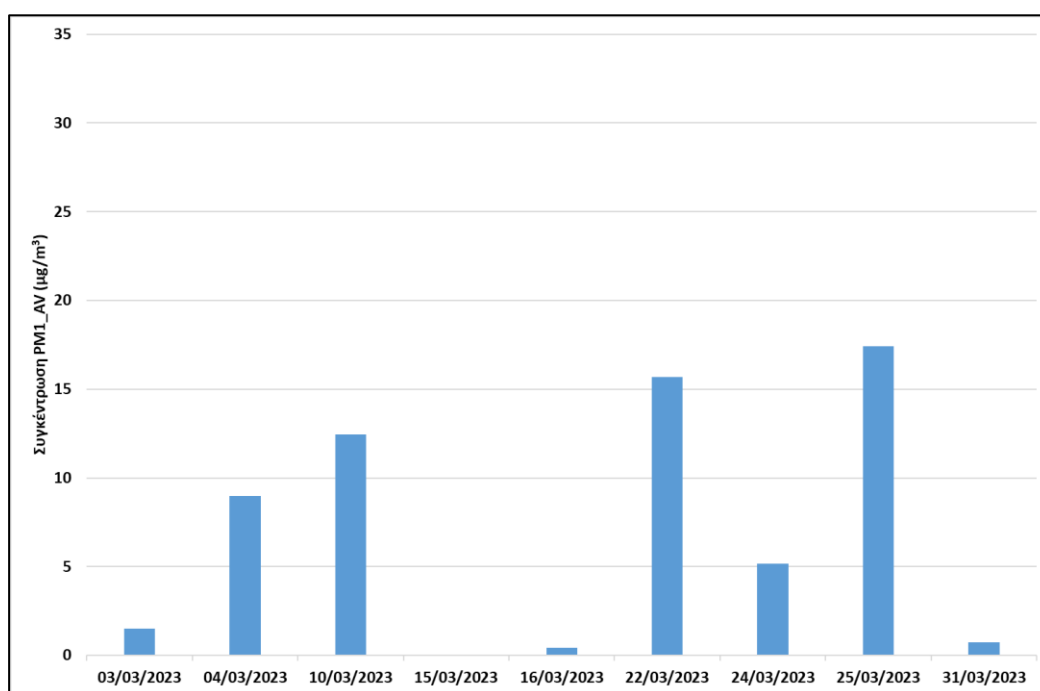


Σχήμα 6.3.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Ford).

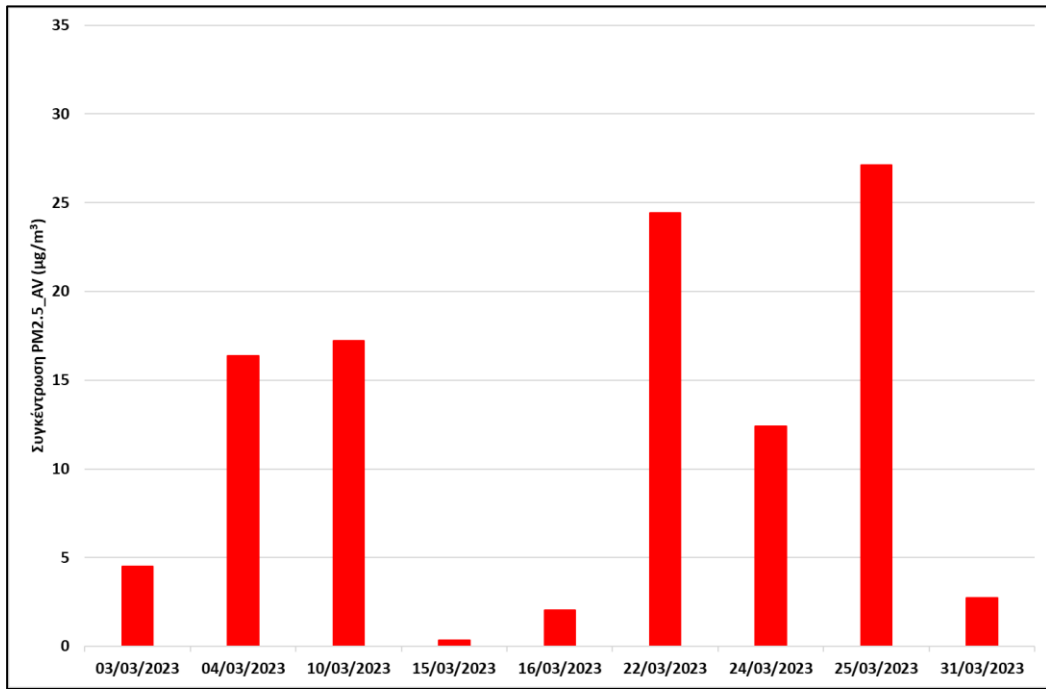
6.4 Αποτελέσματα Μαρτίου – Ford

6.4.1 Μέση ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)

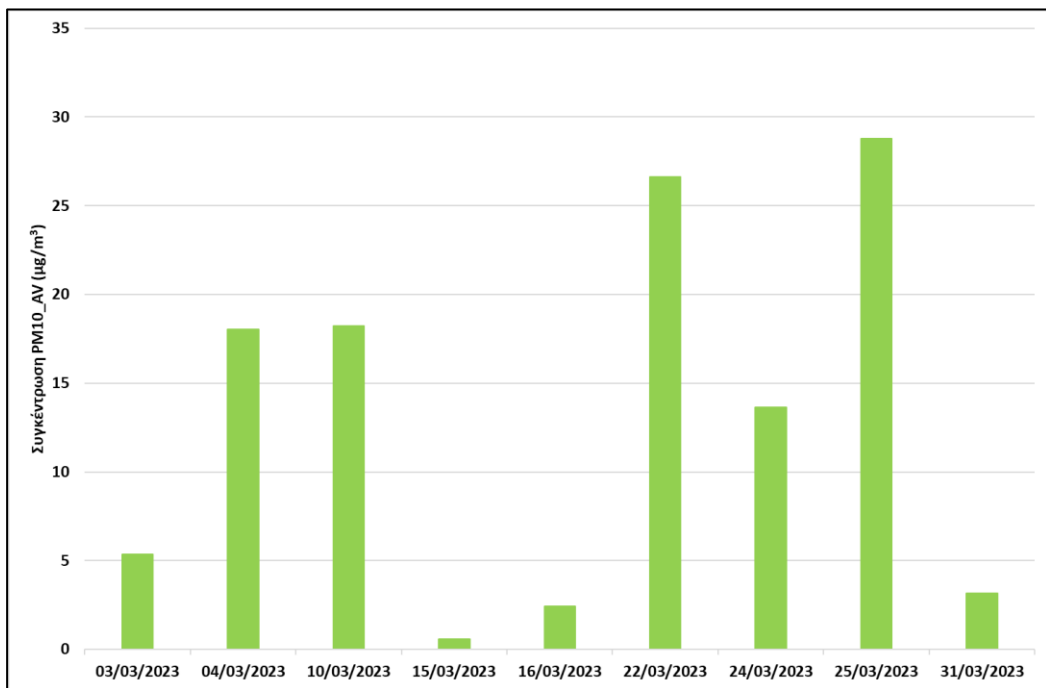
Στα Σχήματα 6.4.1.1 – 6.4.1.3 παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το πετρελαιοκίνητο όχημα, για τον μήνα Μάρτιο (2023). Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} κινούνται σε πάρα πολύ χαμηλά επίπεδα και συγκεκριμένα εμφανίζουν μέγιστες τιμές $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Στις 22 και στις 25 Μαρτίου εμφανίζονται οι δύο μεγαλύτερες τιμές, που οφείλονται σε φαινόμενα αφρικανικής σκόνης.



Σχήμα 6.4.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).



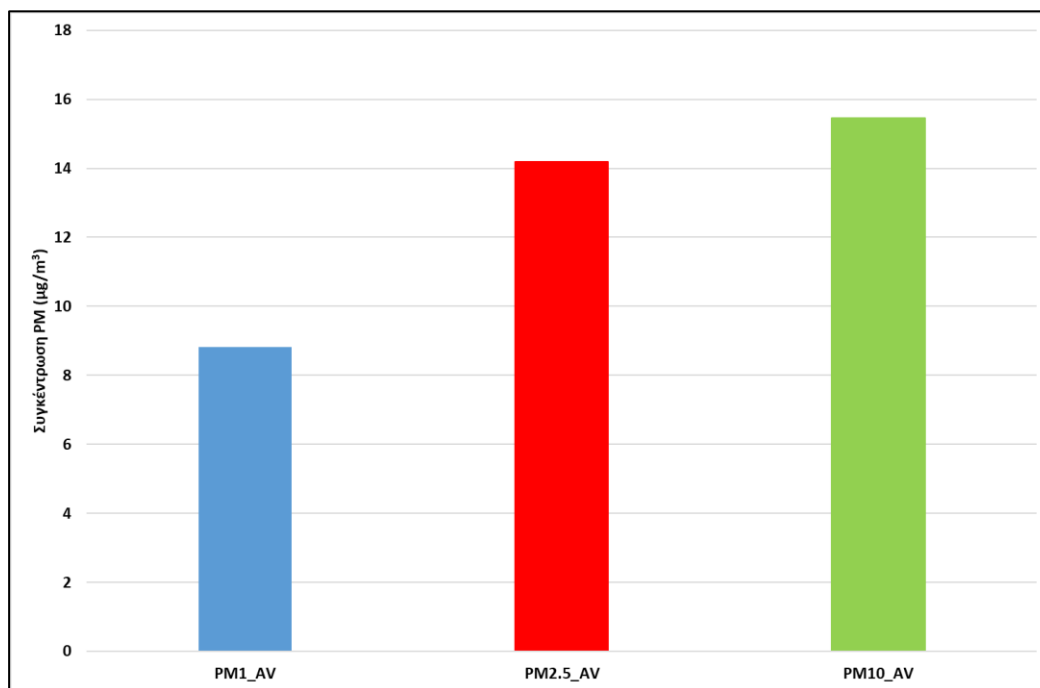
Σχήμα 6.4.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).



Σχήμα 6.4.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).

6.4.2 Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.4.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάρτιο (2023). Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται περίπου από 9 – 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Πραγματοποιήθηκαν διαδρομές μικρής διάρκειας (10 λεπτά περίπου), κυρίως στην περιοχή του Γέρακα (Λ. Μαραθώνος, Πλατεία Γέρακα) σε διάρκεια 9 ημερών.

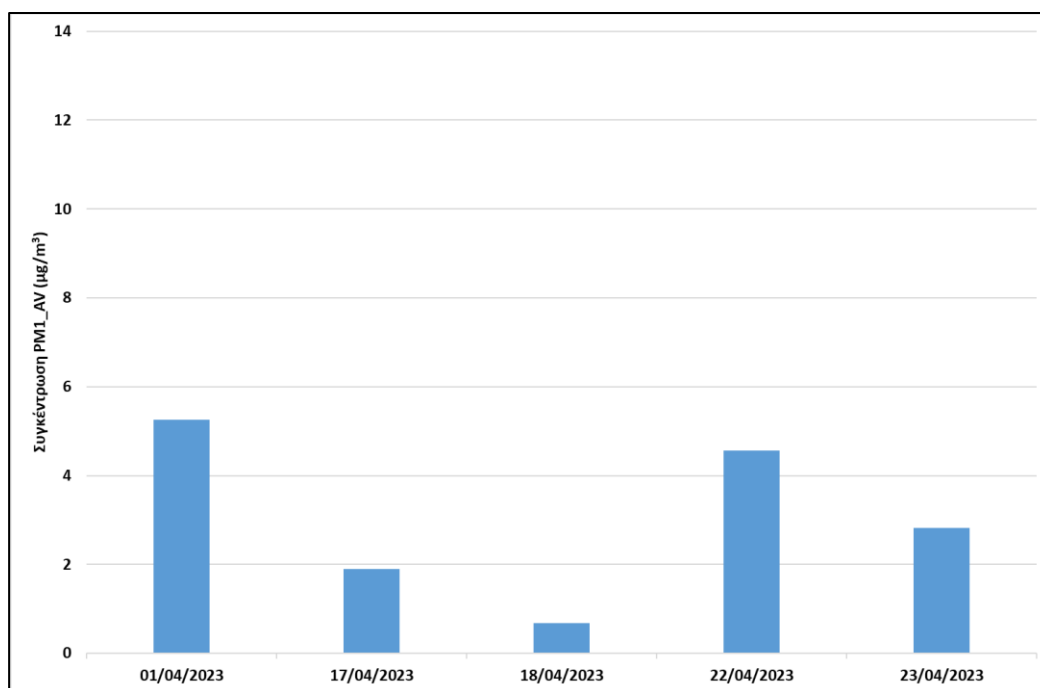


Σχήμα 6.4.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Ford).

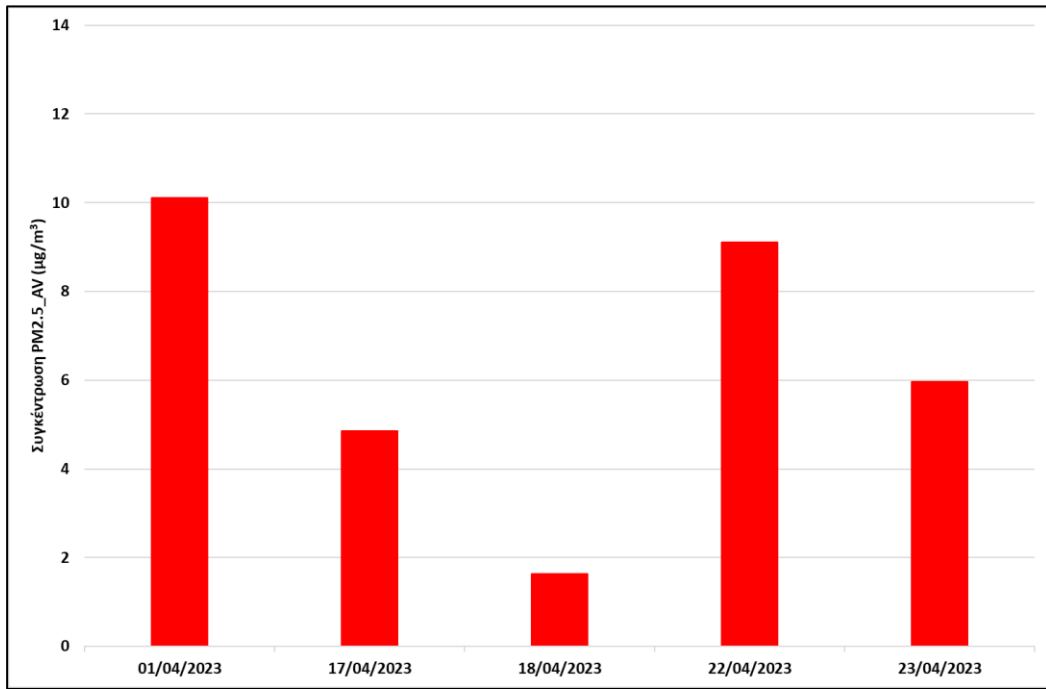
6.5 Αποτελέσματα Απριλίου– Ford

6.5.1 Μέση ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα)

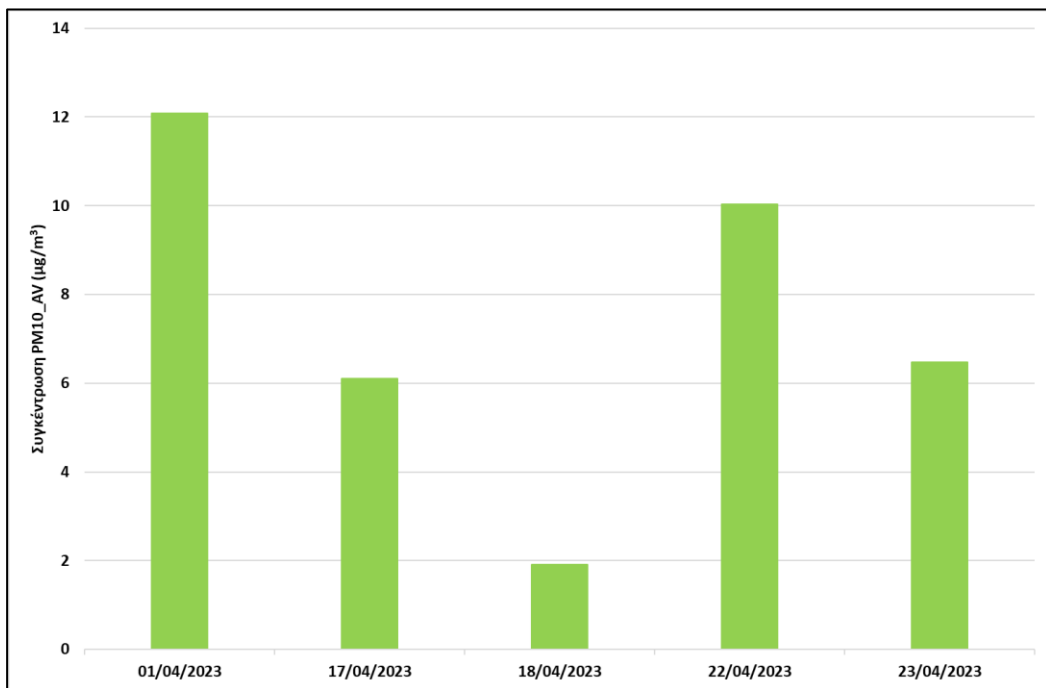
Στα Σχήματα 6.5.1.1 – 6.5.1.3 παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Απρίλιο (2023). Η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται την πρώτη μέρα του μήνα, όπου το όχημα κινήθηκε από τον Γέρακα έως το Αιγάλεω μέσω Αττικής οδού. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 7 διαδρομές, με 2 έως 4 επιβάτες, κλειστά παράθυρα και απενεργοποιημένη θέρμανση/Air Condition.



Σχήμα 6.5.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).



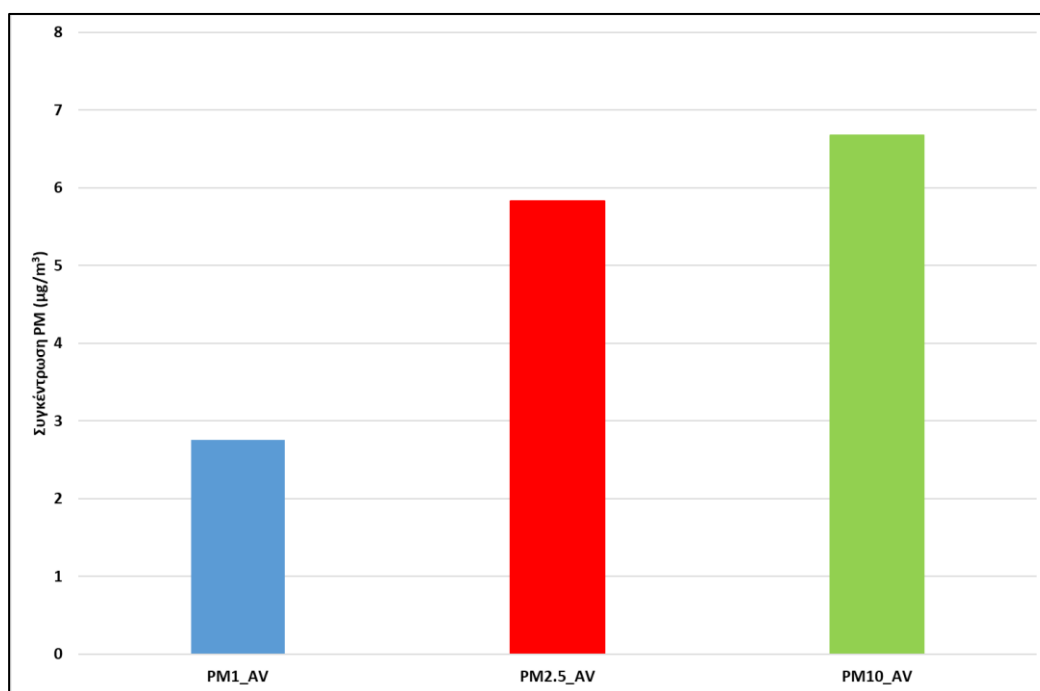
Σχήμα 6.5.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).



Σχήμα 6.5.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).

6.5.2 Μέση μηνιαία τιμή Απριλίου (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.5.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το πετρελαιοκίνητο όχημα, τον μήνα Απρίλιο (2023). Φαίνεται να είναι ο μήνας που εμφανίζει τις μικρότερες τιμές συγκέντρωσης. Πραγματοποιήθηκαν 7 διαδρομές κατά τη διάρκεια 5 ημερών του μήνα.

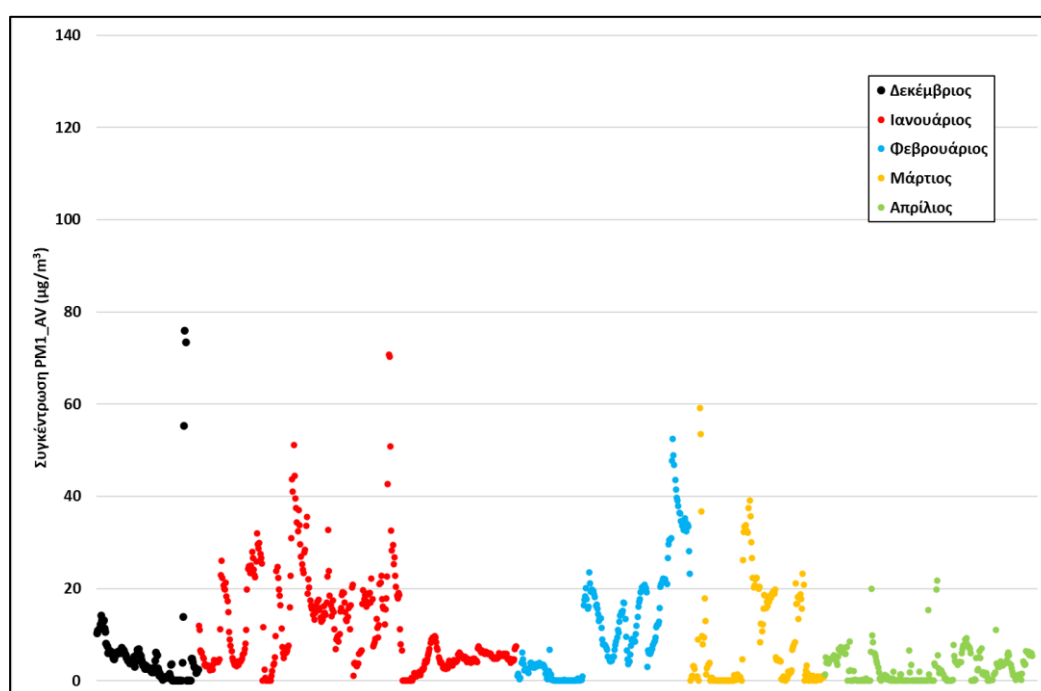


Σχήμα 6.5.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Ford).

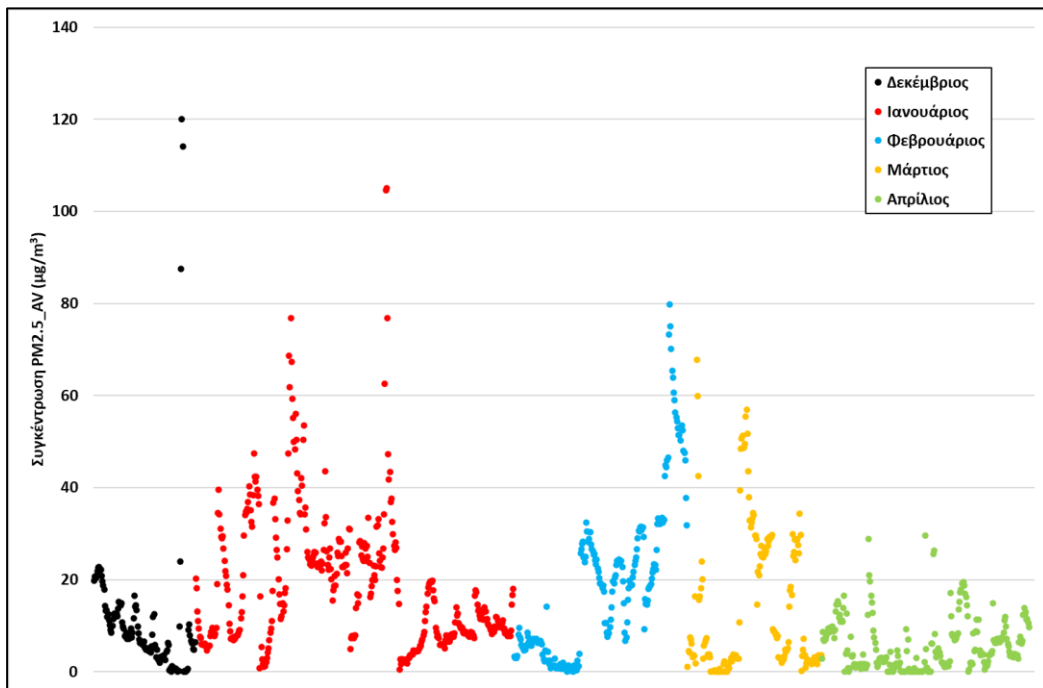
6.6 Αποτελέσματα – Ford

6.6.1 Διακύμανση

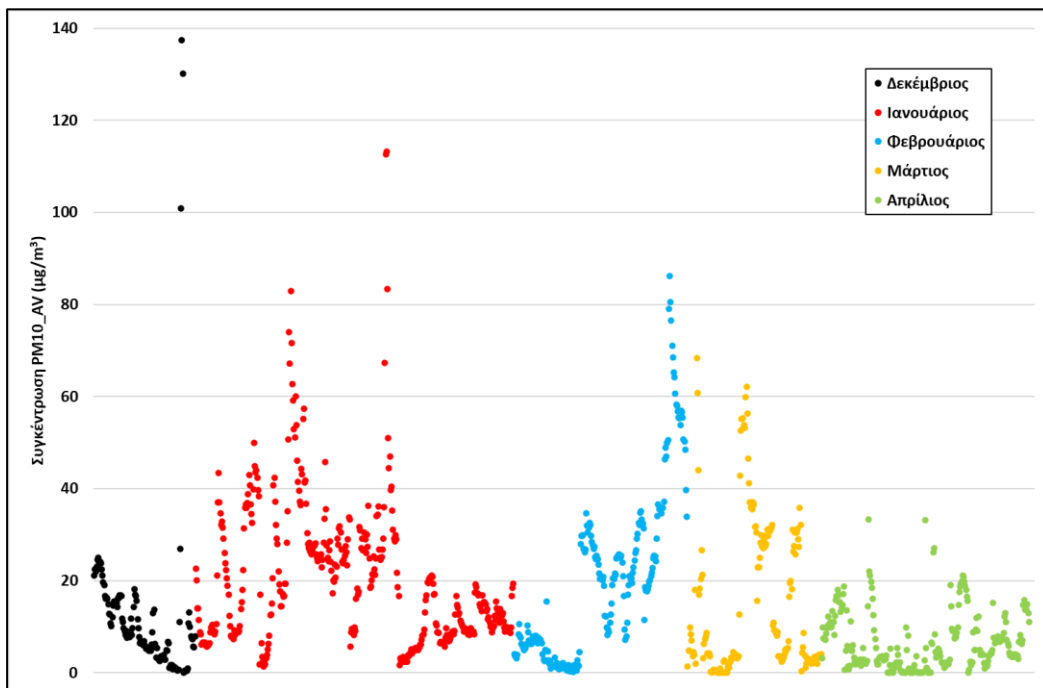
Στα Σχήματα 6.6.1.1 – 6.6.1.3. παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των ρύπων για το πετρελαιοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Δεκέμβριο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023. Σε γενικές γραμμές οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες, ενώ τους πιο θερμούς μήνες οι συγκεντρώσεις είναι πιο χαμηλές. Ο πιο επιδραστικός ρύπος είναι τα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}).



Σχήμα 6.6.1.1: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).



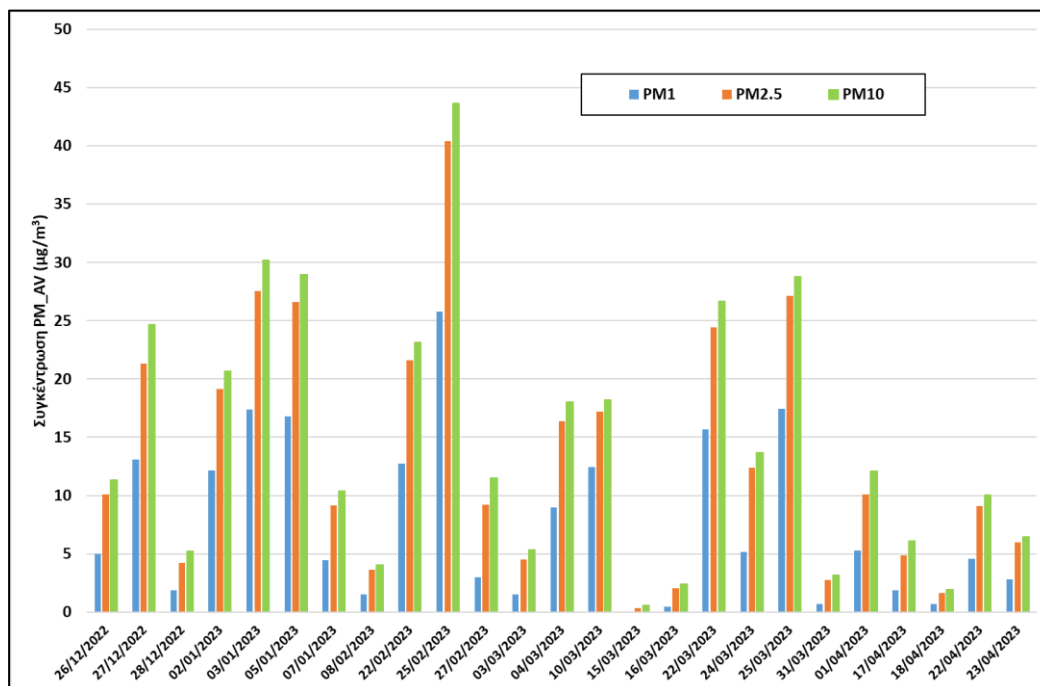
Σχήμα 6.6.1.2: Διακύμανση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).



Σχήμα 6.6.1.3: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).

6.6.2 Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα)

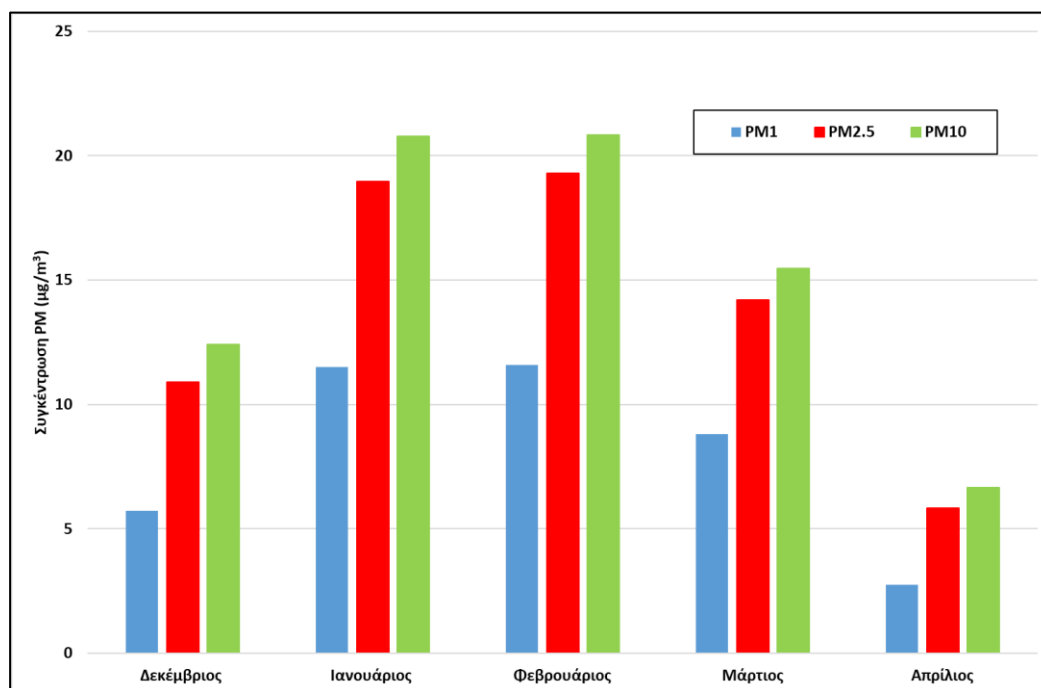
Στο **Σχήμα 6.6.2.1** απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το πετρελαιοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Δεκέμβριο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023. Παρατηρώντας τις συγκεντρώσεις συνολικά, βλέπουμε ότι σε γενικές γραμμές διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Το μέγιστο εμφανίζεται στις 25 Φεβρουαρίου, που πραγματοποιήθηκε όπως έχει αναφερθεί η διαδρομή Γέρακας – Ακαδημία Αθηνών (κέντρο).



Σχήμα 6.6.2.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).

6.6.3 Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα)

Στο **Σχήμα 6.6.3.1** παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} , για το πετρελαιοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Δεκέμβριο του 2022 έως τον Απρίλιο του 2023. Οι μηνιαίες τιμές δεν φαίνεται να παρουσιάζουν κάποια σαφή μεταβολή. Ωστόσο, οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο.



Σχήμα 6.6.3.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Δεκέμβριο (2022) μέχρι τον Απρίλιο (2023) (Ford).

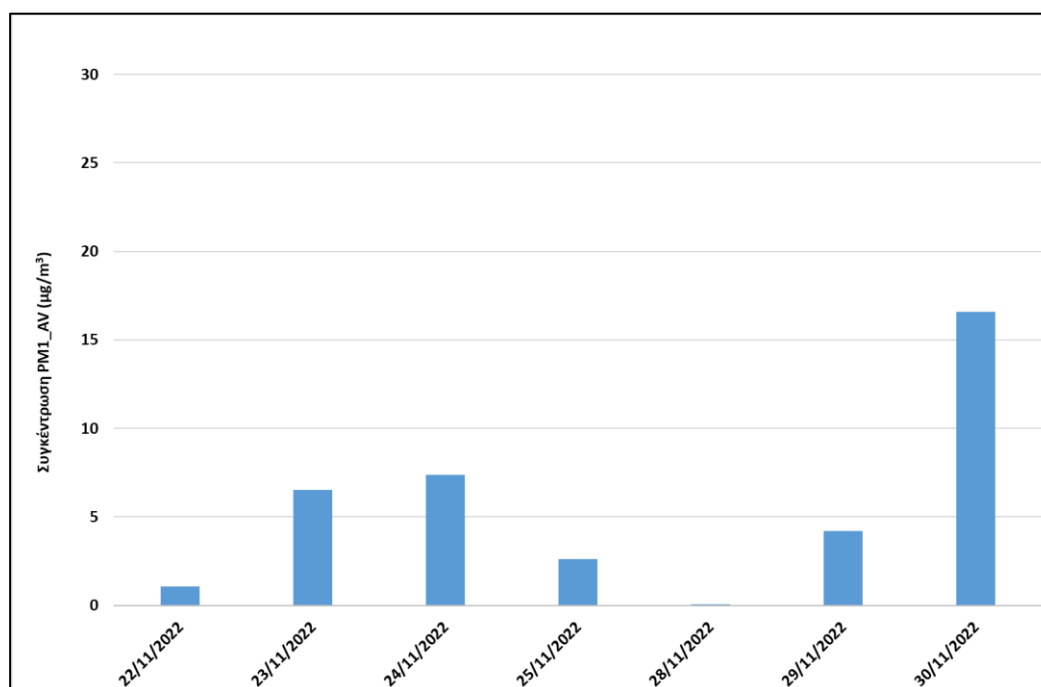
6.7 Αποτελέσματα Νοεμβρίου – Subaru

6.7.1 Μέση ημερήσια τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα)

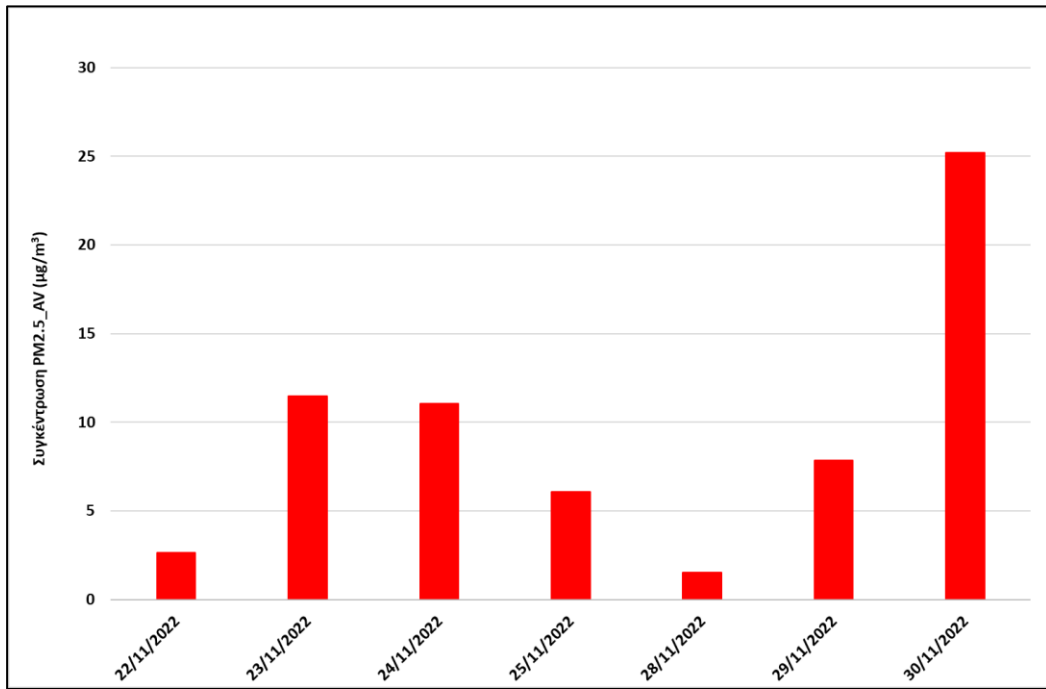
Στα Σχήματα 6.7.1.1-6.7.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα), για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Νοέμβριο (2022). Το όχημα κινήθηκε κυρίως από τη Νέα Σμύρνη μέχρι το Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (ΠΑΔΑ) και το Μεταξουργείο. Όλες οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με έναν μόνο επιβάτη, κλειστά κυρίως παράθυρα και ενεργοποιημένη θέρμανση.

Από 22 έως 25 Νοεμβρίου ο καιρός ήταν καλός, με ελάχιστη συννεφιά, ενώ από 25 έως 28 Νοεμβρίου ήταν αρκετά συννεφιασμένος και σημειώθηκαν πολλές βροχές. Η μέγιστη τιμή παρατηρείται στις 30 Νοεμβρίου, όπου το όχημα πραγματοποίησε συνολικά 4 διαδρομές, Νέα Σμύρνη - ΠΑΔΑ, ΠΑΔΑ - Νέα Σμύρνη, Καλλιθέα - Μεταξουργείο και Μεταξουργείο - Καλλιθέα. Μία μικρή αύξηση παρατηρείται και στις 23 και 24 Νοεμβρίου, όπου το όχημα πάλι κινήθηκε στην περιοχή Μεταξουργείο.

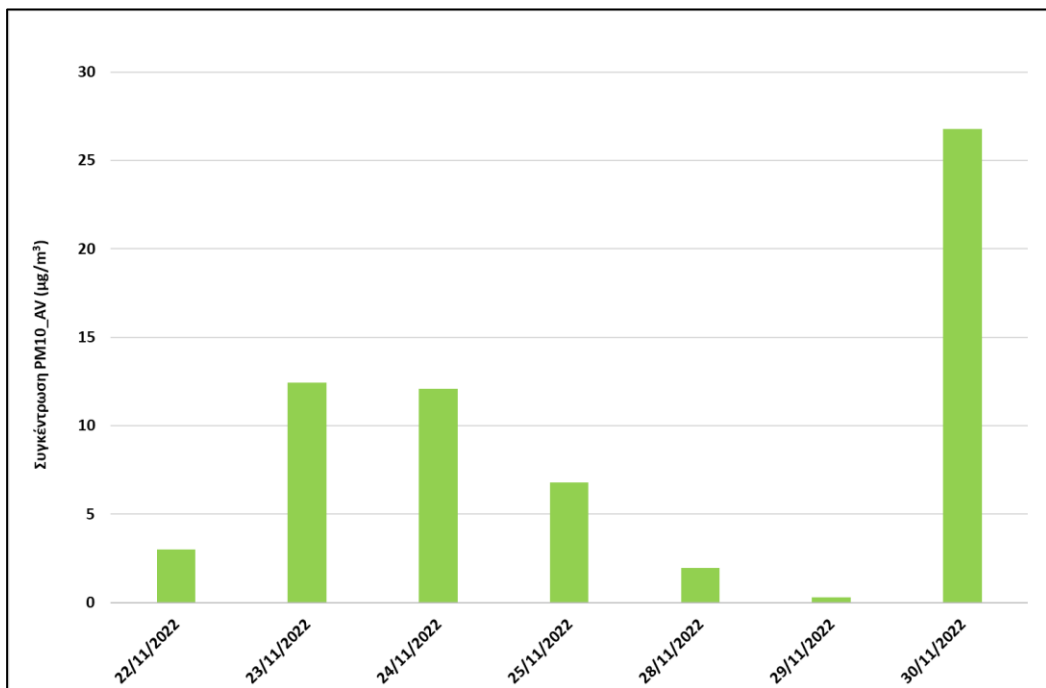
Στις 29 Νοεμβρίου, οι συγκεντρώσεις των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} , είναι $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν μία πολύ απότομη μείωση στη συγκέντρωση των PM_{10} , με την τιμή της να είναι χαμηλότερη των άλλων δύο. Αυτό που πιθανότατα να οφείλεται σε κάποιο σφάλμα καταγραφής του οργάνου.



Σχήμα 6.7.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).



Σχήμα 6.7.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).

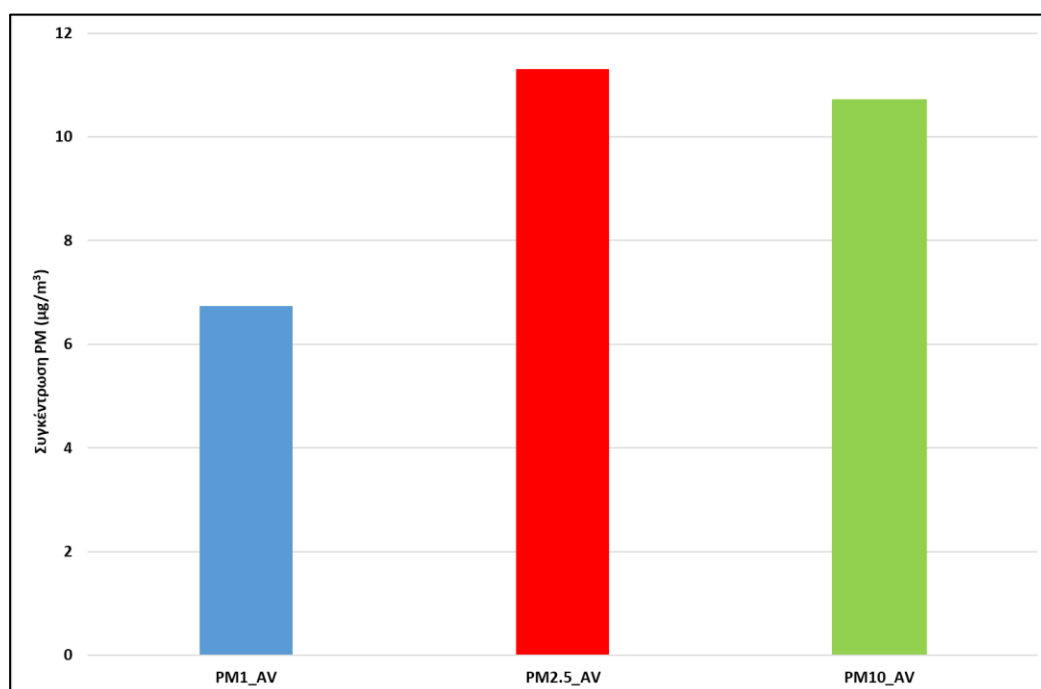


Σχήμα 6.7.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).

6.7.2 Μέση μηνιαία τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα)

Στο **Σχήμα 6.7.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Νοέμβριο (2022). Γενικότερα σημειώθηκαν 18 διαδρομές σε μόλις 7 ημέρες του μήνα (κυρίως προς το τέλος του).

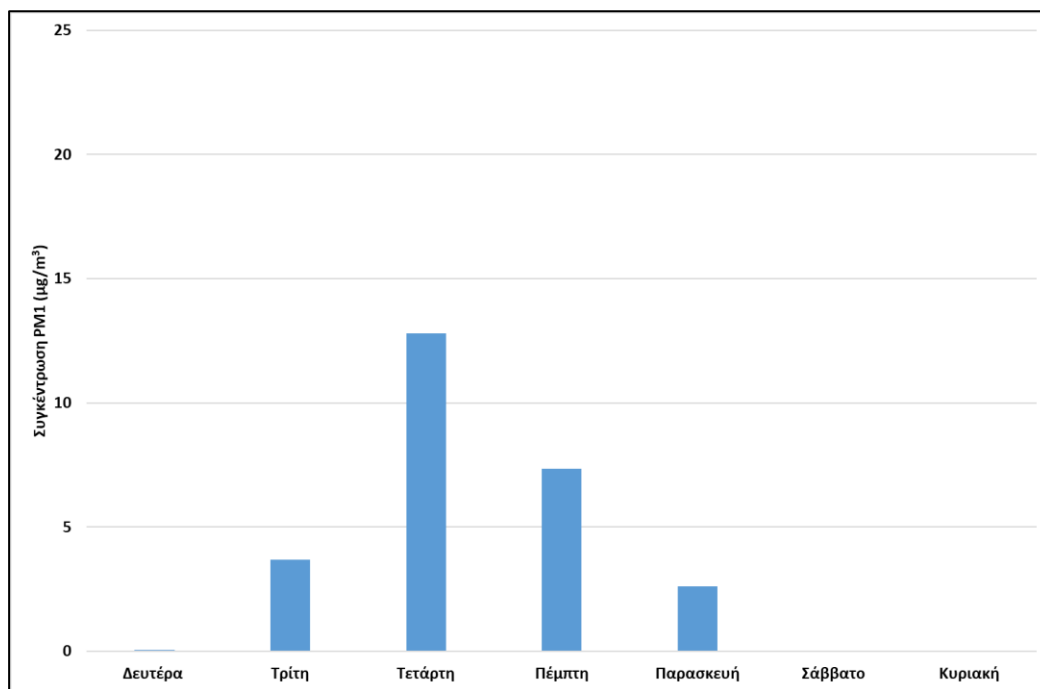
Ο επιδραστικός ρύπος δείχνει να είναι τα $PM_{2.5}$. Η μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} , φαίνεται να έχει επηρεαστεί σημαντικά από το σφάλμα καταγραφής, που σημειώθηκε στις 29 Νοεμβρίου.



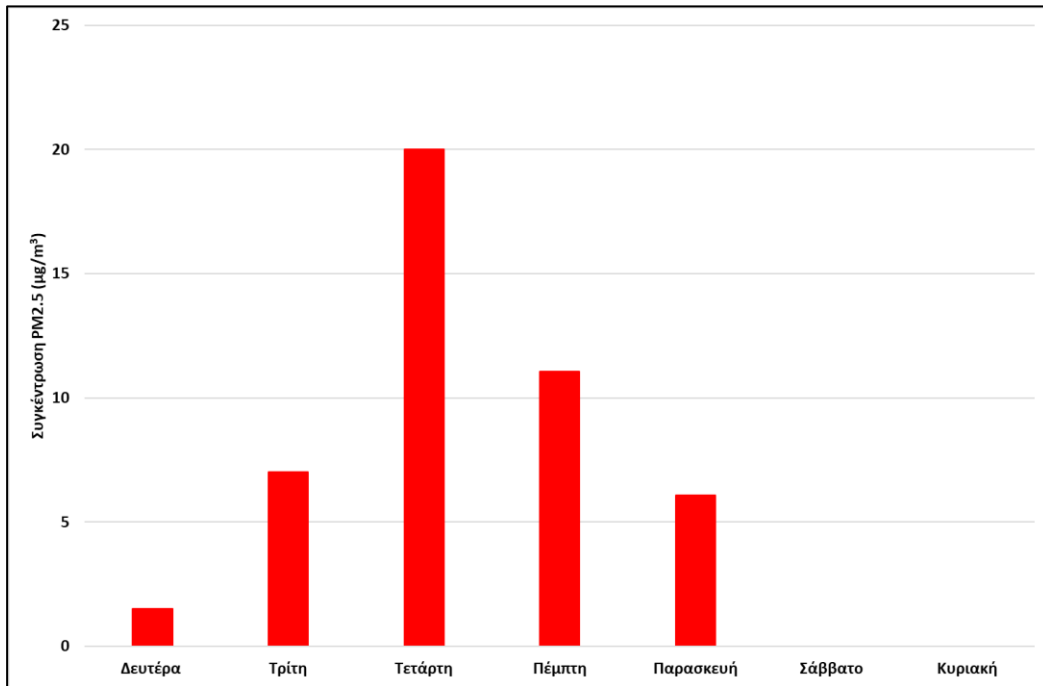
Σχήμα 6.7.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).

6.7.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Νοεμβρίου (2-λεπτα)

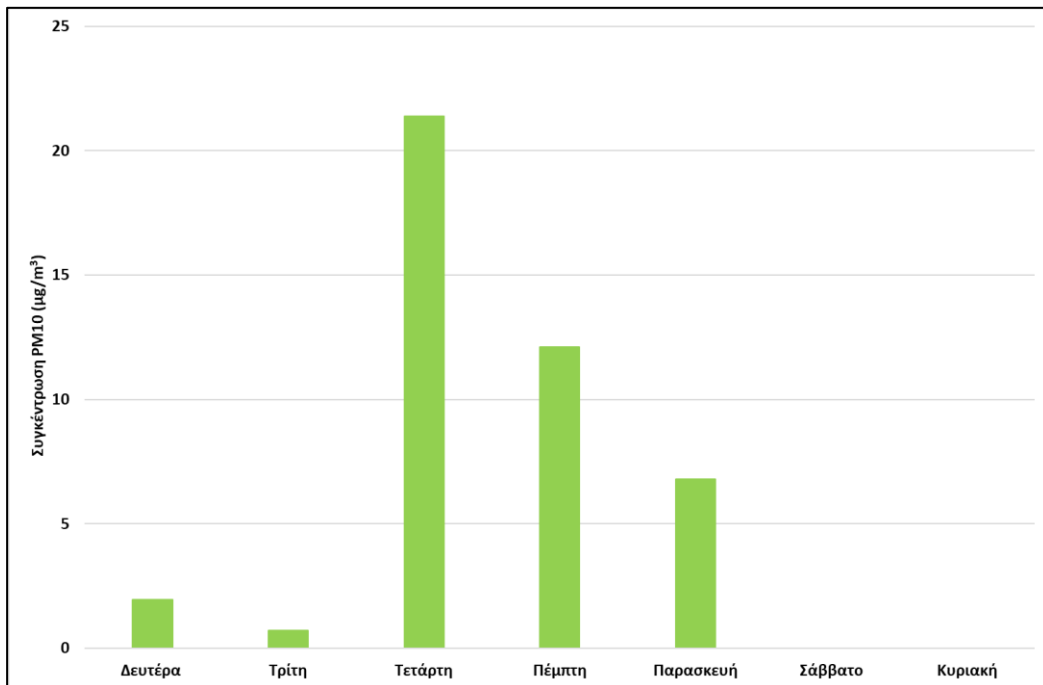
Στα Σχήματα 6.7.3.1-6.7.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Νοέμβριο (2022). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στη μέση της εβδομάδας. Ωστόσο η εικόνα δεν θεωρείται ούτε αντιπροσωπευτική, ούτε ολοκληρωμένη, για όλο τον μήνα, εξαιτίας του μικρού αριθμού διαδρομών που πραγματοποιήθηκαν.



Σχήμα 6.7.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).



Σχήμα 6.7.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).



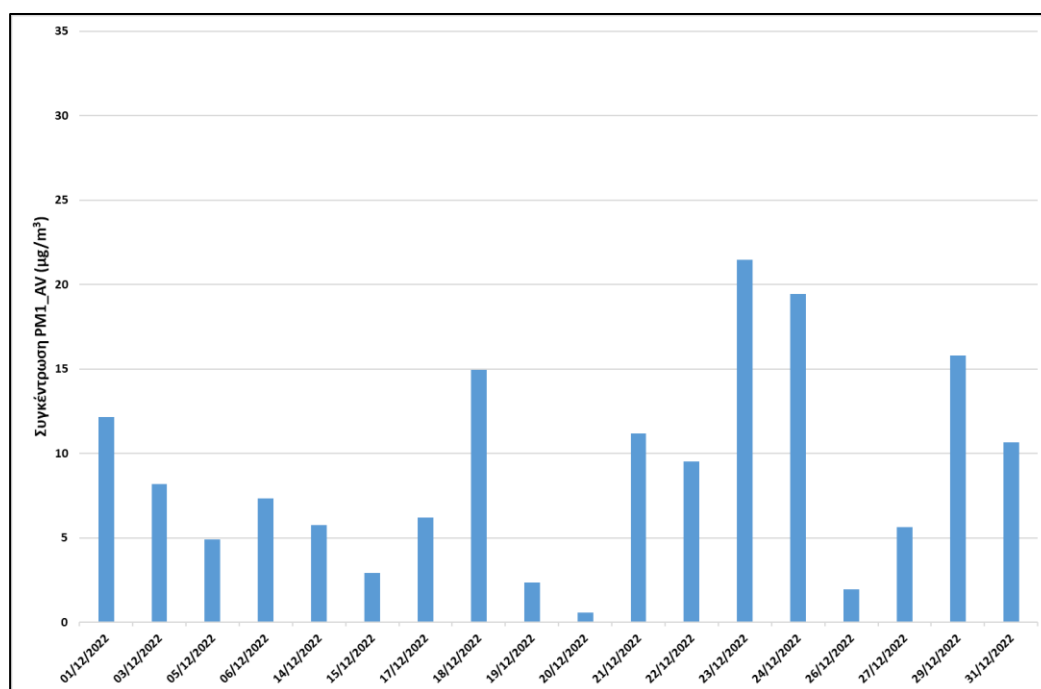
Σχήμα 6.7.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Νοέμβριο του 2022 (Subaru).

6.8 Αποτελέσματα Δεκεμβρίου – Subaru

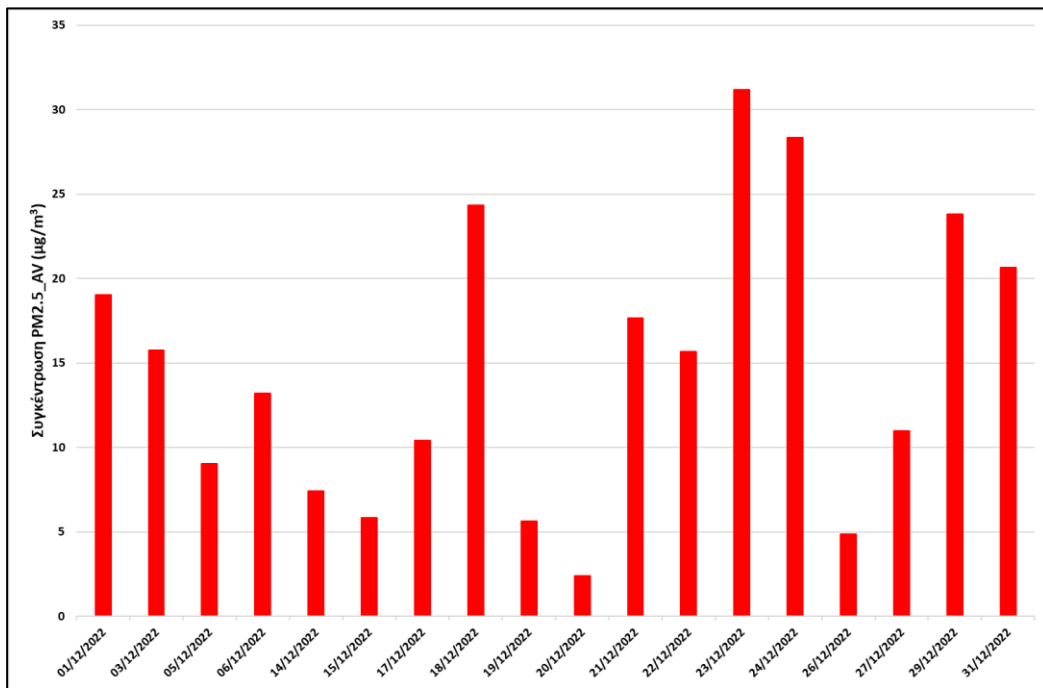
6.8.1 Μέση ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.8.1.1-6.8.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα), για βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Δεκέμβριο (2022). Οι μέγιστες τιμές των τριών ρύπων PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} είναι αντίστοιχα $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και σημειώθηκαν κατά τη μετακίνηση του οχήματος στο κέντρο της πόλης και συγκεκριμένα στα Εξάρχεια. Κατά τη διάρκεια των διαδρομών, τα παράθυρα ήταν κλειστά και η θέρμανση κυρίως απενεργοποιημένη. Όλες οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με έναν επιβάτη, εκτός από τις 6 Δεκεμβρίου, που συμμετείχαν 4 επιβάτες. Ωστόσο η μικρή αύξηση που παρατηρείται εκείνη την ημέρα πιθανότατα να οφείλεται στην μετακίνηση του οχήματος στο κέντρο και όχι τόσο στον αριθμό των επιβατών.

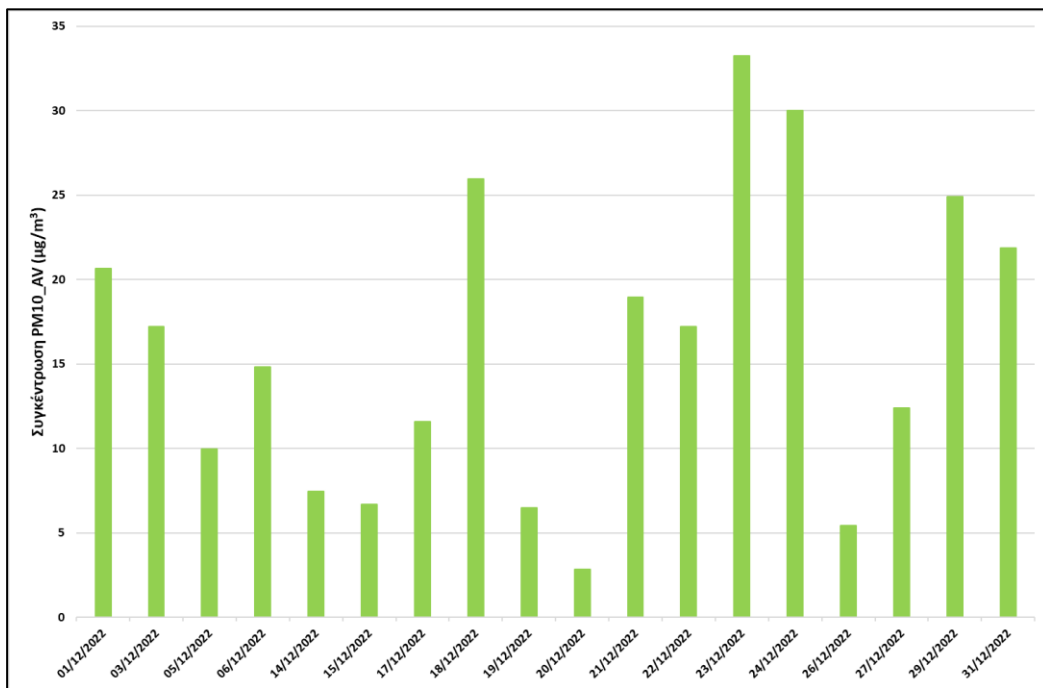
Στις 18 και στις 29 Δεκεμβρίου, παρατηρείται επίσης μία αύξηση στις συγκεντρώσεις, που το όχημα πραγματοποίησε τη διαδρομή Κινέτα – Νέα Σμύρνη. Η αύξηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε φυσικές πηγές και συγκεκριμένα σε θαλάσσια αερολύματα.



Σχήμα 6.8.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).



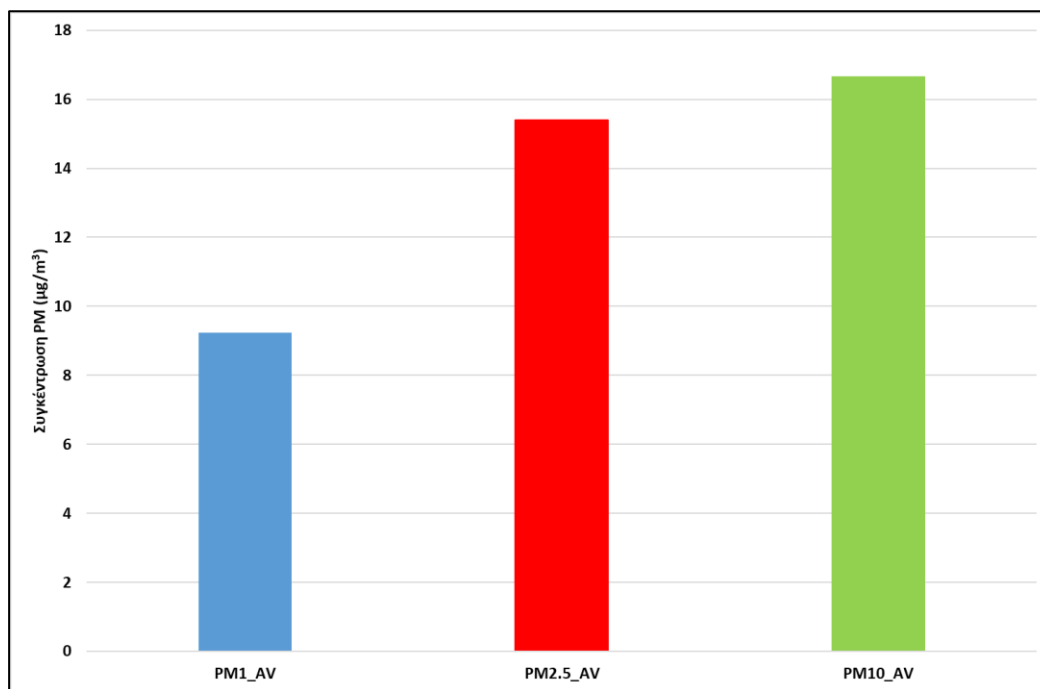
Σχήμα 6.8.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).



Σχήμα 6.8.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).

6.8.2 Μέση μηνιαία τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.8.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Δεκέμβριο (2022). Σημειώθηκαν σε 18 ημέρες του μήνα, συνολικά 42 διαδρομές. Παρά τις υψηλές τιμές που καταγράφηκαν, κατά τις μετακινήσεις στο κέντρο, η συνολική εικόνα του μήνα είναι αρκετά καλή, με τις συγκεντρώσεις να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα.

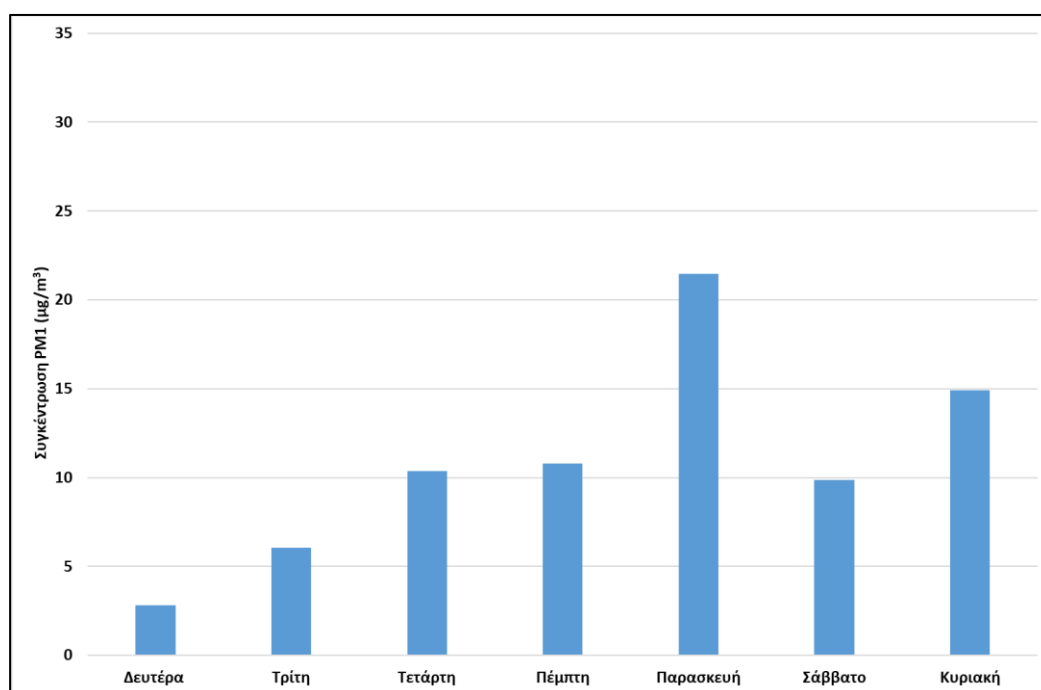


Σχήμα 6.8.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).

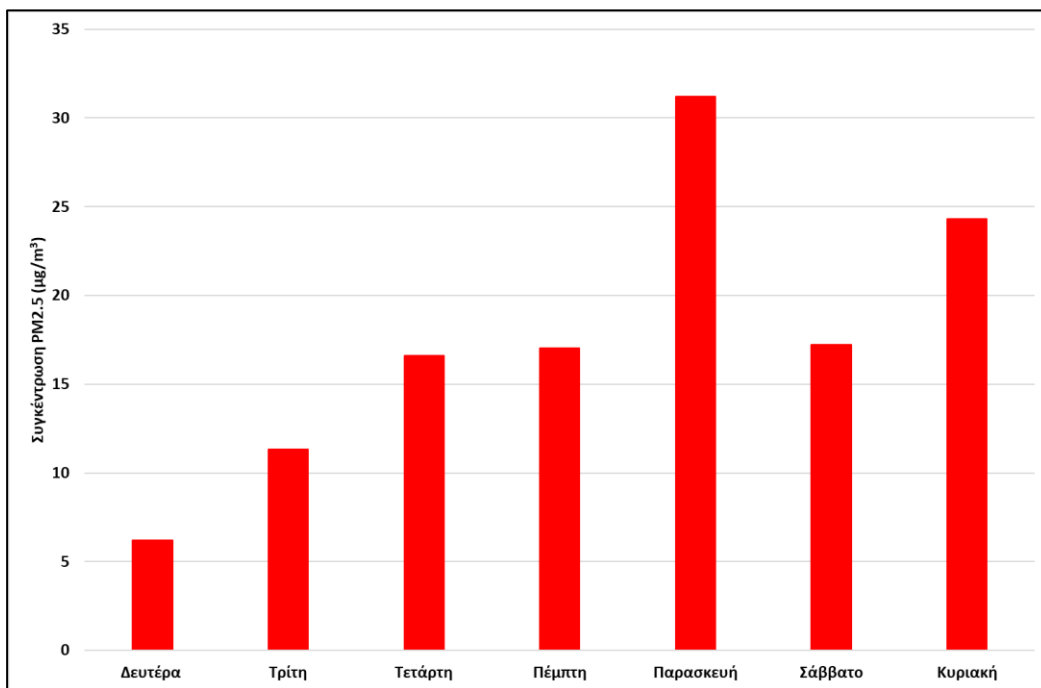
6.8.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Δεκεμβρίου (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.8.3.1-6.8.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Δεκέμβριο (2022). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 18 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 3 Δευτέρες, 3 Τρίτες, 2 Τετάρτες, 4 Πέμπτες, 1 Παρασκευή, 4 Σάββατα και 1 Κυριακή.

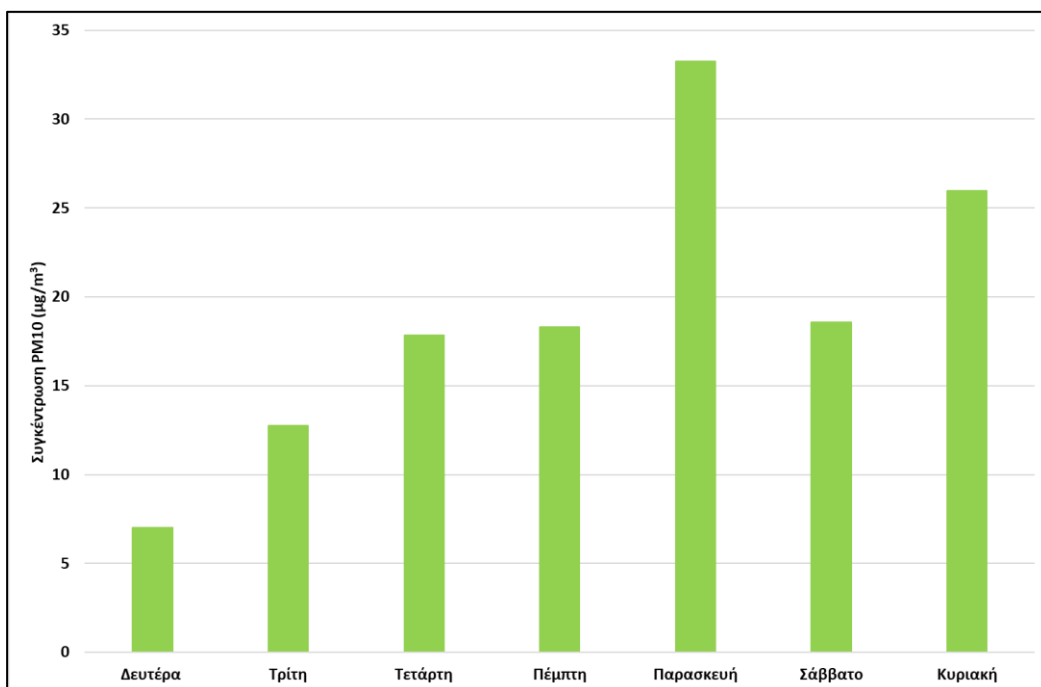
Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι η εικόνα της Παρασκευής και της Κυριακής δεν είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτική. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ωστόσο, καταγράφηκαν την Παρασκευή και την Κυριακή. Παράλληλα παρατηρείται μία μικρή, σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων, τις εργάσιμες ημέρες (Από Δευτέρα έως Παρασκευή).



Σχήμα 6.8.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM10 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).



Σχήμα 6.8.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).



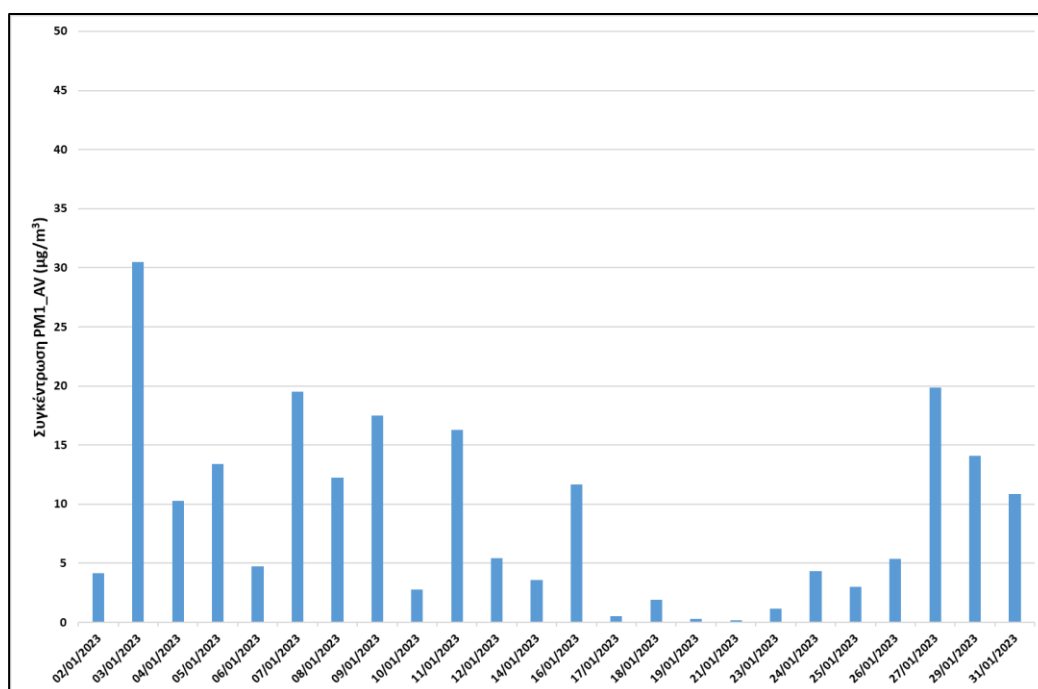
Σχήμα 6.8.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Δεκέμβριο του 2022 (Subaru).

6.9 Αποτελέσματα Ιανουαρίου – Subaru

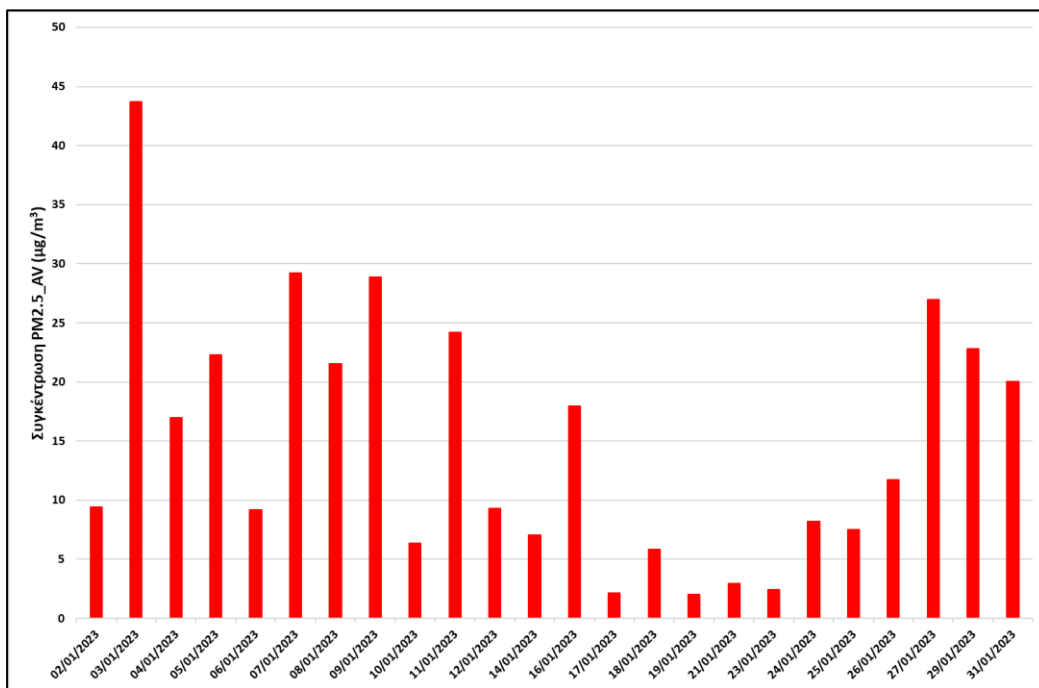
6.9.1 Μέση ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.9.1.1-6.9.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιανουάριο (2022). Οι τιμές των συγκεντρώσεων φαίνεται να παρουσιάζουν μία πιο έντονη διακύμανση σε σύγκριση με τους προηγούμενους μήνες. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν τις περιπτώσεις που το όχημα κινήθηκε στο κέντρο της πόλης (Εξάρχεια, Μεταξουργείο), αλλά και σε παραθαλάσσια περιοχή. Πιο αναλυτικά, για τα PM_{10} , καταγράφηκαν συγκεντρώσεις πάνω από $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, που φτάνανε μέχρι και τα $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ περίπου. Το μεγαλύτερο σύνολο των διαδρομών πραγματοποιήθηκε με κλειστά παράθυρα. Στο 50 % των διαδρομών η θέρμανση ήταν ενεργοποιημένη.

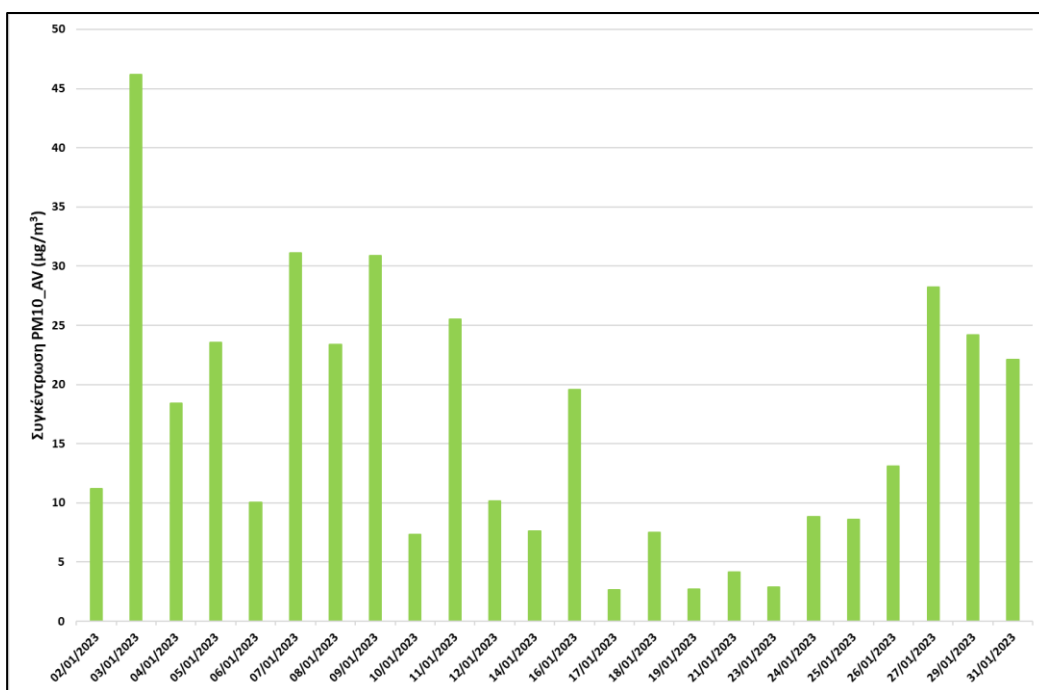
Στις 6 και στις 18 Ιανουαρίου το όχημα κινήθηκε στις περιοχές Λίμνη Δόξα-Άγιοι Θεόδωροι και στο Καλαμάκι αντίστοιχα. Έχουν καταγραφεί ωστόσο πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Οι τιμές αυτές μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι οι περιοχές περιτριγυρίζονται από έντονη βλάστηση και στην μειωμένη κίνηση (Επαρχιακοί δρόμοι).



Σχήμα 6.9.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).



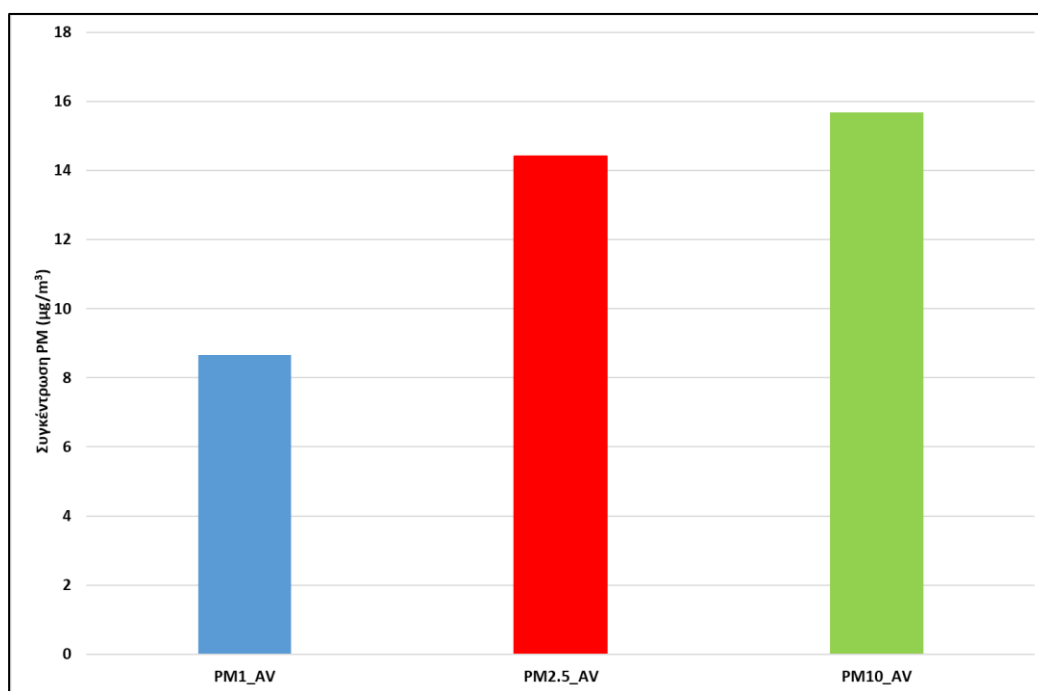
Σχήμα 6.9.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.9.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).

6.9.2 Μέση μηνιαία τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)

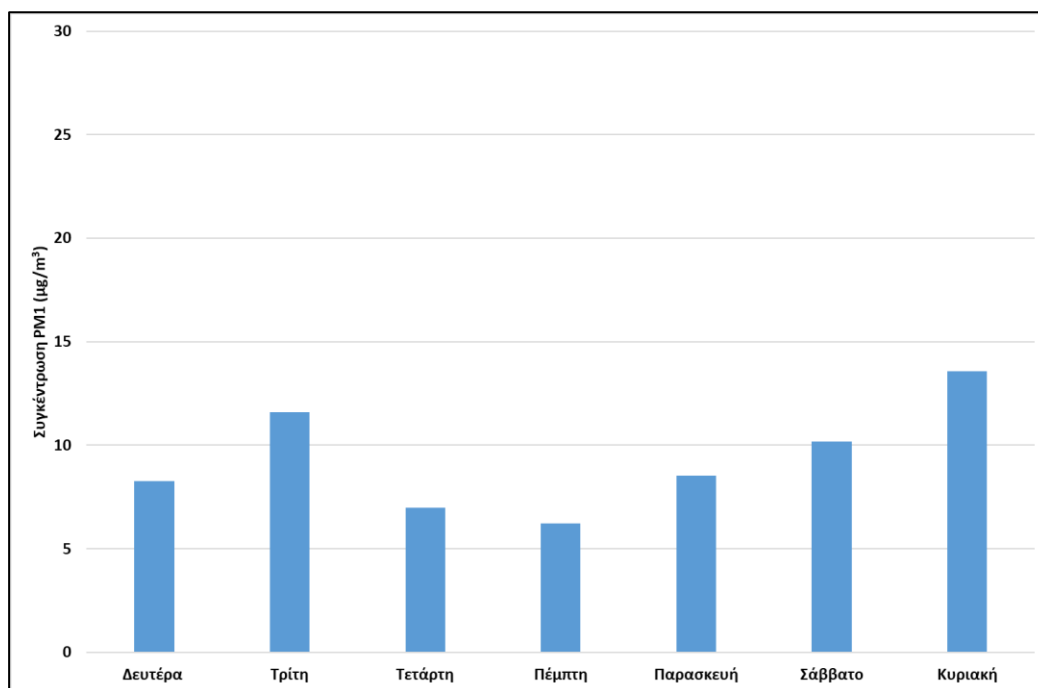
Στο Σχήμα 6.9.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιανουάριο (2023). Πραγματοποιήθηκαν 44 διαδρομές, κατά τη διάρκεια 24 ημερών. Η τελική εικόνα του μήνα είναι παρόμοια με του Δεκεμβρίου.



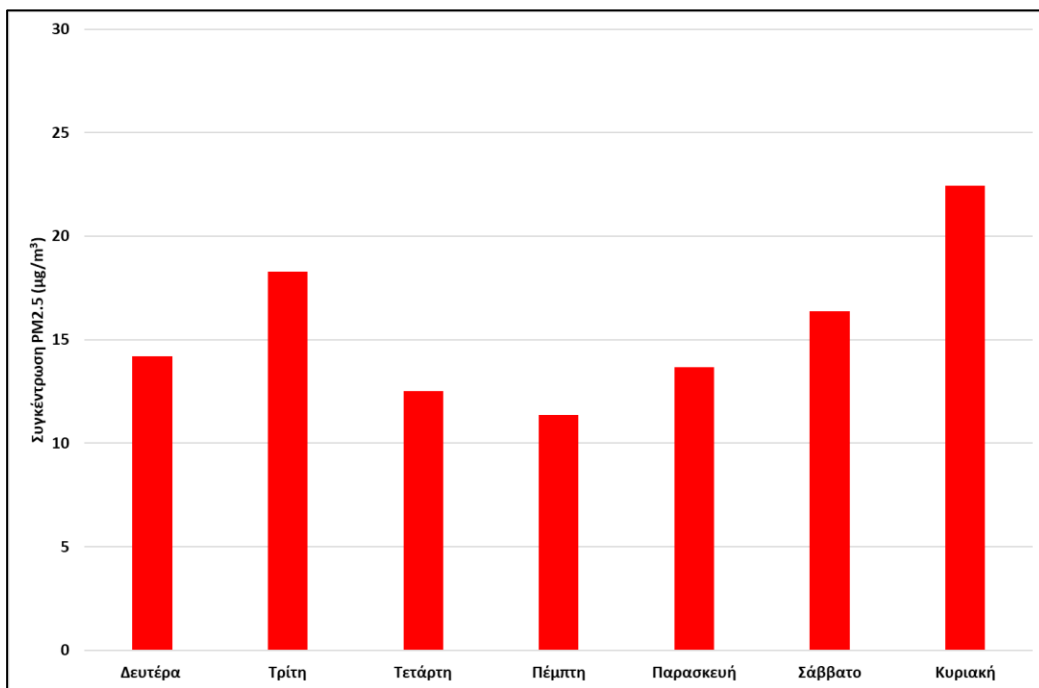
Σχήμα 6.9.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).

6.9.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Ιανουαρίου (2-λεπτα)

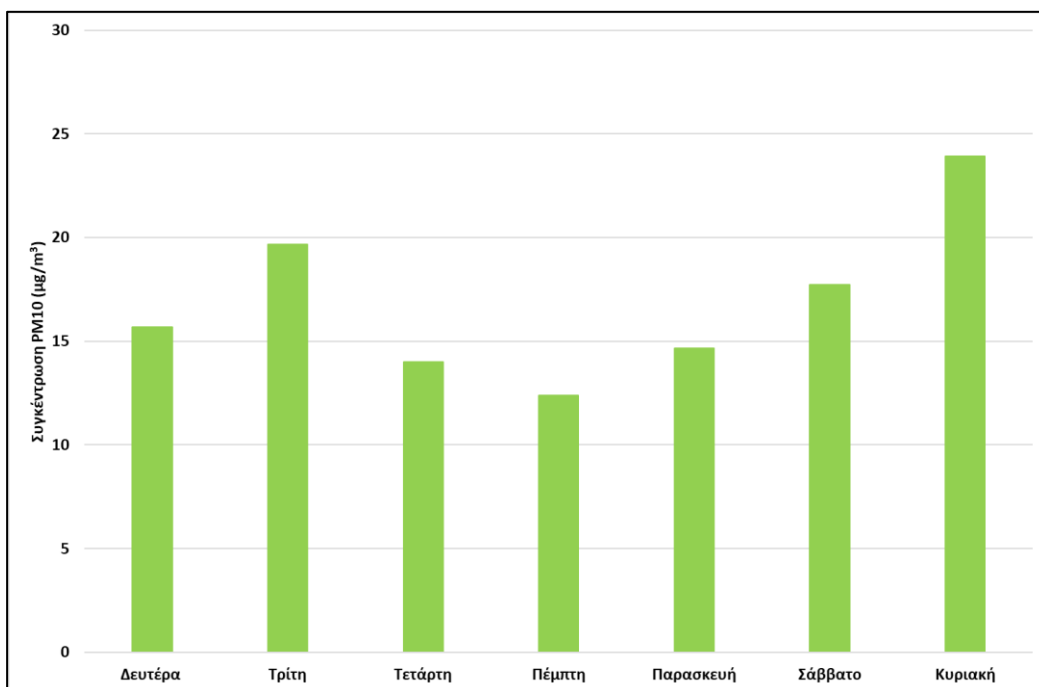
Στα Σχήματα 6.9.3.1-6.9.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιανουάριο (2023). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 24 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 4 Δευτέρες, 5 Τρίτες, 4 Τετάρτες, 4 Πέμπτες, 2 Παρασκευές, 3 Σάββατα και 2 Κυριακές. Τον συγκεκριμένο μήνα δεν παρατηρείται κάποια έντονη διακύμανση των συγκεντρώσεων κατά την διάρκεια της εβδομάδας. Ωστόσο διακρίνεται μία μικρή αύξηση τόσο στα μέσα της εβδομάδας και συγκεκριμένα την Τρίτη, όσο και την Κυριακή.



Σχήμα 6.9.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.9.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).



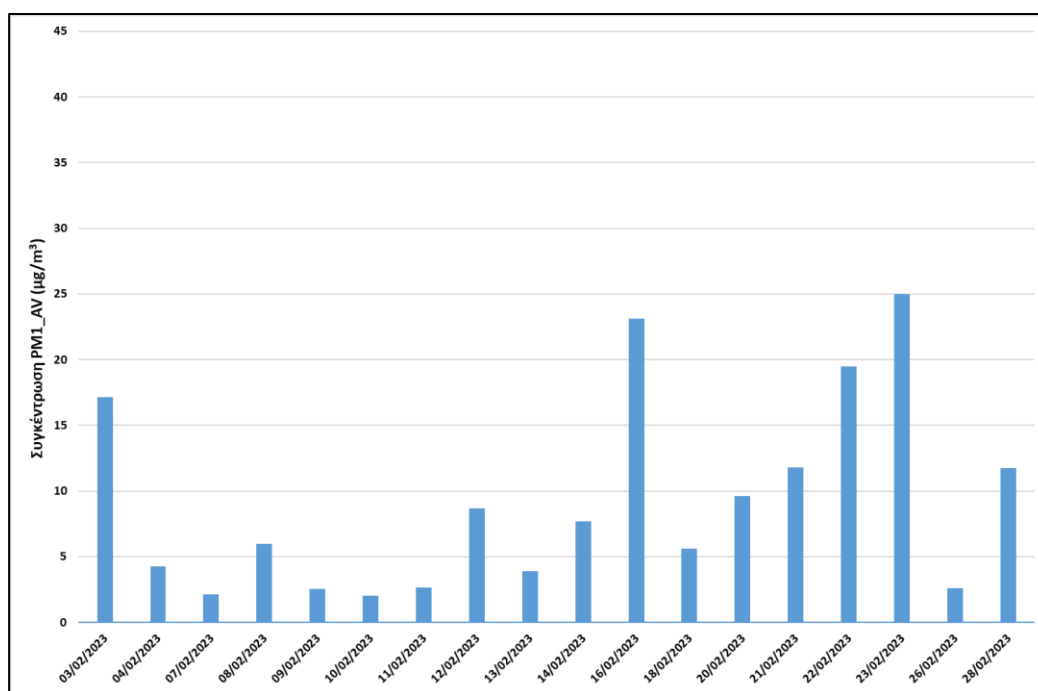
Σχήμα 6.9.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 (Subaru).

6.10 Αποτελέσματα Φεβρουαρίου – Subaru

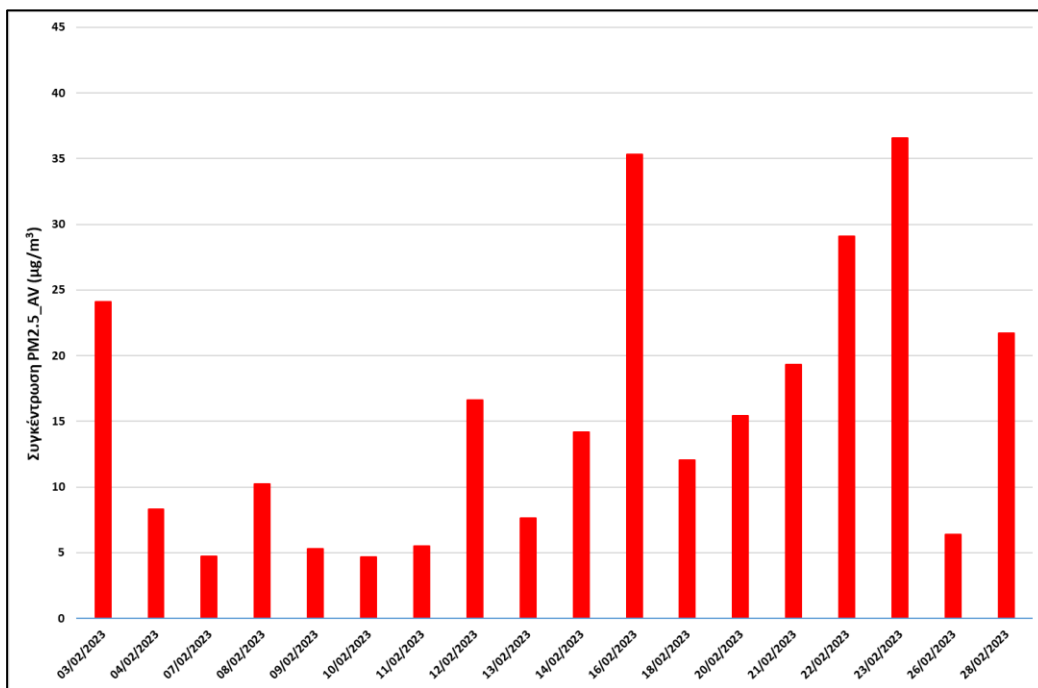
6.10.1 Μέση ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.10.1.1 – 6.10.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Φεβρουάριο (2023). Τον Φεβρουάριο πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο 41 διαδρομών, με 1 ή 2 επιβάτες. Στις μισές περίπου από αυτές ήταν ενεργοποιημένη η θέρμανση, ενώ τα παράθυρα ήταν κλειστά σχεδόν στο 90% αυτών. Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης, εμφανίστηκαν κατά την μετακίνηση στο κέντρο. Αξίζει να σημειωθεί, ότι στις 28 Φεβρουαρίου οι συγκεντρώσεις ήταν αυξημένες εξαιτίας των φαινομένων λασποβροχής.

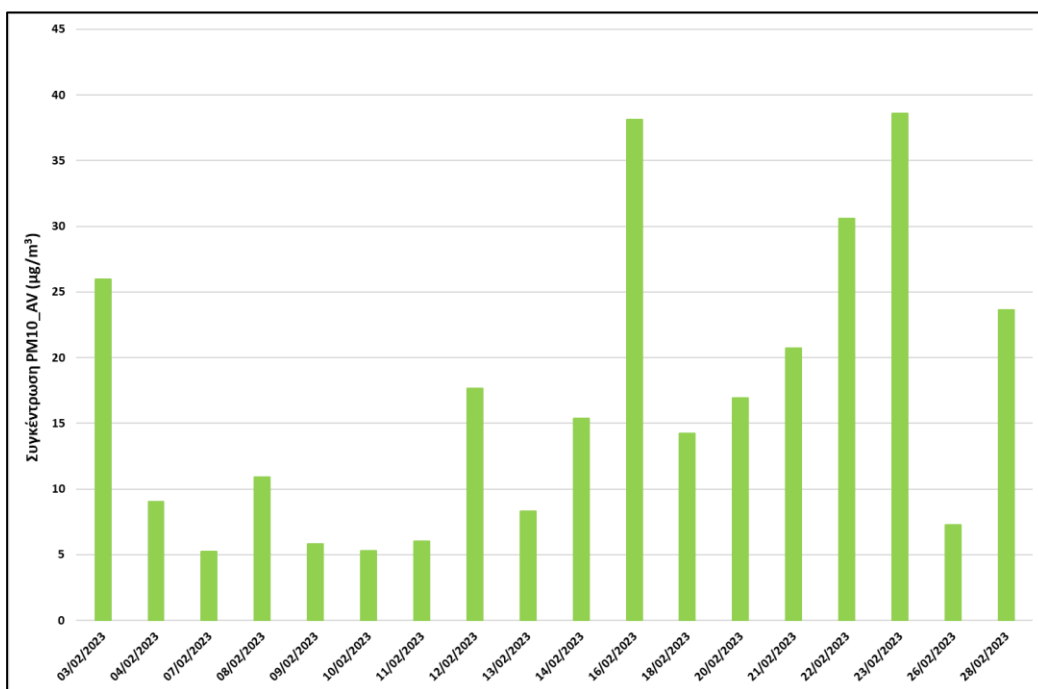
Συγκεκριμένα στις 16 Φεβρουαρίου, παρατηρείται μία ασυνήθιστα υψηλή συγκέντρωση για την διαδρομή ΠΑΔΑ- Νέα Σμύρνη. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_{10} , είναι $23 \mu g/m^3$, $35 \mu g/m^3$ και $38 \mu g/m^3$, αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι την ημέρα αυτή διεξάγονταν εργασίες οδοστρώματος στην περιοχή και σύμφωνα με τον χάρτη της purple Air οι τιμές αντίστοιχα $39 \mu g/m^3$, $63 \mu g/m^3$ και $70 \mu g/m^3$. Φαίνεται λοιπόν ότι οι συγκεντρώσεις στο εσωτερικό του οχήματος επηρεάστηκαν, από τις συγκεντρώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 6.10.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).



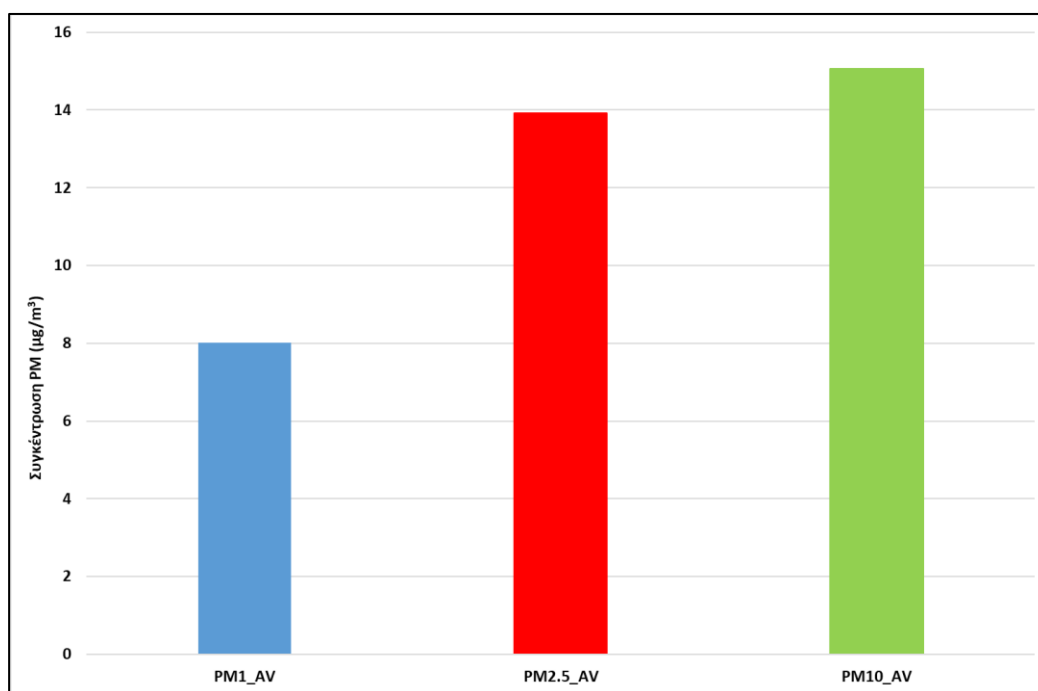
Σχήμα 6.10.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.10.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).

6.10.2 Μέση μηνιαία τιμή Φεβρουαρίου

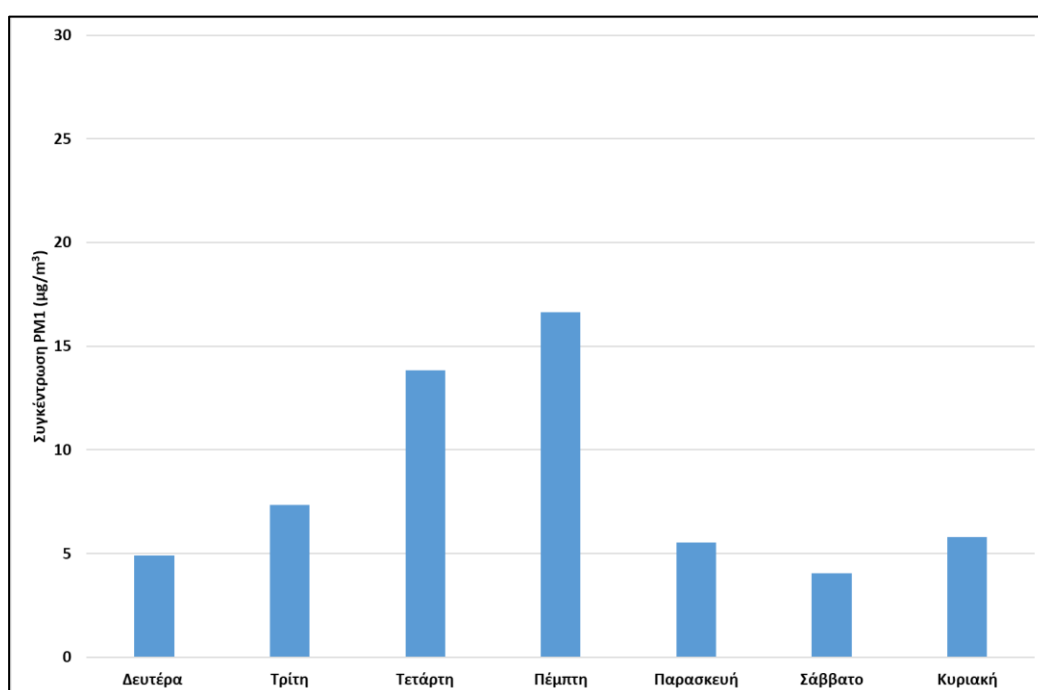
Στο **Σχήμα 6.10.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Φεβρουάριο (2023). Το σύνολο των 36 διαδρομών πραγματοποιήθηκε σε 18 ημέρες του μήνα. Οι συγκεντρώσεις ανήκουν στο διάστημα από $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ έως $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



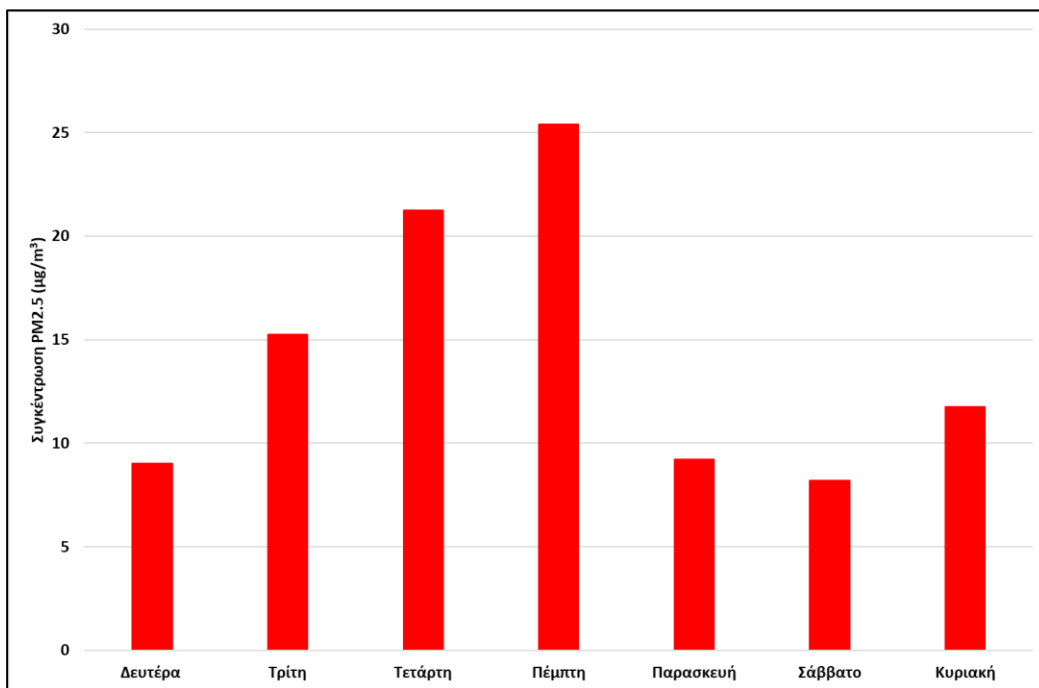
Σχήμα 6.10.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).

6.10.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Φεβρουαρίου (2-λεπτα)

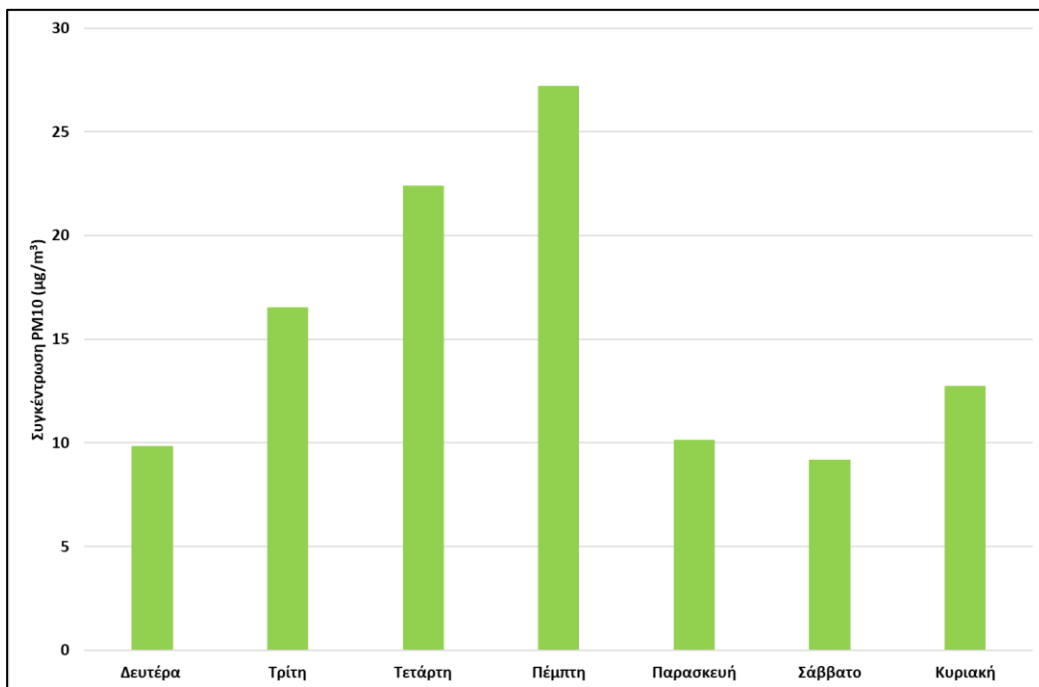
Στα Σχήματα 6.10.3.1-6.10.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Φεβρουάριο (2023). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 18 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 2 Δευτέρες, 4 Τρίτες, 2 Τετάρτες, 3 Πέμπτες, 2 Παρασκευές, 3 Σάββατα και 2 Κυριακές. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σημειώνονται στα μέσα της εβδομάδας, δηλαδή Τετάρτη και Πέμπτη. Ταυτόχρονα παρατηρείται μία έντονη αύξηση των συγκεντρώσεων καθώς κινούμαστε από την Δευτέρα έως την Πέμπτη, ενώ το Σαββατοκύριακο οι συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα μειωμένες.



Σχήμα 6.10.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.10.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).



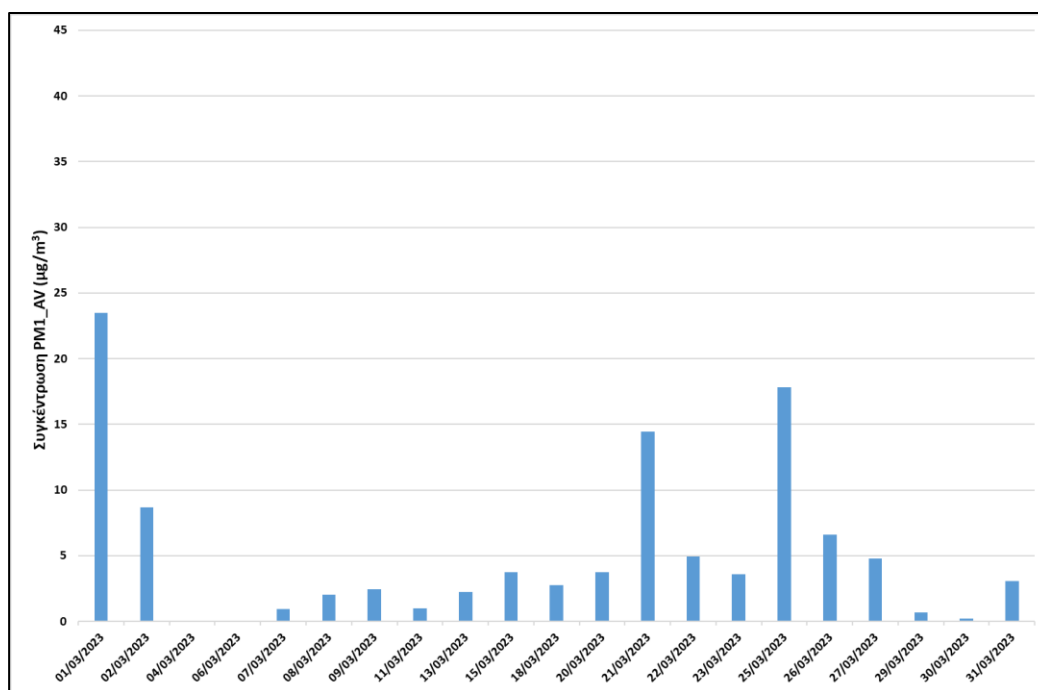
Σχήμα 6.10.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Φεβρουάριο του 2023 (Subaru).

6.11 Αποτελέσματα Μαρτίου – Subaru

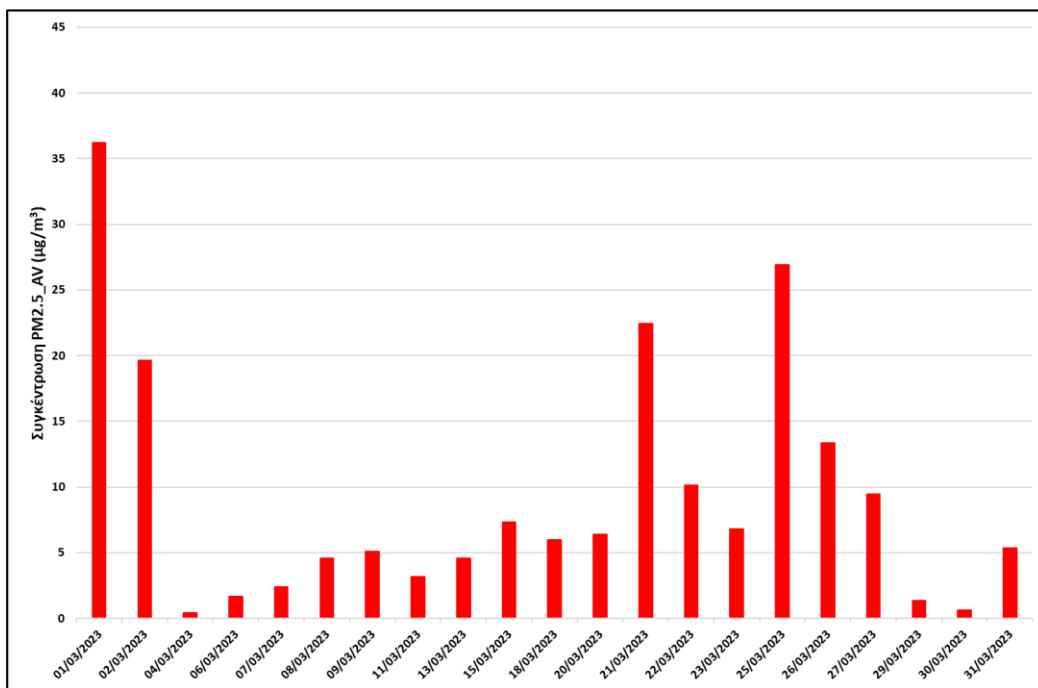
6.11.1 Μέση ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.11.1.1 – 6.11.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάρτιο (2023). Τον συγκεκριμένο μήνα, οι περισσότερες διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με έναν επιβάτη, απενεργοποιημένη θέρμανση και κλειστά παράθυρα. Τόσο στις αρχές (1 και 2 του μήνα), όσο και στις 21 και στις 25 του μήνα, καταγράφηκαν ιδιαίτερα υψηλές τιμές, οι οποίες οφείλονται σε φαινόμενα σκόνης από τη Σαχάρα.

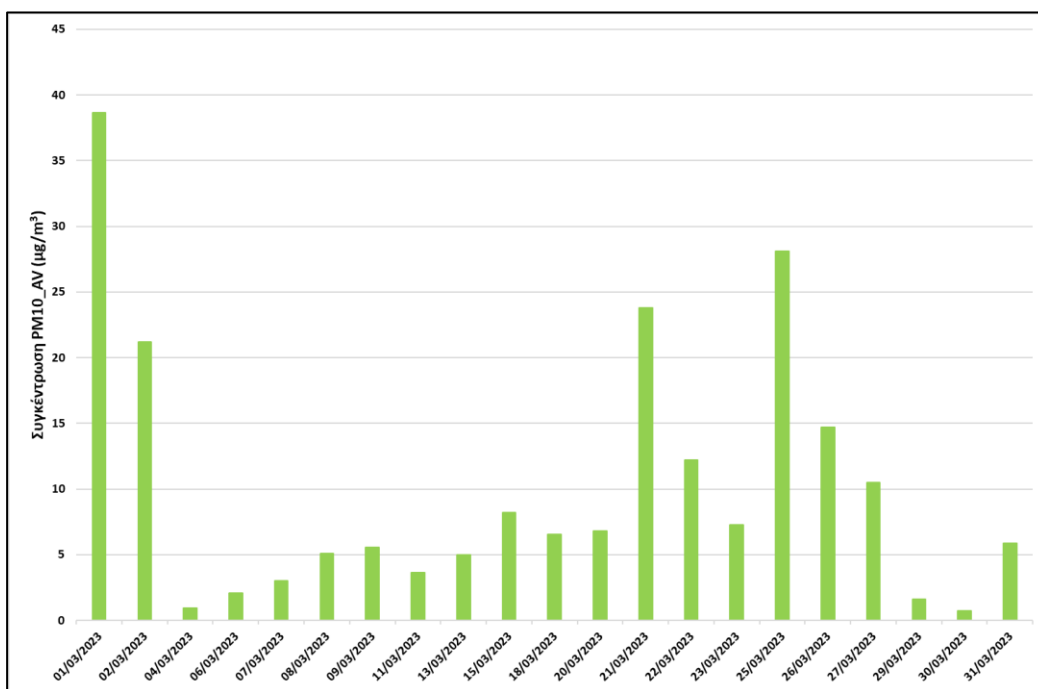
Στις 20 του μήνα το όχημα μετακινήθηκε σε επαρχιακούς δρόμους (Αράχοβα) και έτσι οι συγκεντρώσεις διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 6.11.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).



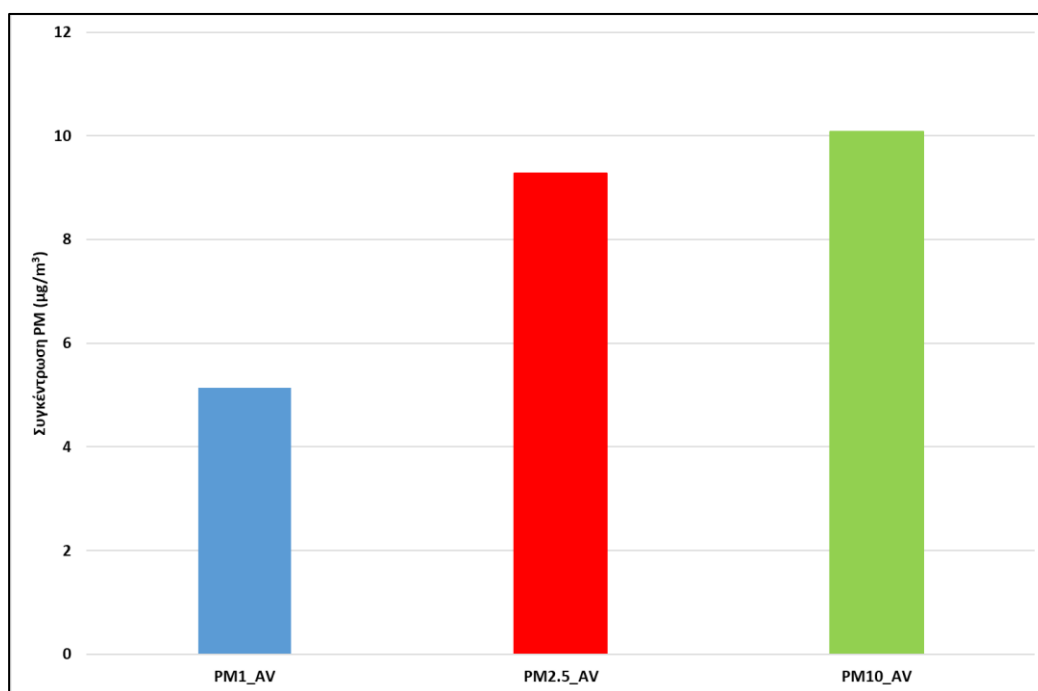
Σχήμα 6.11.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.11.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).

6.11.2 Μέση μηνιαία τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)

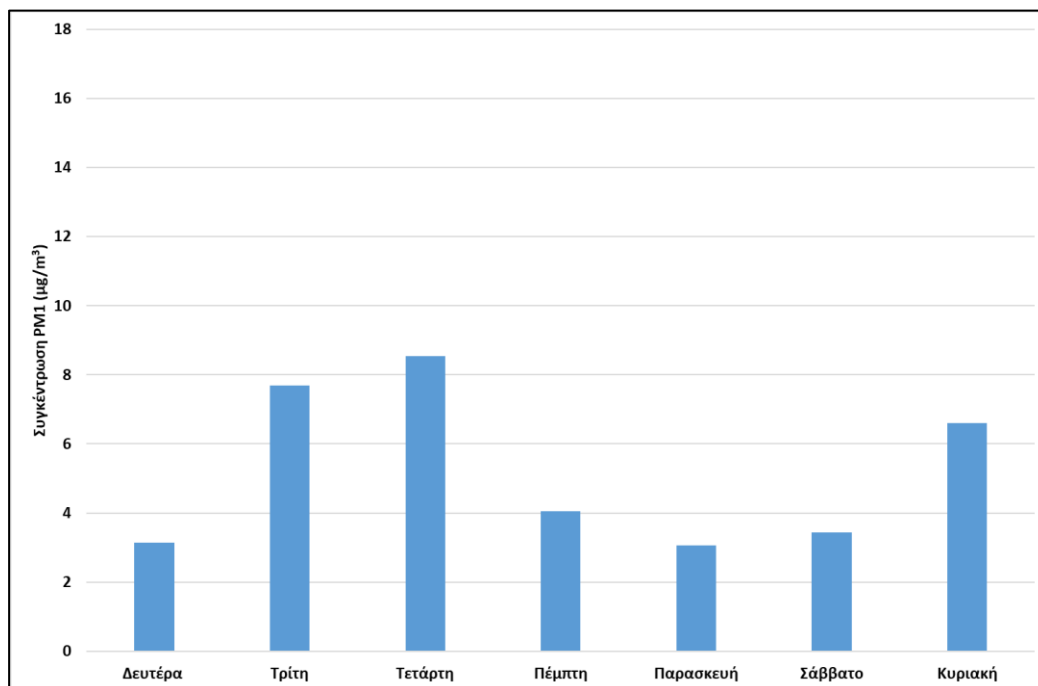
Στο **Σχήμα 6.11.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάρτιο (2023). Σε διάστημα 21 ημερών ολοκληρώθηκαν 46 διαδρομές. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



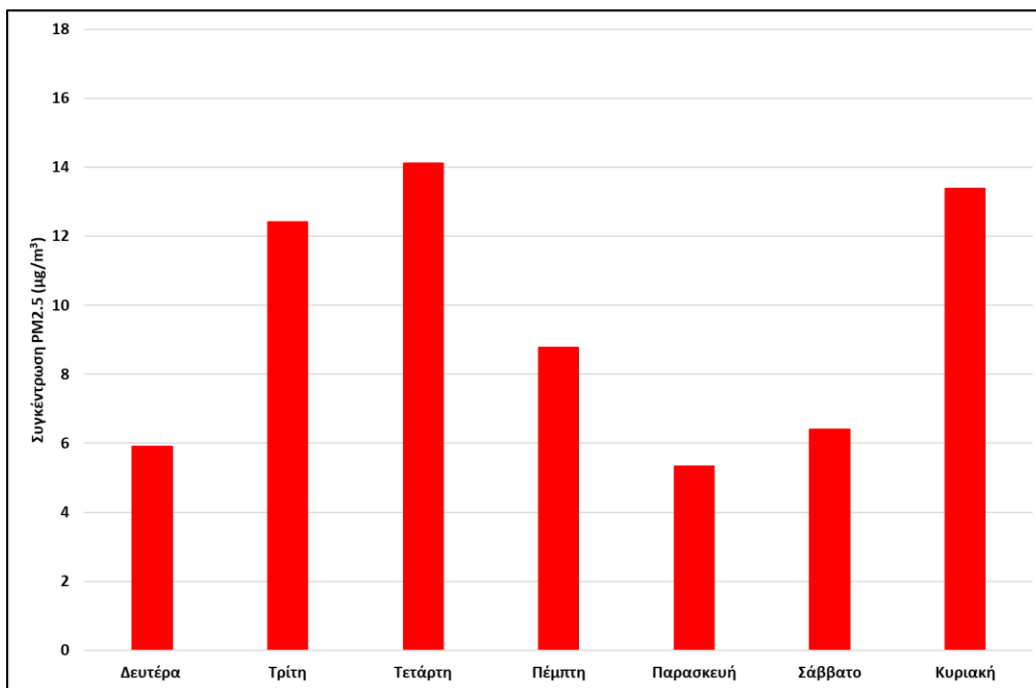
Σχήμα 6.11.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).

6.11.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Μαρτίου (2-λεπτα)

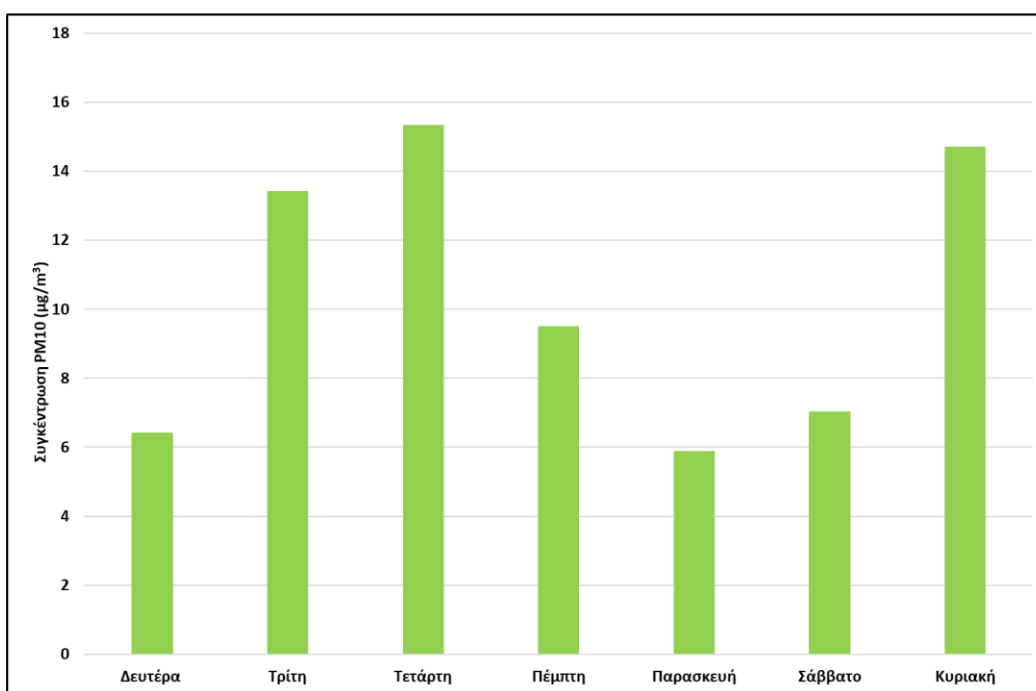
Στα Σχήματα 6.11.3.1-6.11.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάρτιο (2023). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 21 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 4 Δευτέρες, 2 Τρίτες, 5 Τετάρτες, 4 Πέμπτες, 1 Παρασκευή, 4 Σάββατα και 1 Κυριακή. Τον Μάρτιο οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν την Τετάρτη και την Κυριακή.



Σχήμα 6.11.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.11.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).

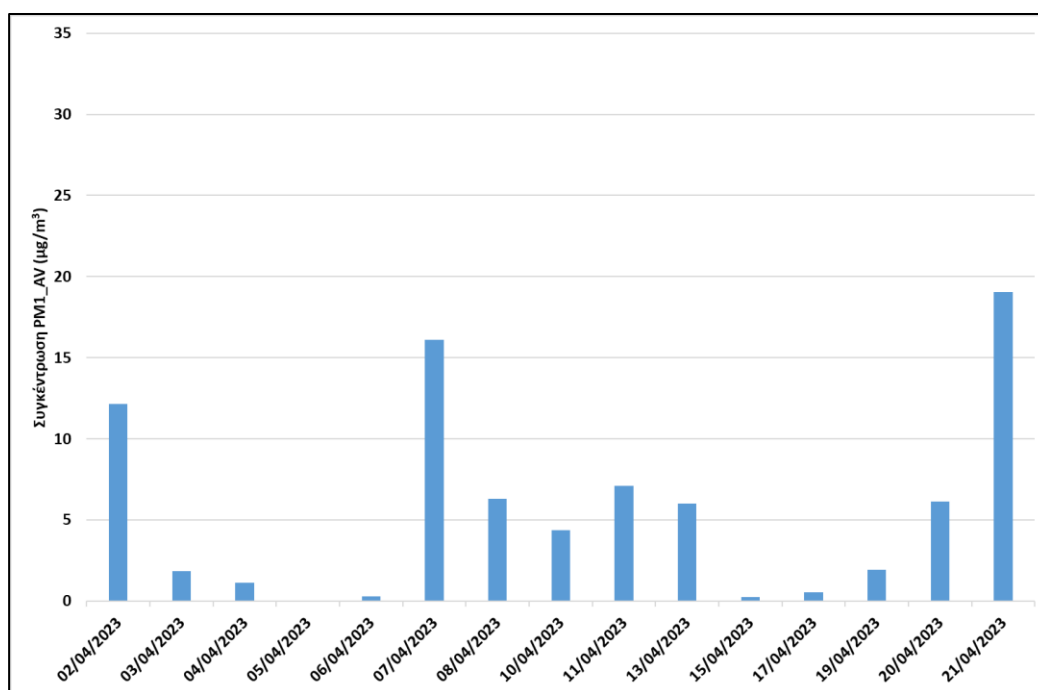


Σχήμα 6.11.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Μάρτιο του 2023 (Subaru).

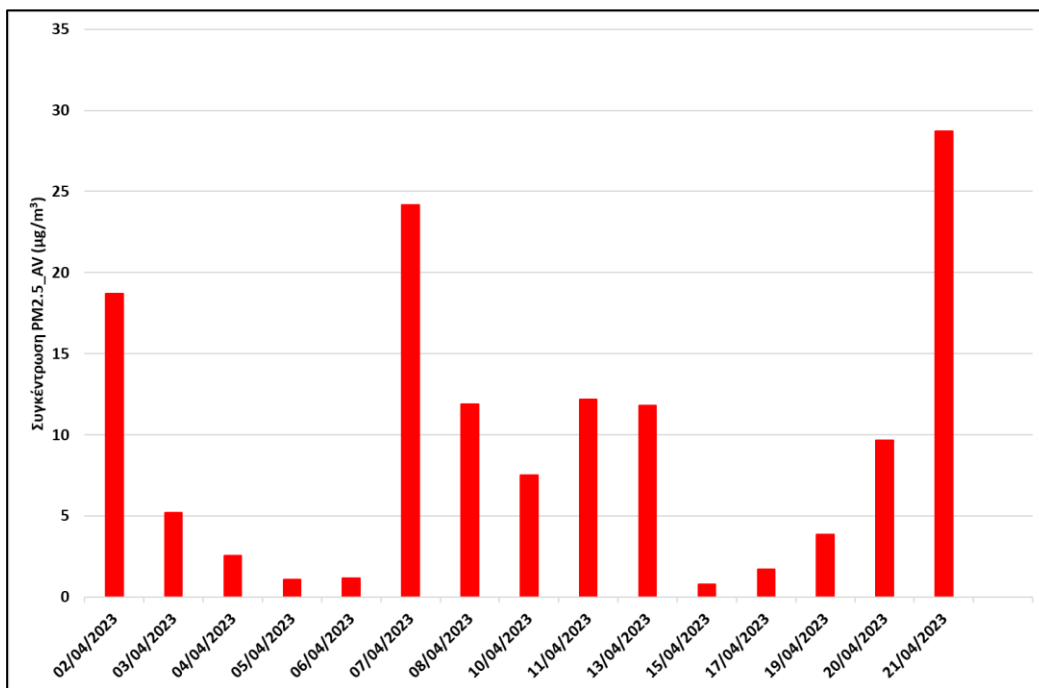
6.12 Αποτελέσματα Απριλίου – Subaru

6.12.1 Μέση ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα)

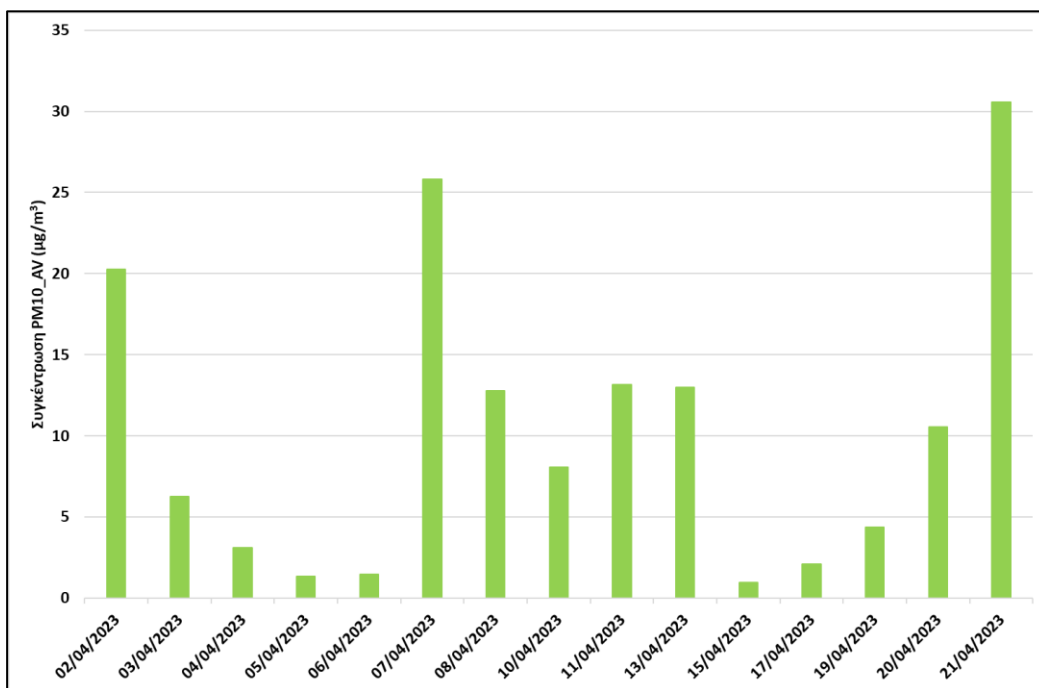
Στα Σχήματα 6.12.1.1 – 6.12.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Απρίλιο (2023). Οι περισσότερες διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με ανοιχτά παράθυρα, έναν επιβάτη και απενεργοποιημένο κλιματισμό. Στις 15 και 17 του μήνα, το όχημα μετακινήθηκε στο κέντρο, ωστόσο οι συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα χαμηλές σχεδόν μηδενικές. Αυτό οφείλεται σε λάθος καταγραφή του αισθητήρα. Στις 20 του μήνα παρατηρείται μία μικρή αύξηση, εξαιτίας της μετακίνησης σε παραθαλάσσια περιοχή (Κινέτα). Τέλος, κατά την μετακίνηση στο κέντρο παρατηρήθηκε η μέγιστη τιμή (21/04/2023).



Σχήμα 6.12.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).



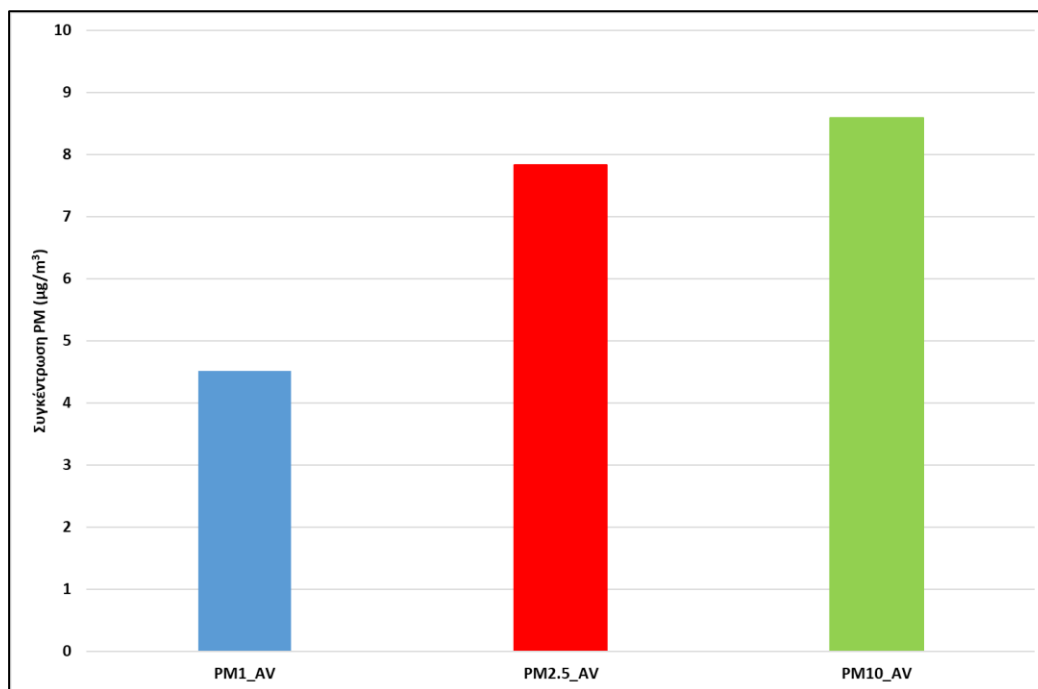
Σχήμα 6.12.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{2.5} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.12.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).

6.12.2 Μέση μηνιαία τιμή Απριλίου (2-λεπτα)

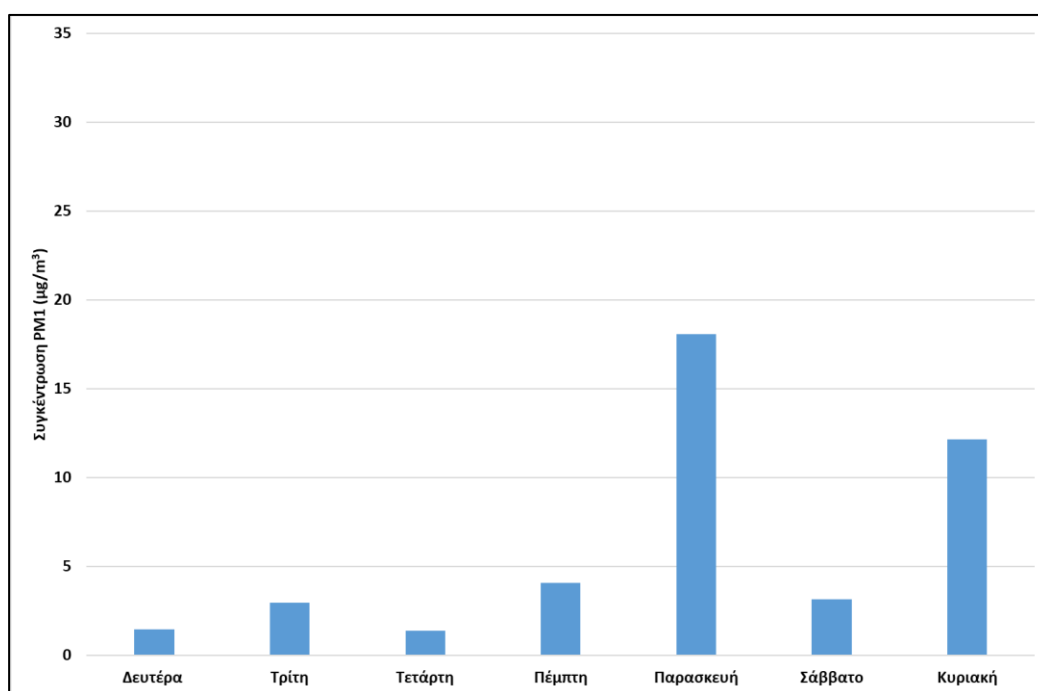
Στο Σχήμα 6.12.2.1 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Απρίλιο (2023). Σημειώθηκαν σε 15 ημέρες του μήνα συνολικά 24 διαδρομές. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου μήνα πραγματοποιήθηκαν σε σύγκριση με τους υπόλοιπους, οι λιγότερες διαδρομές. Οι τιμές διατηρούνται κάτω από $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



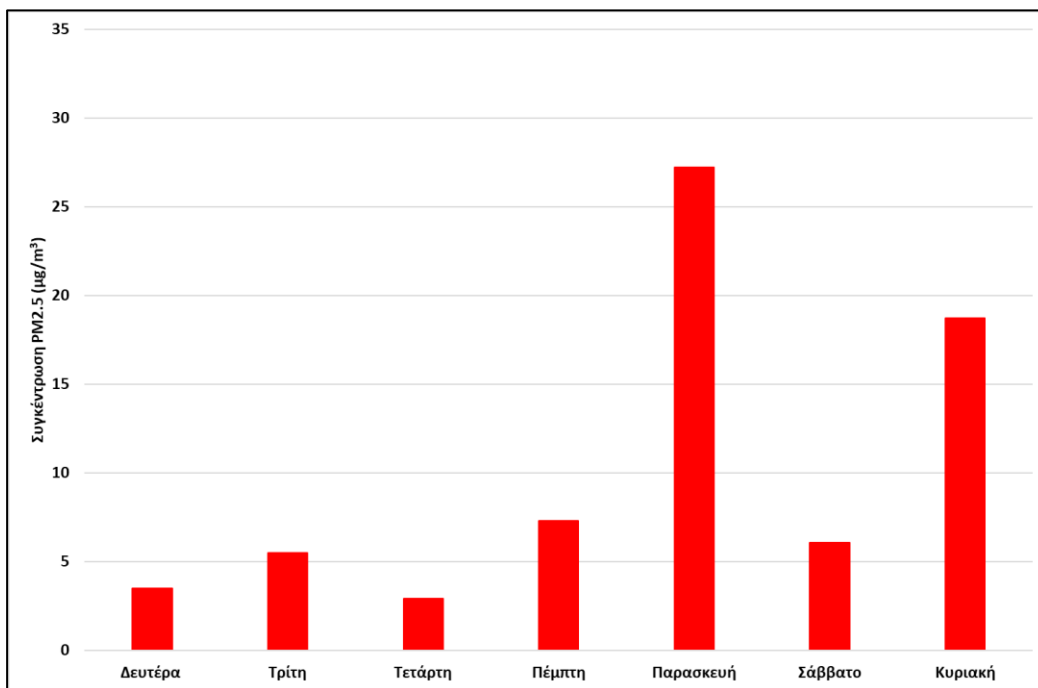
Σχήμα 6.12.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).

6.12.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Απριλίου (2-λεπτα)

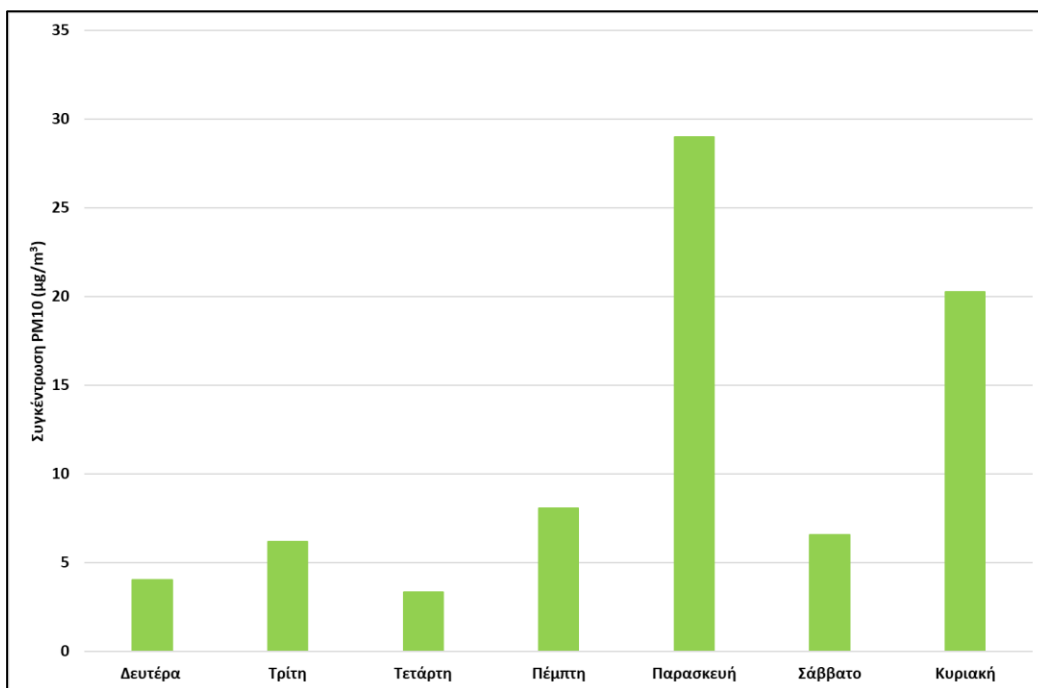
Στα Σχήματα 6.12.3.1-6.12.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Απρίλιο (2023). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 15 ημέρες εκ των οποίων είχαμε: 3 Δευτέρες, 2 Τρίτες, 2 Τετάρτες, 3 Πέμπτες, 2 Παρασκευή, 2 Σάββατα και 1 Κυριακή. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται την Παρασκευή και την Κυριακή, ενώ τις εργάσιμες μέρες οι συγκεντρώσεις διατηρούνται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 6.12.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.12.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).

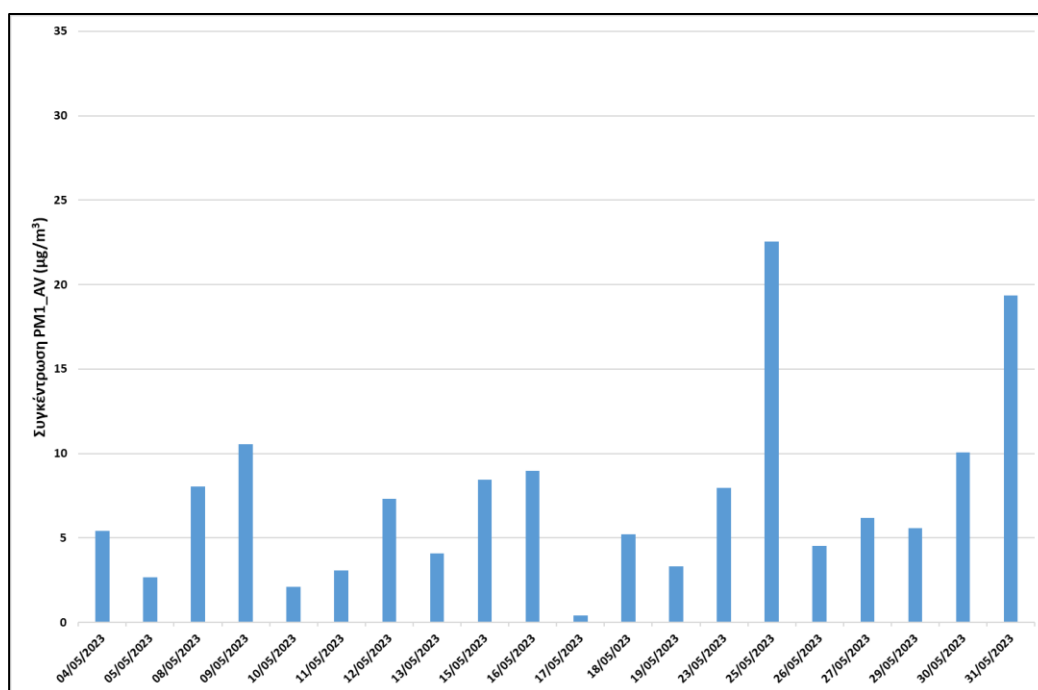


Σχήμα 6.12.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Απρίλιο του 2023 (Subaru).

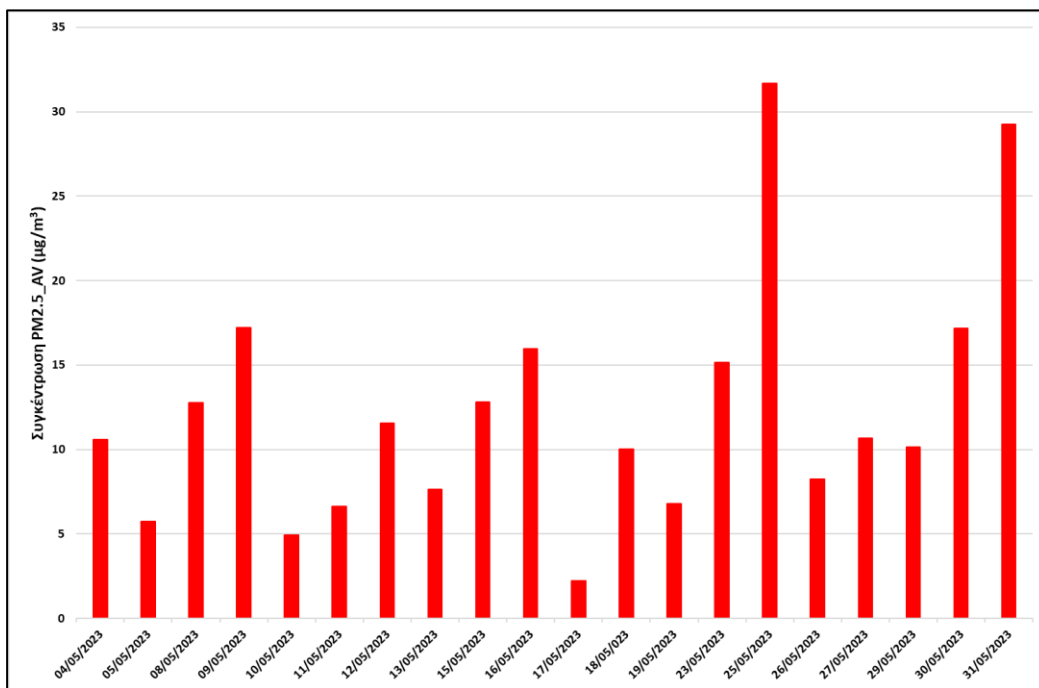
6.13 Αποτελέσματα Μαΐου – Subaru

6.13.1 Μέση ημερήσια τιμή Μαΐου (2-λεπτα)

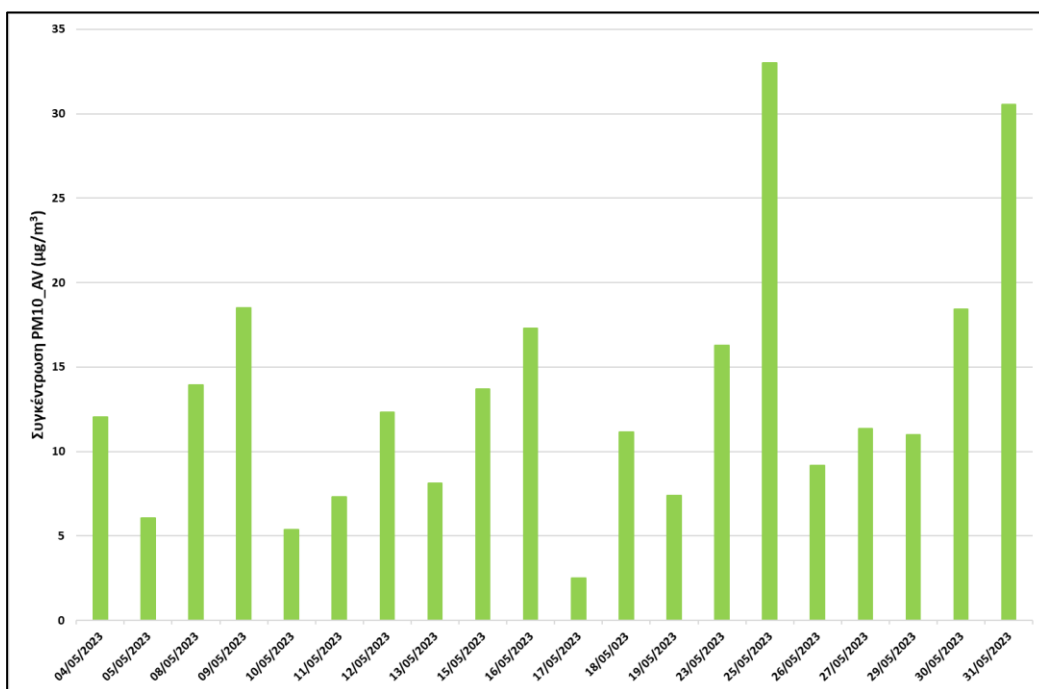
Στα Σχήματα 6.13.1.1 – 6.13.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάιο (2023). Το μεγαλύτερο σύνολο των διαδρομών πραγματοποιήθηκε με έναν επιβάτη και απενεργοποιημένη θέρμανση. Παρατηρώντας τις συγκεντρώσεις του επιδραστικότερου ρύπου, PM_{10} , βλέπουμε ότι οι τιμές είναι σε όλη την διάρκεια του μήνα σχετικά αυξημένες. Αυτό οφείλεται στα φαινόμενα λασποβροχής και αφρικανικής σκόνης που καταγράφηκαν. Οι ιδιαίτερα υψηλές τιμές οφείλονται σε μετακινήσεις στο κέντρο της πόλης, σε συνδυασμό με τα παραπάνω.



Σχήμα 6.13.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).



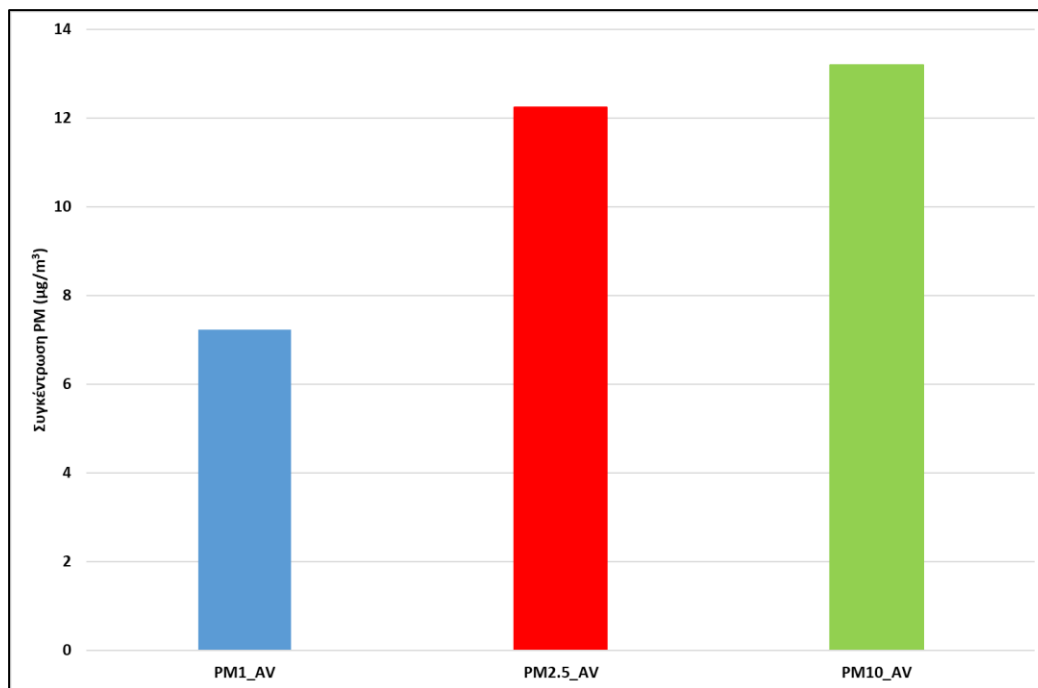
Σχήμα 6.13.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.13.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).

6.13.2 Μέση μηνιαία τιμή Μαΐου (2-λεπτα)

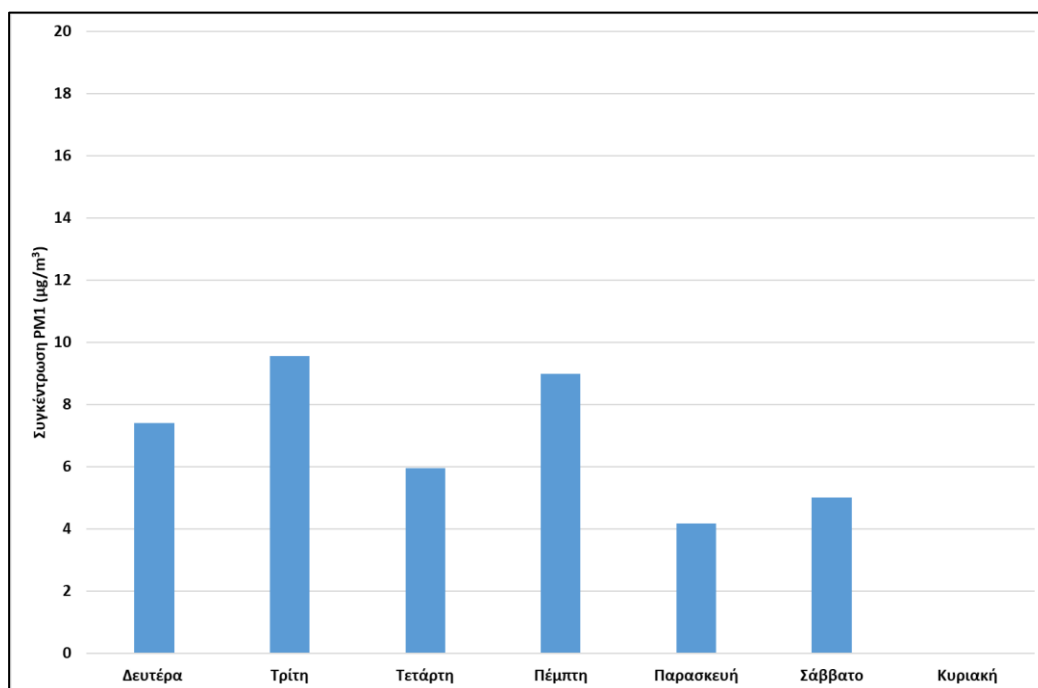
Στο **Σχήμα 6.13.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάιο (2023). Σημειώθηκαν σε 20 ημέρες, 30 διαδρομές.



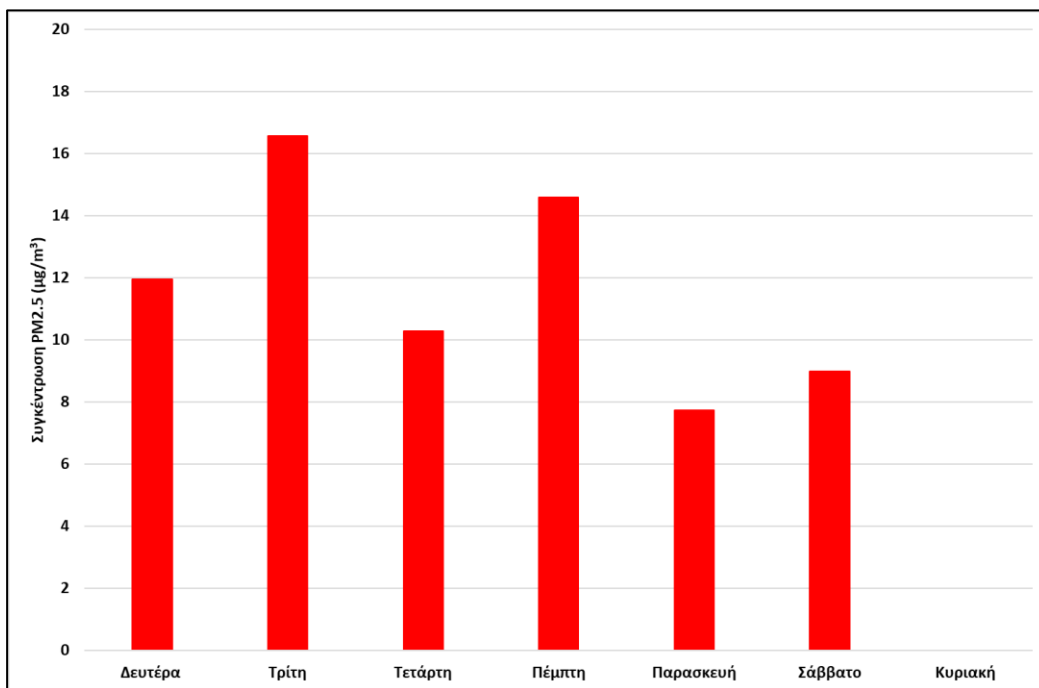
Σχήμα 6.13.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).

6.13.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Μαΐου (2-λεπτα)

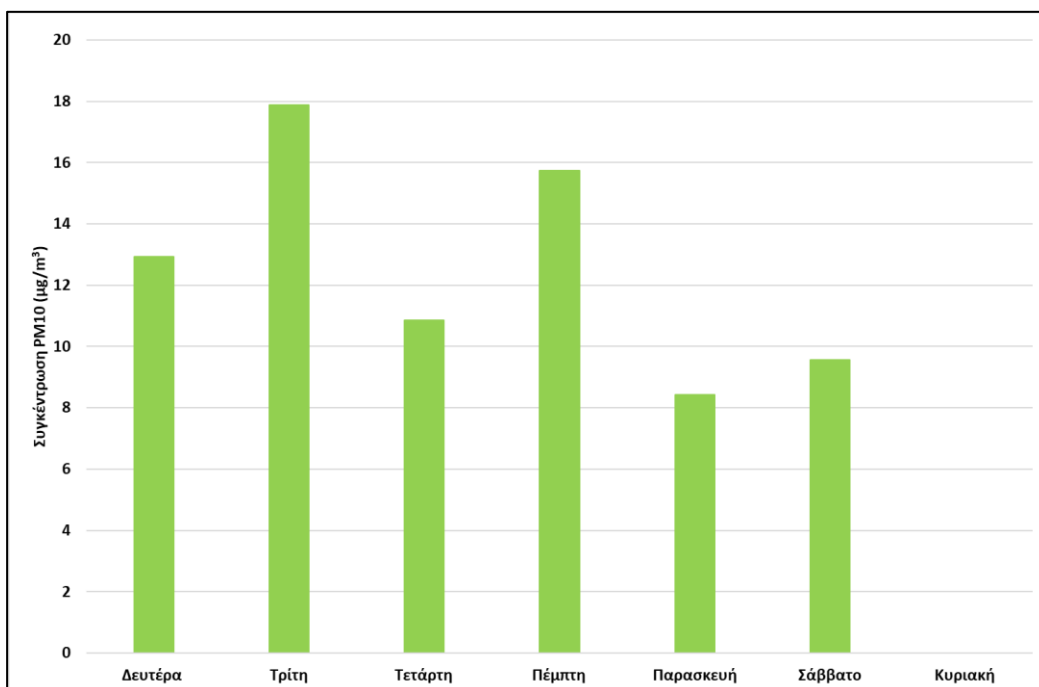
Στα Σχήματα 6.13.3.1-6.13.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Μάιο (2022). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 20 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 3 Δευτέρες, 4 Τρίτες, 3 Τετάρτες, 4 Πέμπτες, 4 Παρασκευές και 2 Σάββατα. Κατά τη διάρκεια του Μαΐου δεν πραγματοποιήθηκε καμία διαδρομή τις Κυριακές.



Σχήμα 6.13.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.13.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).

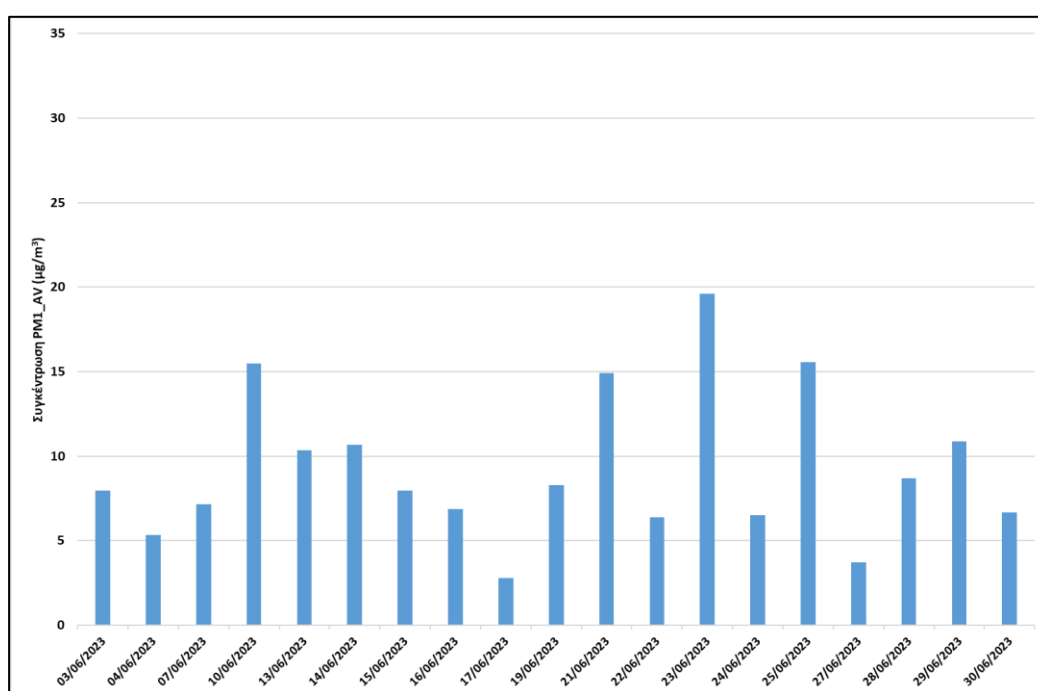


Σχήμα 6.13.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Μάιο του 2023 (Subaru).

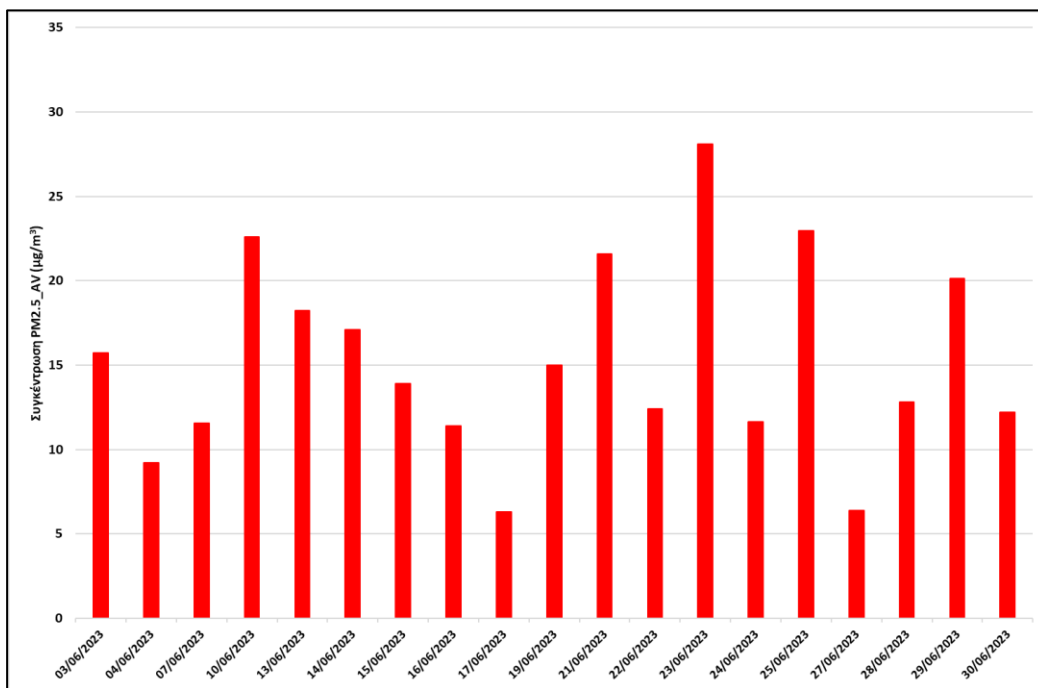
6.14 Αποτελέσματα Ιουνίου – Subaru

6.14.1 Μέση ημερήσια τιμή Ιουνίου (2-λεπτα)

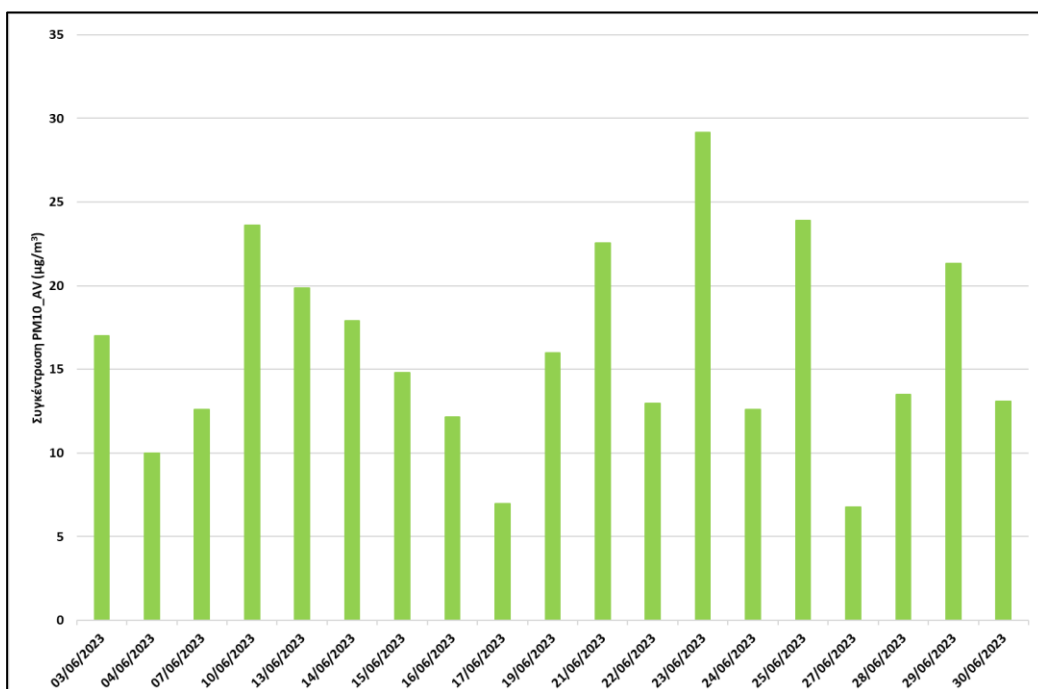
Στα Σχήματα 6.14.1.1 – 6.14.1.3 απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιούνιο (2023). Όλες οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν με ανοιχτά παράθυρα, απενεργοποιημένη θέρμανση και κατά βάση έναν επιβάτη. Σε όλη τη διάρκεια του μήνα, παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις, σε σύγκριση με το υπόλοιπο διάστημα μελέτης. Οι μέγιστες τιμές σημειώθηκαν κυρίως κατά τις μετακινήσεις στο κέντρο της πόλης.



Σχήμα 6.14.1.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).



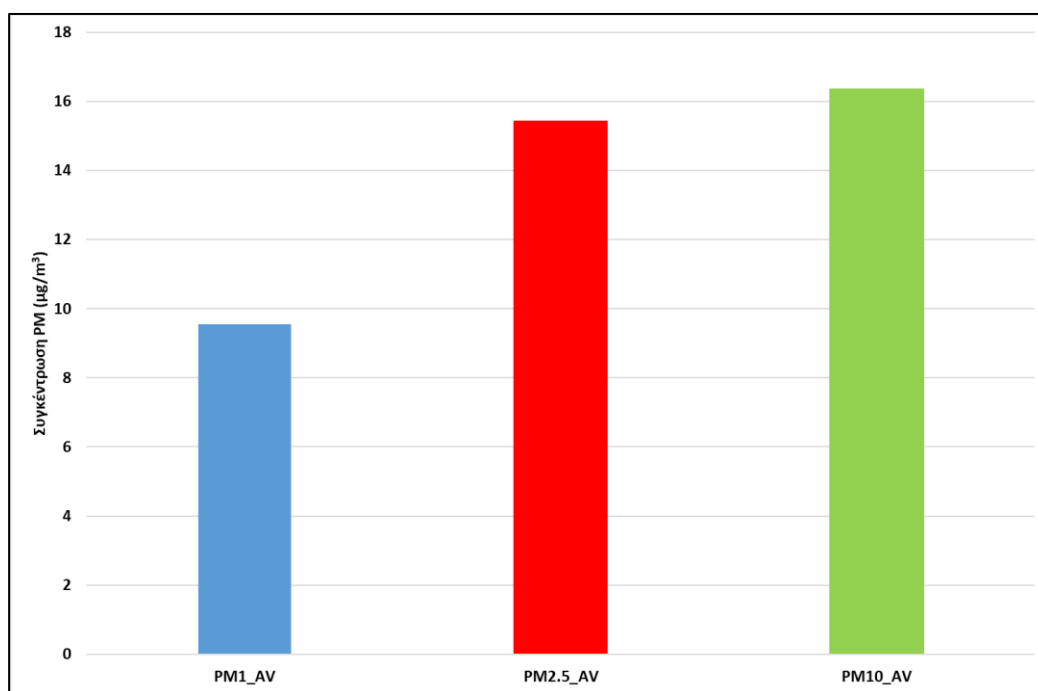
Σχήμα 6.14.1.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.14.1.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).

6.14.2 Μέση μηνιαία τιμή Ιουνίου (2-λεπτα)

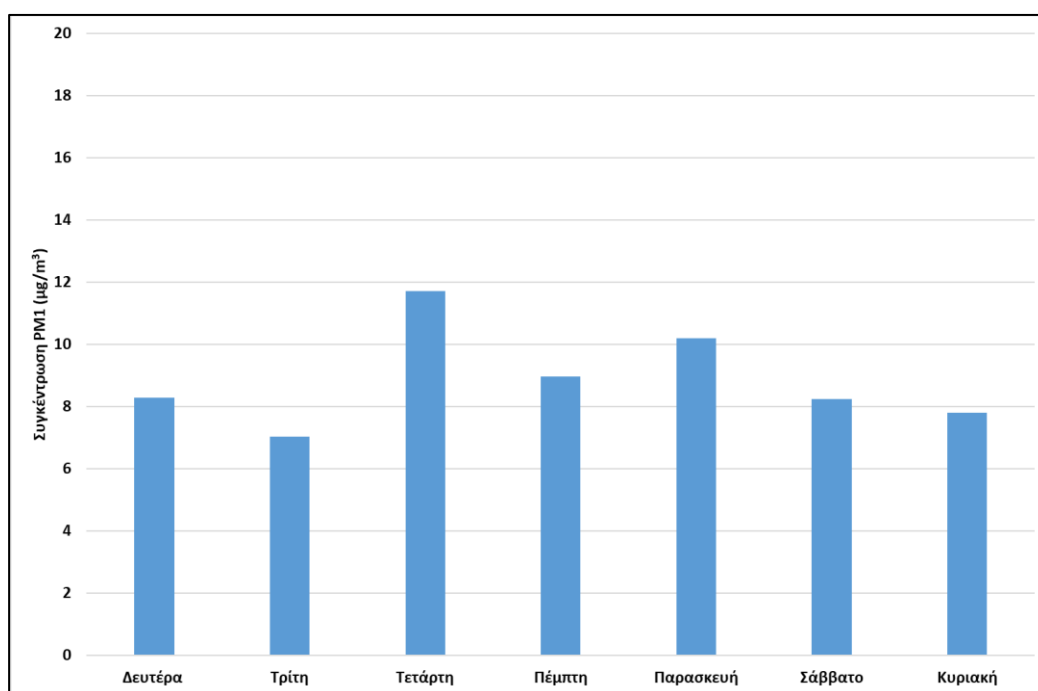
Στο **Σχήμα 6.14.2.1** απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιούνιο (2023). Σε διάστημα 19 ημερών ολοκληρώθηκαν 28 διαδρομές. Οι συγκεντρώσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες είναι σχετικά αυξημένες.



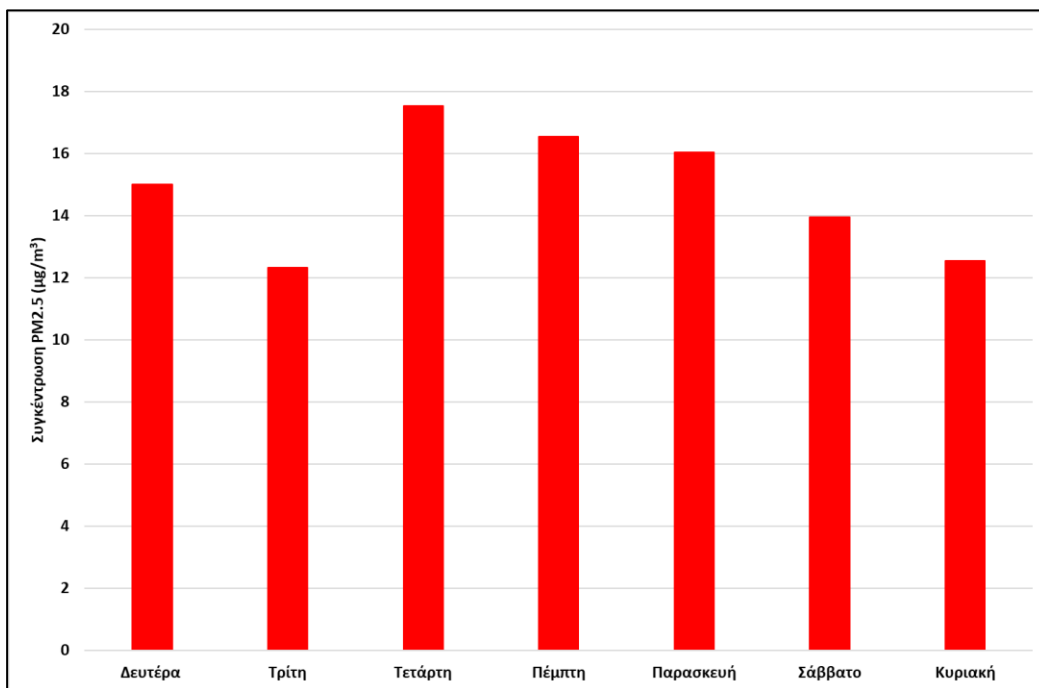
Σχήμα 6.14.2.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).

6.14.3 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή Ιουνίου (2-λεπτα)

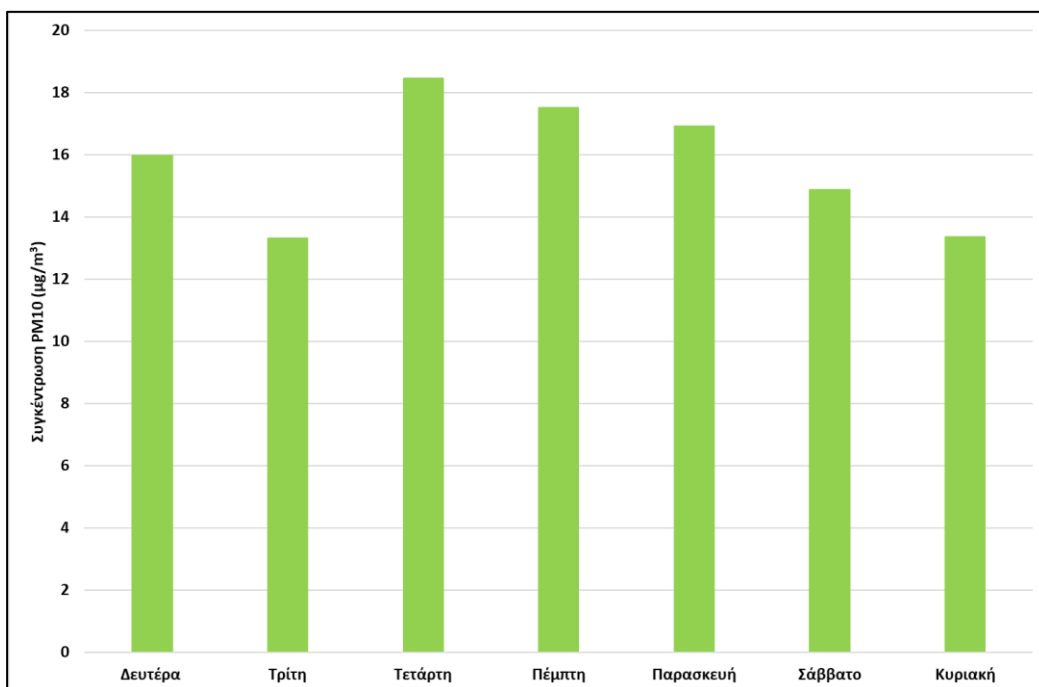
Στα Σχήματα 6.14.3.1-6.14.3.3 απεικονίζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) των τριών ρύπων, για το βενζινοκίνητο όχημα, τον μήνα Ιούνιο (2022). Συνολικά πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του μήνα διαδρομές σε 19 ημέρες, εκ των οποίων είχαμε: 1 Δευτέρα, 2 Τρίτες, 4 Τετάρτες, 3 Πέμπτες, 3 Παρασκευές, 4 Σάββατα και 2 Κυριακές. Κατά την διάρκεια της εβδομάδας δεν παρατηρείται κάποια έντονη διακύμανση και σημειώνονται υψηλές συγκεντρώσεις σε όλη τη διάρκεια της.



Σχήμα 6.14.3.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁ για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).



Σχήμα 6.14.3.2: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).

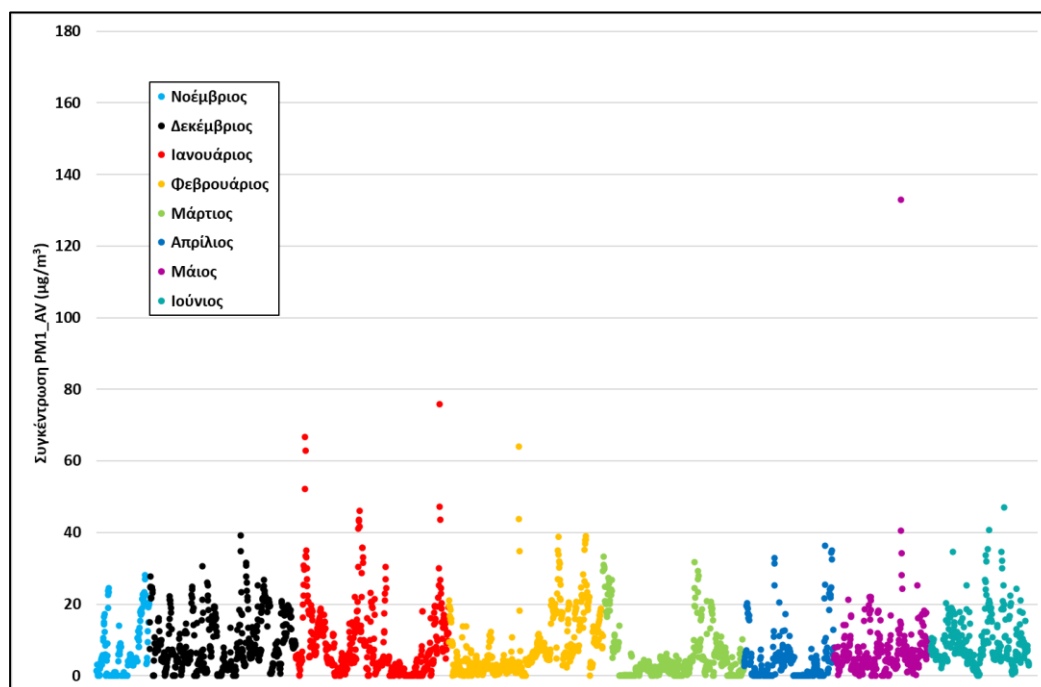


Σχήμα 6.14.3.3: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για τον μήνα Ιούνιο του 2023 (Subaru).

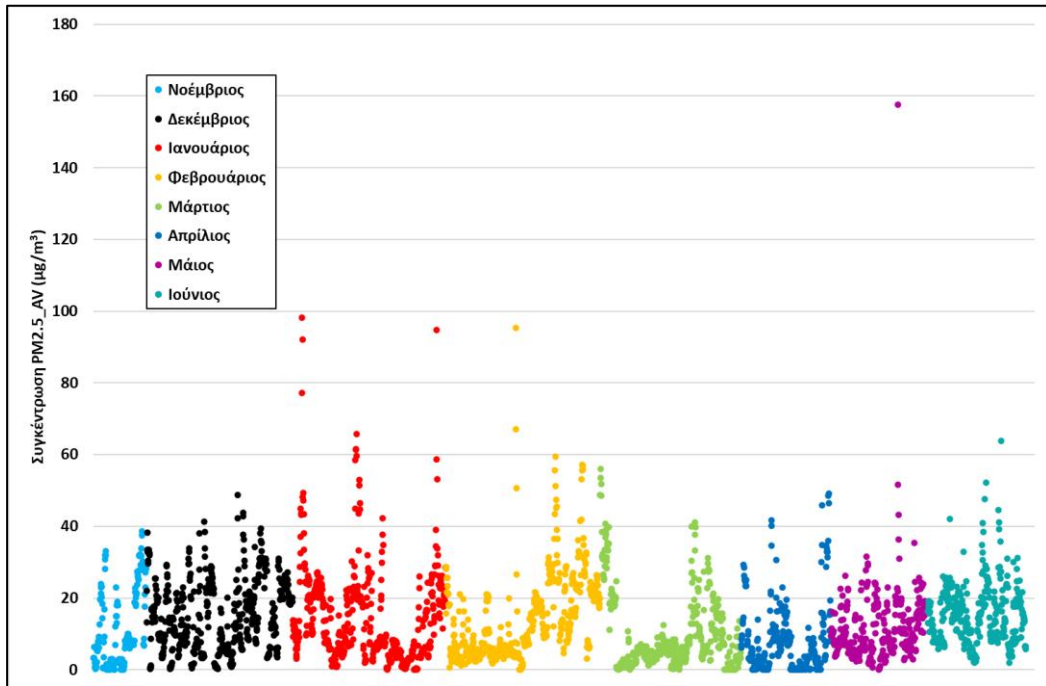
6.15 Αποτελέσματα – Subaru

6.15.1 Διακύμανση

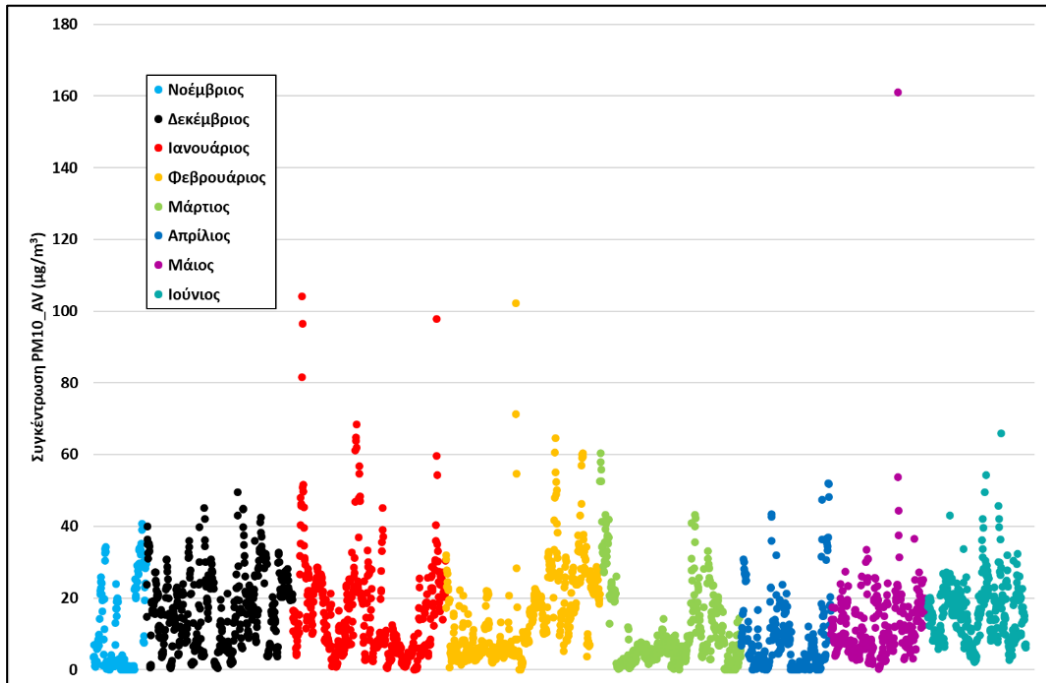
Στα Σχήματα 6.15.1.1-6.15.1.3 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των ρύπων για το βενζινοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023. Παρατηρείται ότι, ο επιδραστικότερος ρύπος είναι τα PM_{10} , οι συγκεντρώσεις του οποίου εμφανίζουν και την εντονότερη διακύμανση. Κυρίως για τα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρούμενα σωματίδια, εμφανίζεται μία μικρή έξαρση τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι συγκεντρώσεις και των τριών ρύπων αυξήθηκαν τις ημέρες που ήταν έντονο το φαινόμενο της αφρικανικής σκόνης, δηλαδή τον Μάιο και τον Μάρτιο.



Σχήμα 6.15.1.1: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).



Σχήμα 6.15.1.2: Διακύμανση της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).

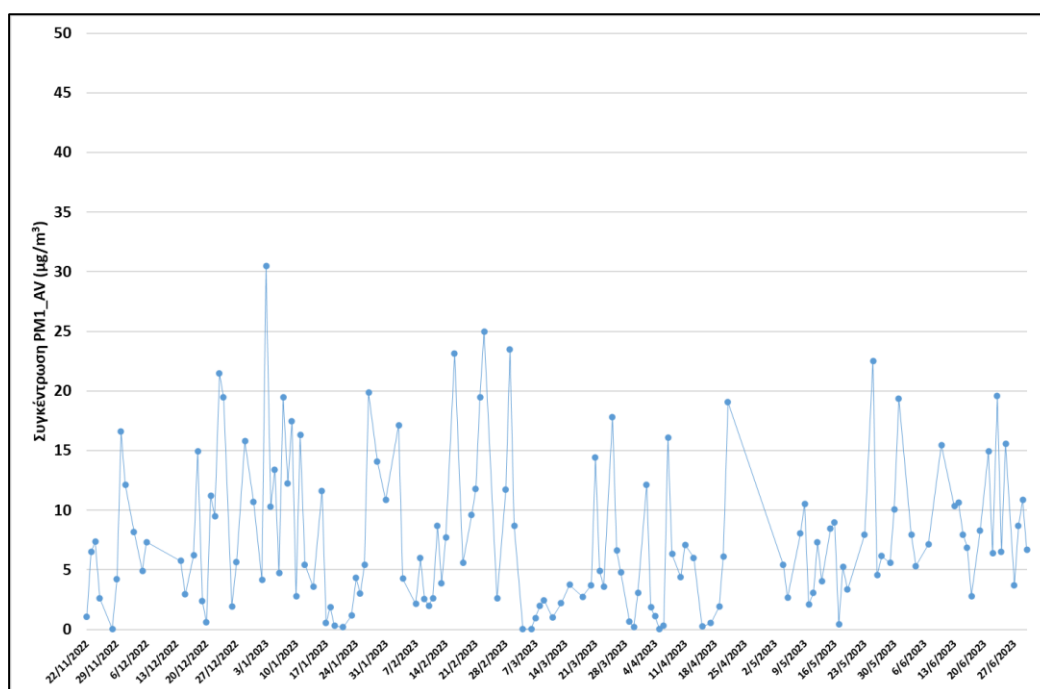


Σχήμα 6.15.1.3: Διακύμανση της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).

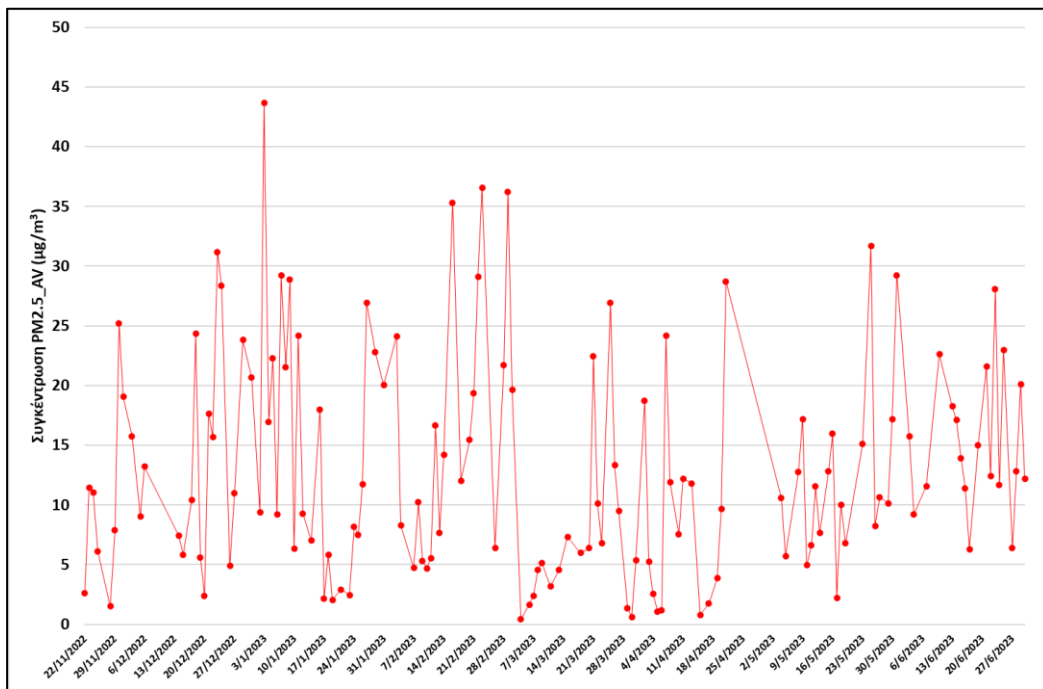
6.15.2 Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα)

Στα Σχήματα 6.15.2.1-6.15.2.4 παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα), για το βενζινοκίνητο όχημα για όλο το χρονικό μελέτης, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023.

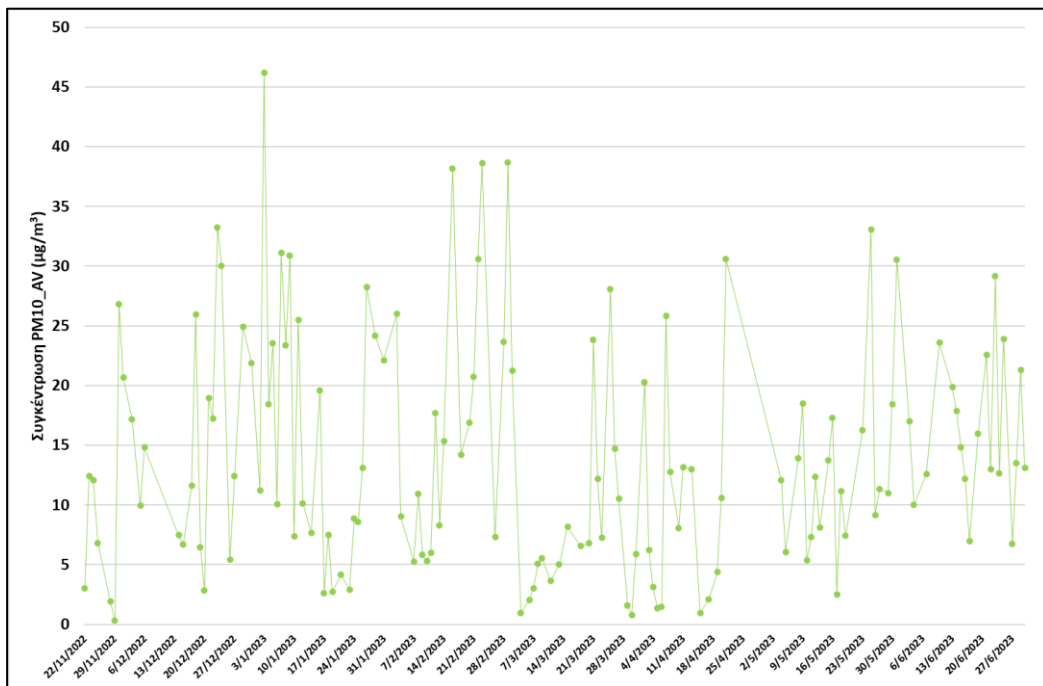
Λόγω έλλειψης νομοθεσίας για τα σωματίδια σε εσωτερικούς χώρους, πραγματοποιείται μία «άτυπη» σύγκριση των μέσων (2-λεπτά) ημερήσιων τιμών, με τις οριακές τιμές που αφορούν τον ατμοσφαιρικό αέρα. Συγκρίνοντας λοιπόν το όριο των PM_{10} ($50 \mu\text{m}/\text{m}^3$ για το 24-ωρο), που φαίνεται και στον πίνακα 3.5.3 βλέπουμε ότι οι τιμές συνολικά, είναι εξαιρετικά πιο χαμηλές.



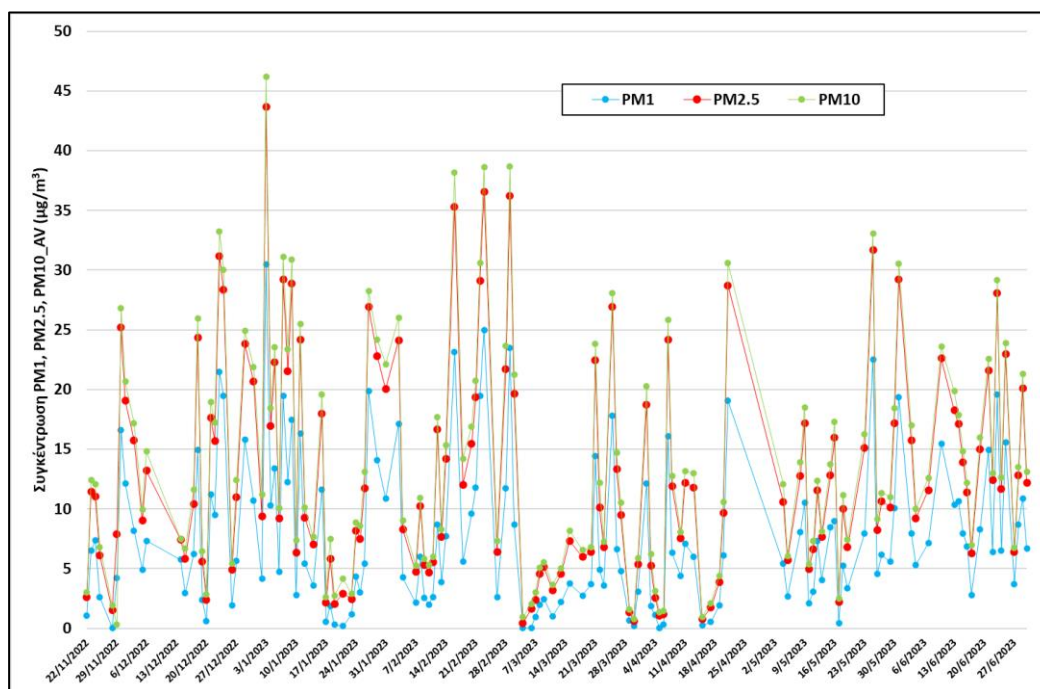
Σχήμα 6.15.2.1: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).



Σχήμα 6.15.2.2: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των $PM_{2.5}$ για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).



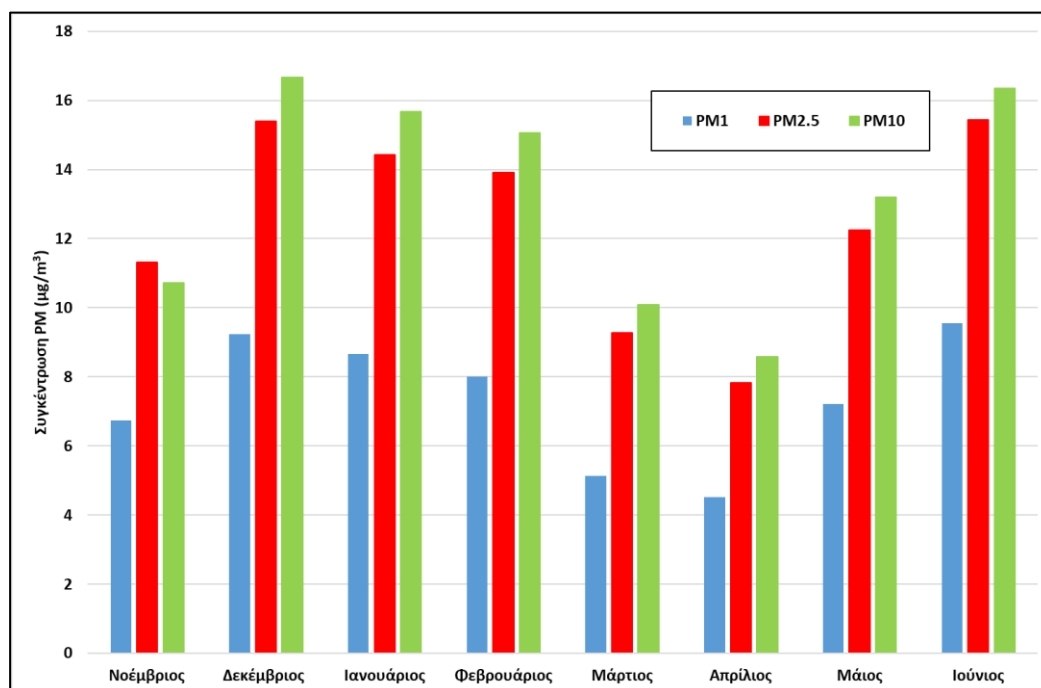
Σχήμα 6.15.2.3: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).



Σχήμα 6.15.2.4: Μέση ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).

6.15.3 Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα)

Στο Σχήμα 6.15.3.1 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το βενζινοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο) και τον Ιούνιο. Η μικρή αύξηση που εμφανίζεται τον Μάιο, οφείλεται κυρίως στον μεγάλο αριθμό φαινομένων αφρικανικής σκόνης που σημειώθηκαν.



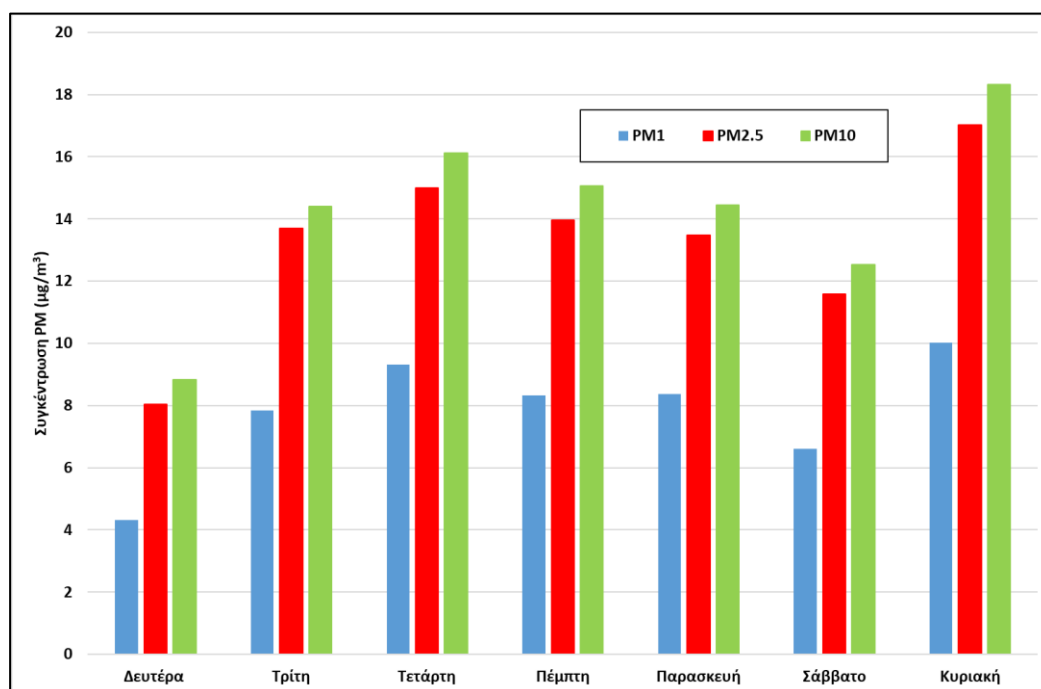
Σχήμα 6.15.3.1: Μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).

6.15.4 Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα)

Στο **Σχήμα 6.15.4.1** παρουσιάζονται οι μέσες εβδομαδιαίες ημερήσιες τιμές (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_1 για το βενζινοκίνητο όχημα, για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης, από τον Νοέμβριο του 2022 έως τον Ιούνιο του 2023.

Μελετώντας την εβδομαδιαία διακύμανση των αιωρούμενων σωματιδίων, ανά μήνα βλέπουμε ότι δεν εμφανίζουν όλοι οι μήνες την ίδια διακύμανση. Σε αυτό πιθανότατα να έχει συμβάλει η επίδραση των φυσικών τους πηγών και το γεγονός ότι τα αιωρούμενα σωματίδια σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες.

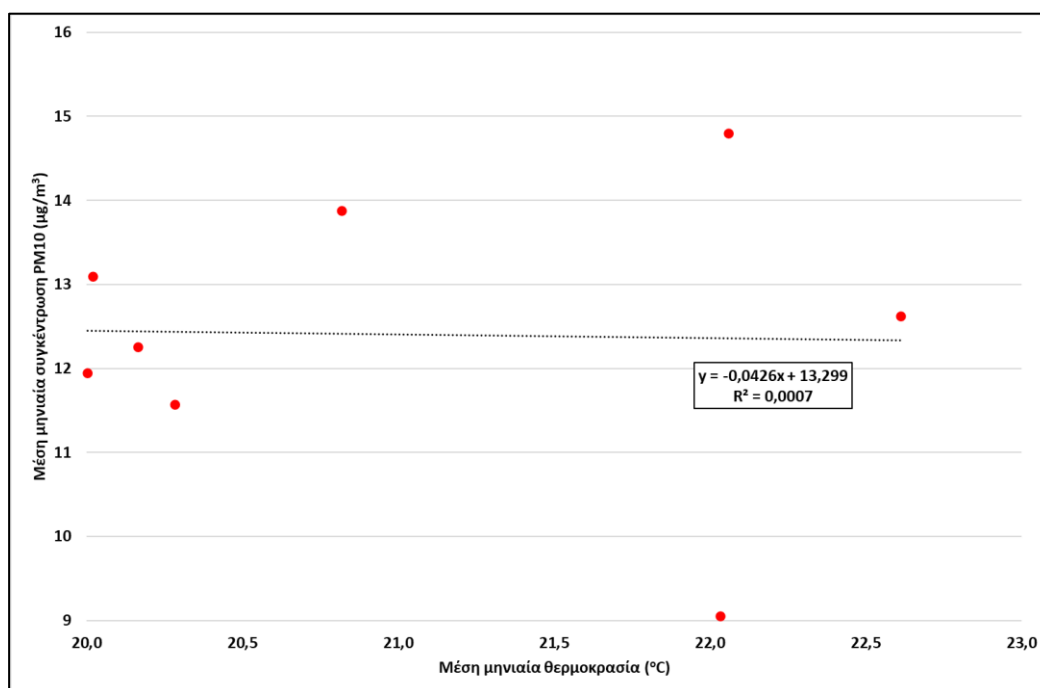
Ωστόσο σημειώνονται κάποιες ομοιότητες οι οποίες αποτυπώνονται στο συγκεντρωτικό διάγραμμα της εβδομαδιαίας διακύμανσης. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι στα μέσα της εβδομάδας και την Κυριακή εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.



Σχήμα 6.15.4.1: Μέση εβδομαδιαία ημερήσια τιμή (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM_1 , $PM_{2.5}$ και PM_{10} για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο (2022) μέχρι τον Ιούνιο (2023) (Subaru).

6.15.5 Σχέση Θερμοκρασίας – Συγκέντρωσης PM₁₀

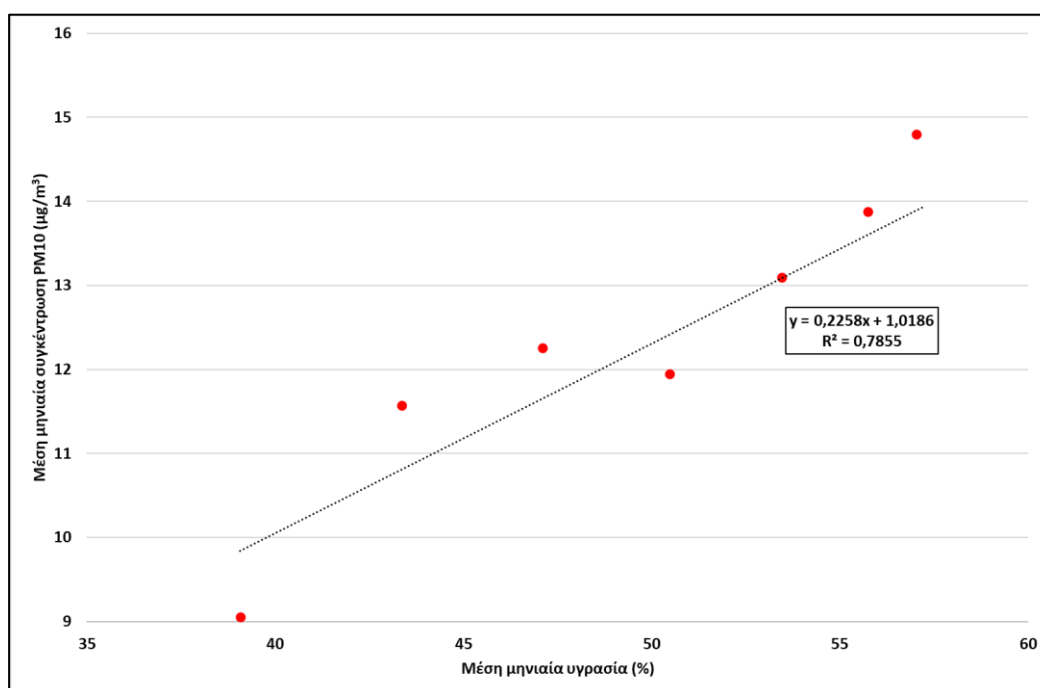
Στο Σχήμα 6.15.5.1 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ σε συνάρτηση με την μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της θερμοκρασίας. Τα δεδομένα περιγράφονται από την εξίσωση $y = -0,0426x + 13,299$, με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0,0007$. Φαίνεται λοιπόν ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης δεν ερμηνεύεται καθόλου από την θερμοκρασία. Επομένως, φαίνεται να μην υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη, δηλαδή η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία.



Σχήμα 6.15.5.1: Σχέση θερμοκρασίας – Συγκέντρωσης PM₁₀.

6.15.6 Σχέση Υγρασίας – Συγκέντρωσης PM₁₀

Στο Σχήμα 6.15.6.1 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές (2-λεπτα) της συγκέντρωσης των PM₁₀ σε συνάρτηση με την μέση μηνιαία τιμή (2-λεπτα) της σχετικής υγρασίας. Τα δεδομένα περιγράφονται από την εξίσωση $y = 0,2259x + 1,0186$, με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0,7855$ (78,55%). Φαίνεται λοιπόν ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης ερμηνεύεται σε ποσοστό 79% περίπου, από την υγρασία. Επομένως, φαίνεται να υπάρχει μία καλή συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη. Η συγκέντρωση λοιπόν των αιωρούμενων σωματιδίων δείχνει να επηρεάζεται από σχετική υγρασία.



Σχήμα 6.15.6.1: Σχέση υγρασίας – Συγκέντρωσης PM₁₀.

7. Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια μελέτης της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό δύο ιδιωτικών οχημάτων. Επιλέχθηκαν δύο διαφορετικού τύπου καυσίμου οχήματα και προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀). Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν γραφικά, σε ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία βάση (2-λεπτα).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό της καμπίνας δείχνει να επηρεάζεται σημαντικά από τις συγκεντρώσεις στο εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. εργασίες οδοστρώματος, αφρικανική σκόνη, γύρη κ.α.). Παράγοντες όπως είναι τα παράθυρα (ανοιχτά/κλειστά), η θέρμανση (ενεργοποιημένη/απενεργοποιημένη), το Air Condition αλλά και ο αριθμός των επιβατών, φαίνεται να μην έχουν τόσο έντονη επιρροή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα πλαίσια της μελέτης, δεν εξετάστηκαν παράγοντες όπως ήταν ο τρόπος αερισμού του οχήματος, η χρονική διάρκεια των διαδρομών, η ώρα μετακίνησης ή κάποιοι αστάθμητοι παράγοντες γενικότερα, που ενδέχεται να επηρέασαν τις τιμές των συγκεντρώσεων. Κάποιες μεμονωμένες τιμές που εμφανίζουν ραγδαία αύξηση, μπορεί να οφείλονται στους αστάθμητους αυτούς παράγοντες.

Τα δύο οχήματα, κινήθηκαν σε διαφορετικές περιοχές και εκτέλεσαν διαφορετικό αριθμό διαδρομών. Δεν θεωρείται λοιπόν συγκρίσιμη η εικόνα τους και δεν είναι ξεκάθαρο αν υπήρχε κάποια επίδραση στις συγκεντρώσεις των τριών ρύπων, από το είδος του καυσίμου. Παρόλα αυτά τα δύο οχήματα έχουν παρόμοια συμπεριφορά στις μηνιαίες τους διακυμάνσεις. Φαίνεται λοιπόν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζουν εποχικότητα, τόσο τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος-Ιανουάριος-Φεβρουάριος) όσο και την περίοδο της άνοιξης (Μάιος-Ιούνιος). Το χειμώνα η έξαρση οφείλεται τόσο στην αυξημένη χρήση των συμβατικών καυσίμων, για να καλυφθούν οι ανάγκες σε θέρμανση όσο και στην αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση των οχημάτων. Αντίθετα τους πιο θερμούς μήνες, υπάρχει έντονη επίδραση από τις φυσικές πηγές.

Σημαντικός ήταν ο παράγοντας της περιοχής στην οποία μετακινήθηκε το κάθε όχημα ξεχωριστά. Πιο αναλυτικά, οι συγκεντρώσεις των ρύπων κατά την μετακίνηση και των δύο οχημάτων στην επαρχία, διατηρήθηκαν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα, οι μετακινήσεις του βενζινοκίνητου οχήματος στο κέντρο της πόλης (Εξάρχεια, Μεταξουργείο κ.α.), προκάλεσαν μία μεγάλη αύξηση στις τιμές, ιδίως τους χειμερινούς μήνες που η κίνηση είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Επιπλέον οι μετακινήσεις σε παραθαλάσσια περιοχή, είχαν επίσης ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων, κάτι που επιβεβαιώνει το γεγονός ότι τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζονται σημαντικά από τις φυσικές τους πηγές (Αφρικανική σκόνη, θαλάσσια αερολύματα κ.α.).

Αποδείχθηκε επιπλέον ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στη θερμοκρασία και στην συγκέντρωση των μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀). Αντίθετα, υπάρχει μία καλή συσχέτιση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των PM₁₀ και στις τιμές της σχετικής υγρασίας. Τα δεδομένα περιγράφονται από την εξίσωση $y = 0,2259x + 1,0186$, με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0,7855$ (78,55%).

Με βάση τις εβδομαδιαίες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων για το βενζινοκίνητο όχημα, βλέπουμε ότι ο κάθε μήνας παρουσίασε διαφορετική διακύμανση. Σε αυτό έχει συμβάλει πιθανότατα η επίδραση των πηγών που δεν είναι ίδιες σε κάθε μήνα και το γεγονός ότι τα αιωρούμενα σωματίδια σχετίζονται με τις μετεωρολογικές συνθήκες. Ωστόσο, συγκεντρωτικά σημειώνονται κάποιες βασικές ομοιότητες. Φαίνεται λοιπόν ότι στα μέσα της εβδομάδας και την Κυριακή εμφανίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Οι χαμηλές τιμές το Σάββατο, πιθανότατα να οφείλονται στη μείωση της κίνησης, ενώ οι αυξημένες τιμές στα μέσα της εβδομάδας στο γεγονός ότι τα αιωρούμενα σωματίδια είναι συσσωρευτικός ρύπος.

7.2 Μελλοντικές προτάσεις

Για την μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, θα μπορούσαν να τεθούν επιπλέον κάποια μέτρα, που αποσκοπούν και συνεισφέρουν στην καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης. Σημαντική θα ήταν για παράδειγμα:

- Η χρήση περισσότερων ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κατά την παραγωγική διαδικασία, προκειμένου να μειωθούν οι ρύποι που προέρχονται από την καύση.
- Η αντικατάσταση του ρεύματος και του πετρελαίου, που χρησιμοποιείται κατά βάση στις μέρες μας ως μέσο θέρμανσης ή σε μαγειρικές εστίες, από εναλλακτικά καύσιμα όπως είναι για παράδειγμα το φυσικό αέριο ή τα βιοκαύσιμα.
- Η επιβολή οικονομικών κιρρώσεων, προστίμων ή περιβαλλοντικών τελών, που θα λειτουργήσουν ως κίνητρο για τις χώρες, που μέχρι σήμερα αγνοούν τους κανονισμούς, που σχετίζονται με το περιβάλλον.
- Η ενεργειακή αναβάθμιση των ιδιωτικών και δημοσίων εγκαταστάσεων και κτηρίων και ο μετασχηματισμός των εμπορικών και επιβατικών στόλων με στόχο την χρήση κυρίως πράσινων καυσίμων.
- Η πρόληψη. Ιδιαίτερη σημαντική για την πρόληψη, είναι η σωστή ενημέρωση των πολιτών. Σε αυτό θα μπορούσε να συμβάλει τόσο μία σειρά σύγχρονων και ενημερωμένων περιβαλλοντικών μαθημάτων ακόμη και από την σχολική ηλικία όσο και η συζήτηση για περιβαλλοντικού περιεχομένου θέματα στην δημόσια τηλεόραση και γενικότερα στα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (ΜΜΕ).

- Καθώς οι μεταφορές αποτελούν μία βασική πηγή ρύπανσης, καθίσταται απαραίτητη η ενθάρρυνση των πολιτών να χρησιμοποιούν στις καθημερινές τους μετακινήσεις τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς.
- Διεξαγωγή περισσότερων μελετών που επικεντρώνονται στην διακύμανση των ρύπων, στην εισπνεόμενη δόση και στις επιπτώσεις του φαινομένου στην ανθρώπινη υγεία.
- Η προώθηση της ηλεκτροκίνησης για την μείωση των εκπομπών (Ηλεκτρικά αυτοκίνητα μηχανάκια, πατίνια κ.α.) μέσω πιθανών επιδοτήσεων.
- Η δυνατότητα πρόσβασης των πολιτών σε πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα αέριας ρύπανσης στις περιοχές που κατοικούν ή μετακινούνται ώστε να αντιλαμβάνονται πότε πρέπει να προφυλάξουν περαιτέρω την υγεία τους.
- Η Θέσπιση νέων πιο αυστηρών ευρωπαϊκών νομοθετικών πλαισίων και επιπλέον ανάπτυξη προγραμμάτων που αποσκοπούν στον έλεγχο και στην παρακολούθηση της ατμόσφαιρας.

8. Βιβλιογραφία

1. Μουστρής, Κ. Πρόγνωση Ποιότητας Της Ατμόσφαιρας Στην Ευρύτερη Περιοχή Αθηνών Με Τη Χρήση Νευρωνικών Δικτύων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) Σχολή Χημικών Μηχανικών Τομέας Ανάλυσης Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων (Π), 2009.
2. Υπουργείο Περιβάλλοντος Και Ενέργειας Available online: <https://ypen.gov.gr>.
3. Πρόδρομος Ζάνης Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας 2014.
4. World Health Organization Available online: <https://www.who.int/>.
5. Ιωάννης Γεντεκάκης *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες*; 2η έκδοση.; Κλειδάριθμος, 2010; ISBN 978-960-461-394-6.
6. Δρ. Πρόδρομος Ζάνης Σημειώσεις : Εισαγωγή Στην Αέρια Ρύπανση.
7. Δεμάγκος, Ά. Συγκριτική μελέτη συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων σε επιλεγμένες Ευρωπαϊκές πόλεις. **2022**, 220, doi:10.26265/POLYNOE-2897.
8. Καραγιαννοπούλου, Ε. Χρονική Διακύμανση Αιωρούμενων Σωματιδίων Σε Πόλεις-Λιμάνια Της Ευρώπης Με Διαφορετικά Κλιματολογικά Και Πληθυσμιακά Χαρακτηριστικά – Υπολογισμός Εισπνεόμενης Συγκέντρωσης Σε Ενεργές Ομάδες Πληθυσμού. **2023**, 70, doi:10.26265/POLYNOE-4640.
9. Ζαννίκου, Υ.; Ζαννίκου, Υ. Ανάπτυξη μεθόδου προσδιορισμού βαρέων συστατικών σε ελαφρά κλάσματα πετρελαίου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών, Εργαστήριο Τεχνολογίας Καυσίμων και Λιπαντικών, 2018.
10. Σύρρος, Κ. Ατμοσφαιρική Ρύπανση Και Βρογχικό Άσθμα Στο Λεκανοπέδιο Της Αττικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), 1998.
11. Κάσδαγλη, Μ.-Ι.; Kasdagli, M.-I. Μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και θνησιμότητα στην Ελλάδα, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, Τομέας Κοινωνικής Ιατρικής - Ψυχιατρικής και Νευρολογίας, Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής, 2022.
12. Δημητρίου, Κ.; Dimitriou, K. Σωματίδια PM10 και PM2.5 στην Ευρώπη: τοπικές πηγές, ατμοσφαιρική μεταφορά, επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, 2013.
13. Δελημάρης, Δ.; Delimaris, D. Οξειδωση πτητικών οργανικών ενώσεων σε καταλύτες μεταλλικών οξειδίων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Χημείας, 2008.
14. Χεριστανίδης, Σ.; Cheristanidis, S. Φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων: σχετιζόμενες πηγές διαφορετικής κλίμακας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Π : Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων, 2023.
15. Larashi Loren Στατιστική ανάλυση δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας., doi:10.26233/HEALLINK.TUC.76812.
16. Κατσούλης, Μ.; Katsoulis, M. Επίδραση της μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση, σχετιζόμενη με κυκλοφοριακή κίνηση, στη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα απο καρδιαγγειακά νοσήματα, στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, Τομέας Κοινωνικής Ιατρικής, Ψυχιατρικής και

Νευρολογίας, Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής, 2015.

17. Σπυρόπουλος Γεώργιος Τομέας Μεταφορών - Καταλυτικοί Μετατροπείς.
18. <https://www.newsauto.gr/ NewsAuto>.
19. Yin, C.; Li, H.; Cha, Y.; Zhang, S.; Du, J.; Li, Z.; Ye, W. Characterizing In-Cabin Air Quality and Vehicular Air Filtering Performance for Passenger Cars in China. *Environmental Pollution* **2023**, *318*, 120884, doi:10.1016/j.envpol.2022.120884.
20. Ma, C.-J.; Kang, G.-U. In-Car and Near-Road Exposure to PM_{2.5} and BC. *ajae* **2020**, *14*, 146–154, doi:10.5572/ajae.2020.14.2.146.
21. Geiss, O.; Barrero-Moreno, J.; Tirendi, S.; Kotzias, D. Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars. *Aerosol Air Qual. Res.* **2010**, *10*, 581–588, doi:10.4209/aaqr.2010.07.0054.
22. Tolis, E.I.; Karanotas, T.; Svolakis, G.; Panaras, G.; Bartzis, J.G. *Air Quality Into Cabin Environment of Different Passenger Cars: Effect of Car Usage, Fuel Type and Ventilation/Infiltration Conditions*; In Review, 2021;
23. *PurpleAir*; 2023;
24. Lu, Y.; Giuliano, G.; Habre, R. Estimating Hourly PM_{2.5} Concentrations at the Neighborhood Scale Using a Low-Cost Air Sensor Network: A Los Angeles Case Study. *Environmental Research* **2021**, *195*, 110653, doi:10.1016/j.envres.2020.110653.
25. Google Maps Available online: <https://www.google.gr/maps/@35.3034739,25.0825061,711m/data=!3m1!1e3?hl=el&entry=ttu>.
26. Google Earth Available online: <https://earth.google.com/web/>.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

9.1 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Πίνακες μέσων ημερήσιων τιμών - Ford (2-λεπτα)

Πίνακας 9.1.1: Μέσες τιμές ημέρας - Ford (2-λεπτα).

Μέσες τιμές ημέρας (Η κάθε μέρα ξεχωριστά με όλες τις διαδρομές μέσα (2-λεπτα))	PM ₁ _AV	PM _{2,5} _AV	PM ₁₀ _AV
26/12/2022	5,01	10,06	11,31
27/12/2022	13,07	21,30	24,65
28/12/2022	1,87	4,25	5,23
02/01/2023	12,16	19,14	20,66
03/01/2023	17,37	27,55	30,19
05/01/2023	16,80	26,59	28,92
07/01/2023	4,43	9,14	10,40
08/02/2023	1,49	3,63	4,06
22/02/2023	12,73	21,58	23,13
25/02/2023	25,76	40,42	43,67
27/02/2023	2,98	9,24	11,52
03/03/2023	1,49	4,49	5,35
04/03/2023	8,98	16,38	18,04
10/03/2023	12,43	17,21	18,23
15/03/2023	0,01	0,33	0,57
16/03/2023	0,44	2,05	2,42
22/03/2023	15,67	24,44	26,64
24/03/2023	5,17	12,39	13,66
25/03/2023	17,42	27,12	28,78
31/03/2023	0,72	2,73	3,18
01/04/2023	5,26	10,12	12,08
17/04/2023	1,89	4,86	6,10
18/04/2023	0,68	1,63	1,92
22/04/2023	4,56	9,11	10,03
23/04/2023	2,82	5,96	6,47

9.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Πίνακες μέσων ημερήσιων τιμών - Subaru (2-λεπτα)

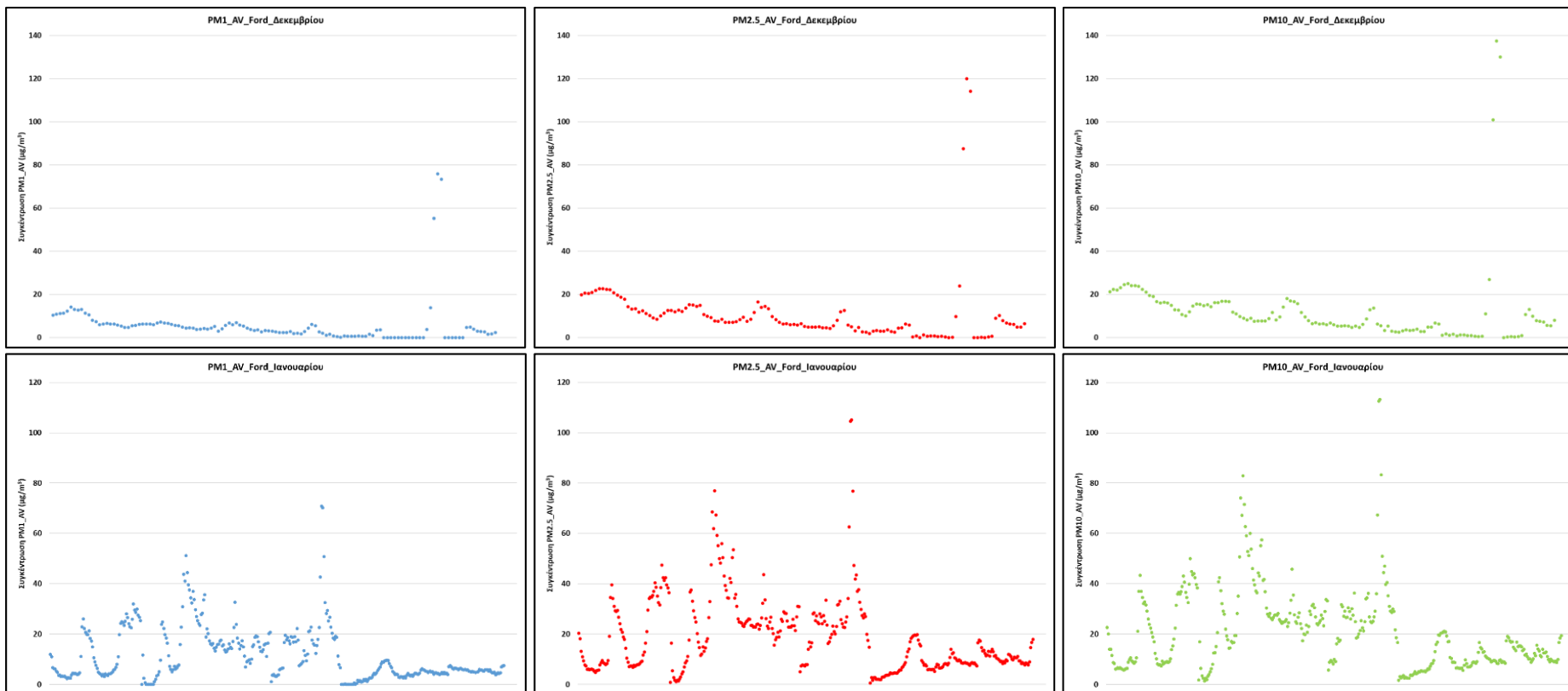
Πίνακας 9.2.1: Μέσες τιμές ημέρας - Subaru (2-λεπτα).

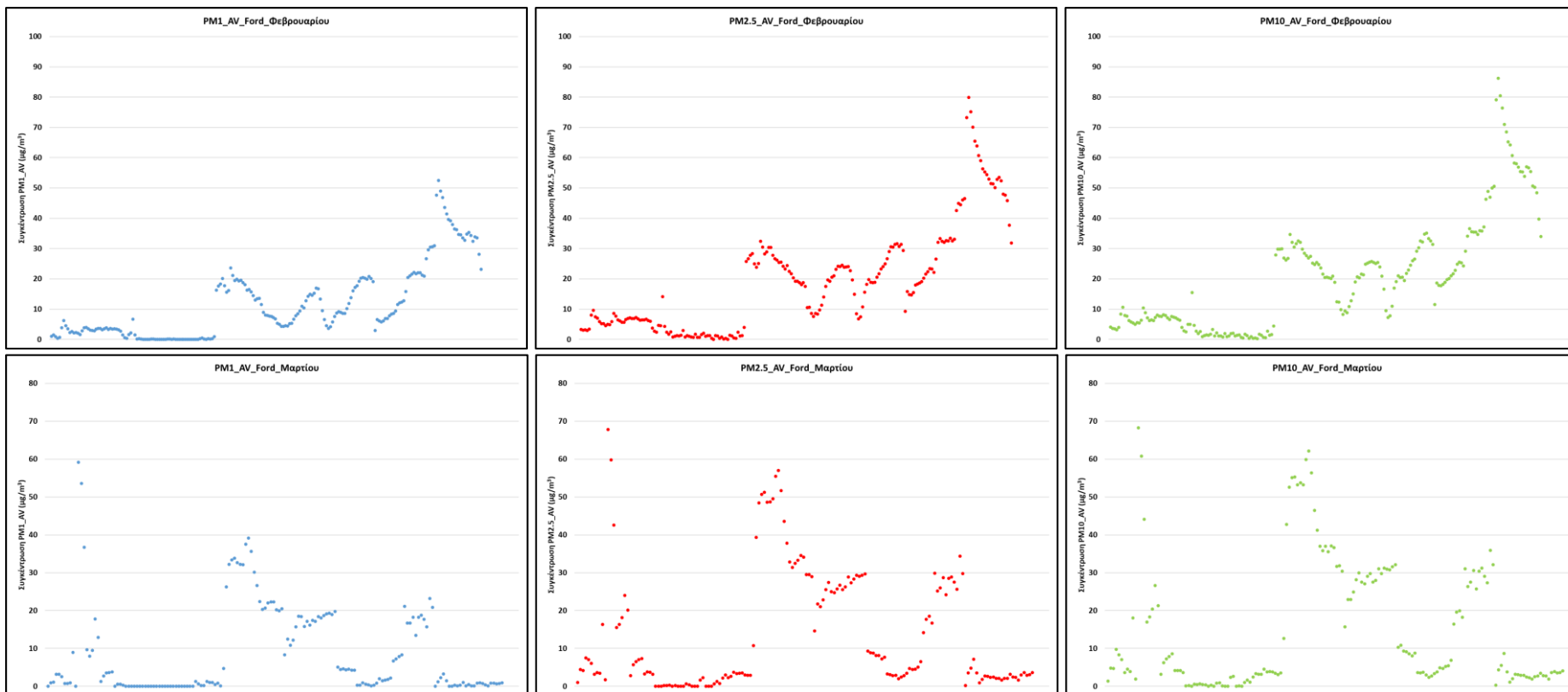
Μέσες τιμές ημέρας (Η κάθε μέρα ξεχωριστά με όλες τις διαδρομές μέσα (2-λεπτα))	PM ₁ _AV	PM _{2,5} _AV	PM ₁₀ _AV	current_tem p_°C	current_hum idity	Μέσες τιμές ημέρας (Η κάθε μέρα ξεχωριστά με όλες τις διαδρομές μέσα(2-λεπτα))	PM ₁ _AV	PM _{2,5} _AV	PM ₁₀ _AV	current_tem p_°C	current_h umidity
22/11/2022	1,08	2,63	3,00	32,50	24,83	7/3/2023	0,95	2,37	2,99	20,44	32,67
23/11/2022	6,51	11,47	12,42	21,86	30,50	8/3/2023	2,00	4,56	5,07	21,87	32,17
24/11/2022	7,36	11,07	12,10	20,99	34,33	9/3/2023	2,45	5,11	5,54	21,11	35,83
25/11/2022	2,61	6,10	6,81	20,54	38,50	11/3/2023	0,99	3,16	3,63	26,54	39,67
28/11/2022	0,05	1,52	1,95	18,94	42,50	13/3/2023	2,21	4,57	5,01	20,77	43,83
29/11/2022	4,19	7,87	0,29	18,69	48,33	15/3/2023	3,74	7,33	8,19	18,30	48,00
30/11/2022	16,59	25,18	26,79	20,70	54,50	18/3/2023	2,73	5,97	6,56	20,53	51,83
1/12/2022	12,15	19,06	20,66	20,25	54,83	20/3/2023	3,73	6,39	6,78	30,65	55,33
3/12/2022	8,18	15,76	17,2	21,04	56,67	21/3/2023	14,44	22,47	23,81	29,93	54,50
5/12/2022	4,91	9,05	9,95	19,85	58,00	22/3/2023	4,91	10,12	12,22	18,68	53,50
6/12/2022	7,32	13,22	14,82	20,66	59,33	23/3/2023	3,61	6,81	7,27	28,16	52,33
14/12/2022	5,75	7,43	7,47	24,53	58,50	25/3/2023	17,83	26,90	28,10	30,20	51,83
15/12/2022	2,93	5,84	6,68	27,38	57,33	26/3/2023	6,61	13,33	14,69	24,94	51,50
17/12/2022	6,21	10,41	11,6	24,57	56,00	27/3/2023	4,80	9,48	10,50	23,72	51,50
18/12/2022	14,93	24,33	25,97	19,29	56,00	29/3/2023	0,65	1,36	1,61	21,76	51,67
19/12/2022	2,37	5,62	6,47	11,43	56,17	30/3/2023	0,19	0,61	0,75	28,98	51,17
20/12/2022	0,58	2,41	2,86	22,92	56,33	31/3/2023	3,07	5,34	5,88	32,78	50,17
21/12/2022	11,19	17,66	18,96	18,99	56,67	2/4/2023	12,15	18,73	20,26	23,46	48,00
22/12/2022	9,52	15,69	17,21	17,98	57,00	3/4/2023	1,84	5,23	6,24	23,77	45,33

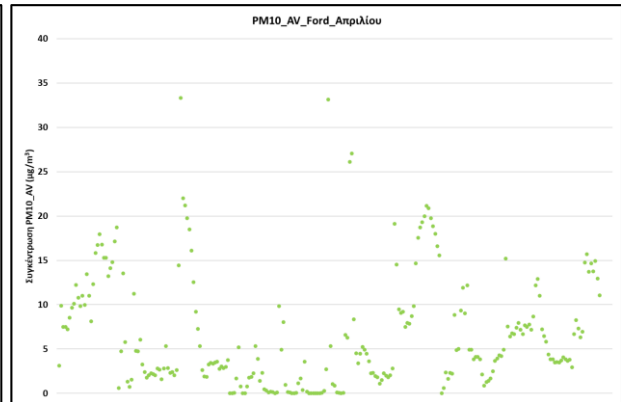
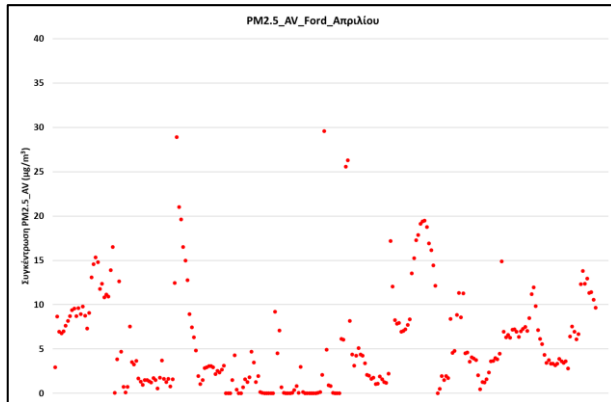
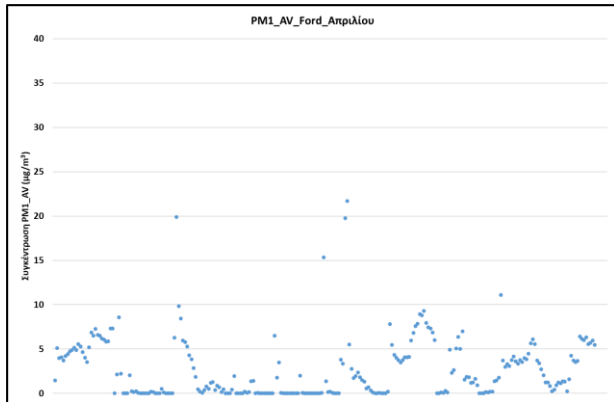
23/12/2022	21,46	31,2	33,24	20,56	57,33	4/4/2023	1,12	2,56	3,11	23,96	42,67
24/12/2022	19,45	28,34	30,02	17,18	56,50	5/4/2023	0,02	1,07	1,35	40,28	40,50
26/12/2022	1,95	4,89	5,43	24,06	55,50	6/4/2023	0,30	1,19	1,45	23,07	39,50
27/12/2022	5,64	11	12,39	27,16	54,50	7/4/2023	16,12	24,17	25,82	21,95	39,17
29/12/2022	15,79	23,82	24,91	23,52	53,50	8/4/2023	6,31	11,91	12,76	26,05	43,33
31/12/2022	10,67	20,65	21,87	22,20	55,17	10/4/2023	4,38	7,54	8,08	30,56	48,00
2/1/2023	4,16	9,40	11,21	20,37	57,17	11/4/2023	7,10	12,20	13,17	27,33	52,83
3/1/2023	30,48	43,68	46,21	24,80	59,67	13/4/2023	6,00	11,82	12,99	30,53	57,17
4/1/2023	10,27	16,95	18,44	24,96	62,50	15/4/2023	0,25	0,79	0,96	30,00	60,67
5/1/2023	13,40	22,28	23,54	25,64	65,50	17/4/2023	0,54	1,73	2,09	29,22	63,67
6/1/2023	4,71	9,19	10,07	20,07	68,50	19/4/2023	1,92	3,86	4,38	23,34	62,00
7/1/2023	19,49	29,20	31,09	17,08	68,83	20/4/2023	6,14	9,66	10,56	29,27	59,83
8/1/2023	12,25	21,53	23,40	17,50	68,67	21/4/2023	19,05	28,73	30,58	21,95	57,17
9/1/2023	17,49	28,87	30,91	18,39	67,83	4/5/2023	5,40	10,57	12,06	25,34	54,33
10/1/2023	2,78	6,35	7,35	18,06	66,50	5/5/2023	2,66	5,72	6,08	22,74	53,00
11/1/2023	16,30	24,16	25,50	19,20	65,00	8/5/2023	8,04	12,76	13,93	30,22	52,17
12/1/2023	5,44	9,27	10,14	22,32	59,17	9/5/2023	10,53	17,20	18,52	22,57	52,00
14/1/2023	3,57	7,02	7,63	17,72	53,33	10/5/2023	2,10	4,94	5,37	27,78	52,50
16/1/2023	11,63	17,96	19,59	20,63	47,67	11/5/2023	3,07	6,62	7,31	24,48	53,33
17/1/2023	0,52	2,16	2,64	26,37	42,33	12/5/2023	7,33	11,54	12,34	35,45	54,33
18/1/2023	1,88	5,83	7,49	21,83	37,50	13/5/2023	4,07	7,64	8,13	32,72	54,17
19/1/2023	0,32	2,04	2,73	20,70	33,00	15/5/2023	8,46	12,81	13,71	34,21	53,83
21/1/2023	0,20	2,93	4,14	24,12	33,00	16/5/2023	8,96	15,97	17,31	29,55	53,17
23/1/2023	1,15	2,45	2,87	19,64	35,67	17/5/2023	0,42	2,24	2,50	26,89	52,17
24/1/2023	4,32	8,18	8,85	14,10	38,67	18/5/2023	5,23	10,01	11,17	32,02	51,00
25/1/2023	3,01	7,49	8,58	15,07	41,50	19/5/2023	3,33	6,77	7,41	23,42	50,00
26/1/2023	5,39	11,72	13,09	17,24	43,50	23/5/2023	7,96	15,14	16,27	28,89	49,17

27/1/2023	19,87	26,96	28,26	22,50	44,83	25/5/2023	22,53	31,67	33,04	32,91	48,17
29/1/2023	14,08	22,80	24,16	21,67	45,67	26/5/2023	4,54	8,25	9,16	38,34	47,67
31/1/2023	10,85	20,02	22,11	11,73	43,67	27/5/2023	6,17	10,67	11,35	35,42	47,33
3/2/2023	17,13	24,12	25,98	12,30	41,17	29/5/2023	5,58	10,13	10,99	31,17	47,17
4/2/2023	4,27	8,31	9,03	19,64	38,67	30/5/2023	10,06	17,16	18,45	31,17	47,00
7/2/2023	2,13	4,73	5,26	11,24	36,83	31/5/2023	19,35	29,25	30,54	31,33	46,83
8/2/2023	5,98	10,23	10,92	18,50	35,67	3/6/2023	7,95	15,74	16,99	29,01	47,00
9/2/2023	2,53	5,32	5,83	21,11	35,17	4/6/2023	5,32	9,23	9,99	34,63	47,00
10/2/2023	2,00	4,69	5,28	18,58	35,00	7/6/2023	7,14	11,56	12,60	31,42	50,00
11/2/2023	2,63	5,52	6,00	21,05	35,33	10/6/2023	15,46	22,61	23,60	38,25	53,17
12/2/2023	8,66	16,64	17,69	25,56	35,67	13/6/2023	10,33	18,25	19,85	36,89	56,17
13/2/2023	3,90	7,65	8,31	24,63	35,83	14/6/2023	10,66	17,12	17,88	28,56	58,83
14/2/2023	7,70	14,20	15,37	24,51	35,50	15/6/2023	7,95	13,90	14,80	39,03	61,00
16/2/2023	23,14	35,32	38,14	22,64	36,83	16/6/2023	6,87	11,39	12,17	36,73	62,67
18/2/2023	5,59	12,04	14,22	21,76	38,17	17/6/2023	2,80	6,29	6,97	34,28	60,83
20/2/2023	9,60	15,46	16,92	27,41	39,17	19/6/2023	8,29	15,00	15,98	32,36	58,33
21/2/2023	11,77	19,34	20,74	26,55	40,00	21/6/2023	14,93	21,58	22,54	43,71	55,67
22/2/2023	19,48	29,12	30,59	21,23	40,67	22/6/2023	6,39	12,40	12,98	33,83	53,17
23/2/2023	24,98	36,59	38,62	21,28	41,50	23/6/2023	19,59	28,10	29,15	41,61	53,83
26/2/2023	2,60	6,41	7,29	23,50	40,17	24/6/2023	6,49	11,65	12,62	30,10	54,50
28/2/2023	11,75	21,73	23,65	25,73	38,67	25/6/2023	15,56	22,97	23,91	38,77	55,67
1/3/2023	23,51	36,24	38,68	25,35	37,17	27/6/2023	3,72	6,38	6,76	38,15	57,33
2/3/2023	8,70	19,64	21,22	22,05	35,83	28/6/2023	8,68	12,82	13,50	48,11	59,50
4/3/2023	0,01	0,41	0,93	21,51	34,50	29/6/2023	10,86	20,13	21,33	34,48	61,83
6/3/2023	0,06	1,65	2,06	18,64	33,33	30/6/2023	6,67	12,20	13,09	30,36	61,67

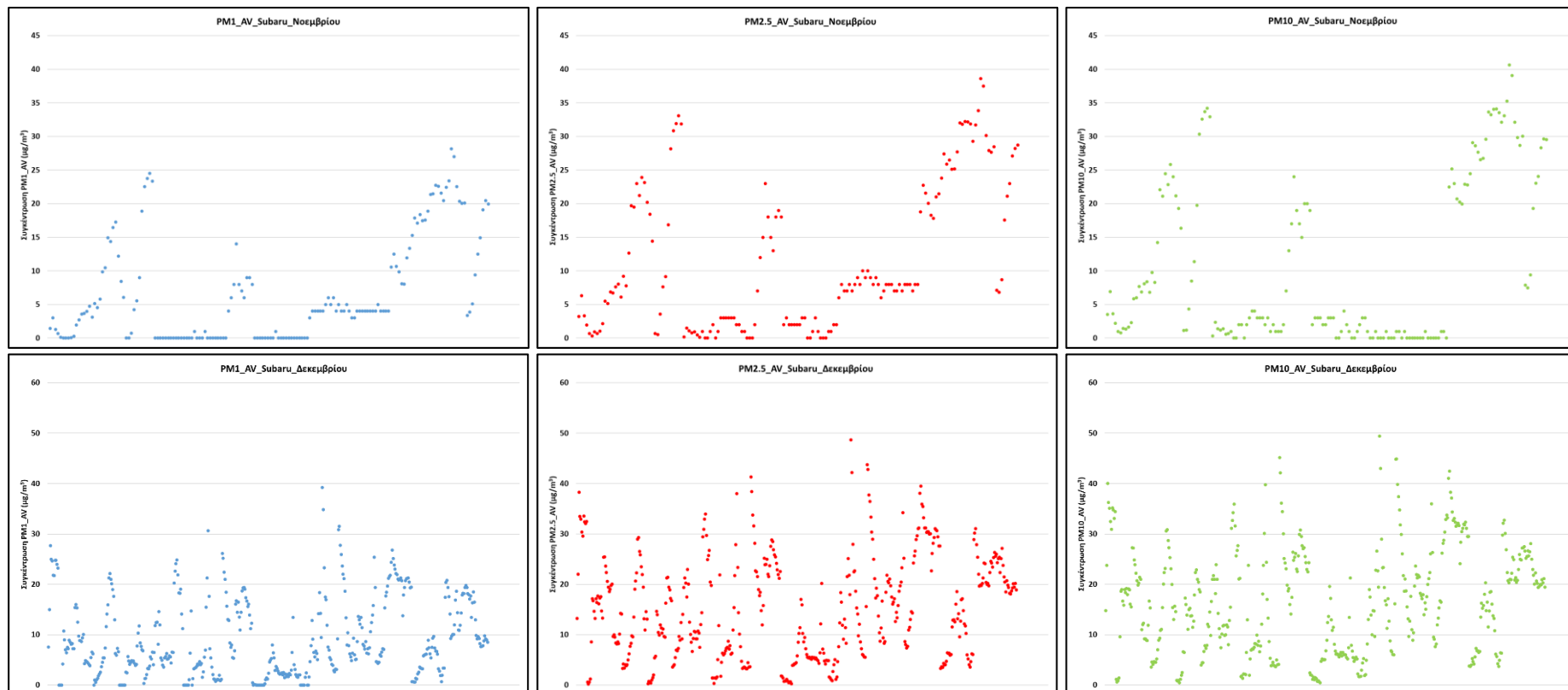
9.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Διακύμανση ρύπων (Ford)

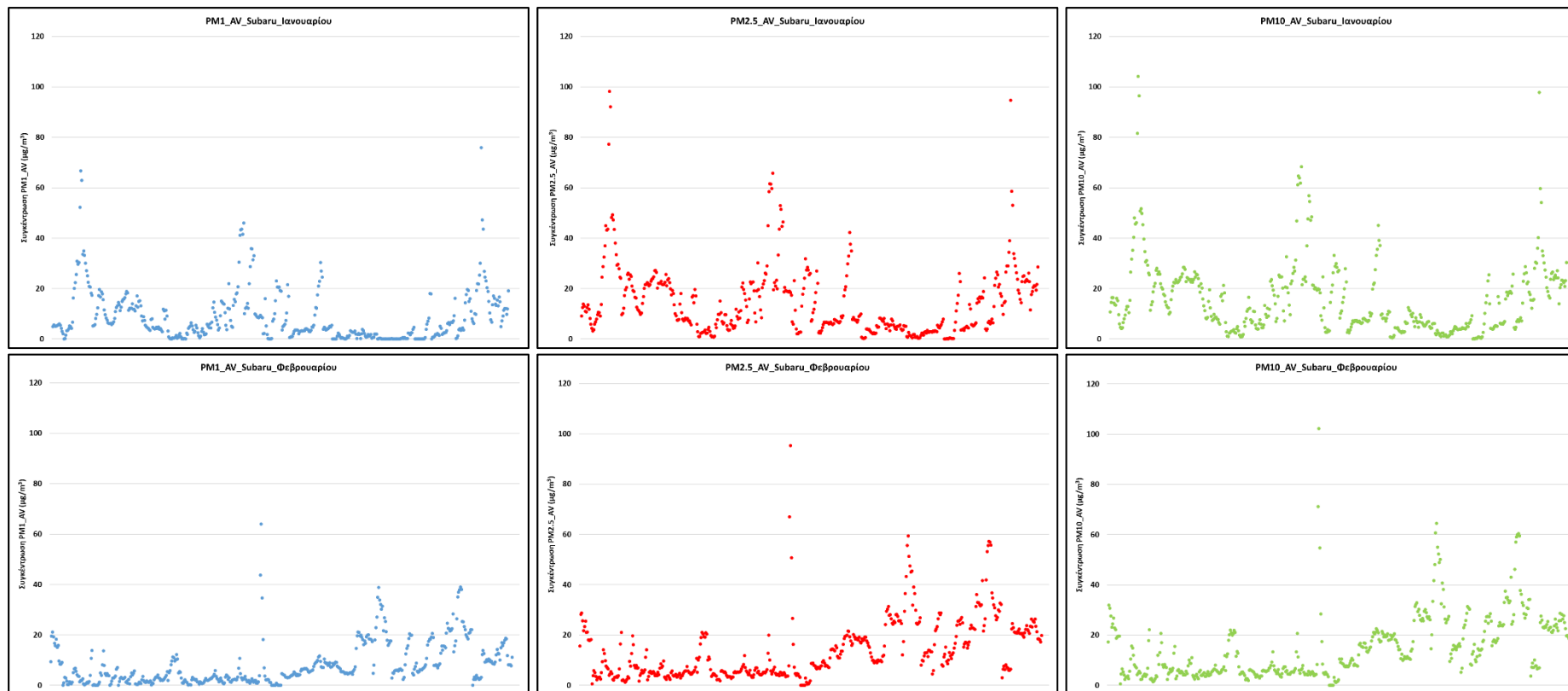


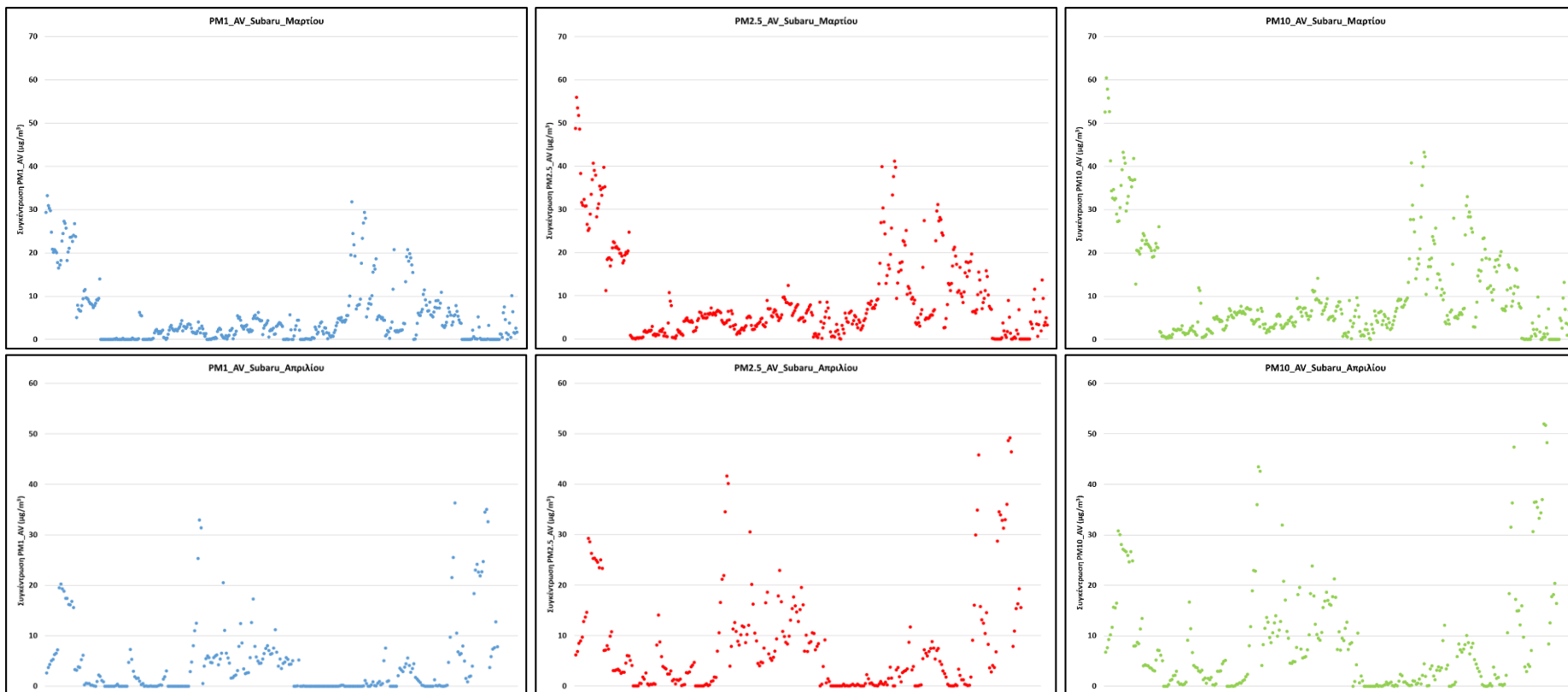


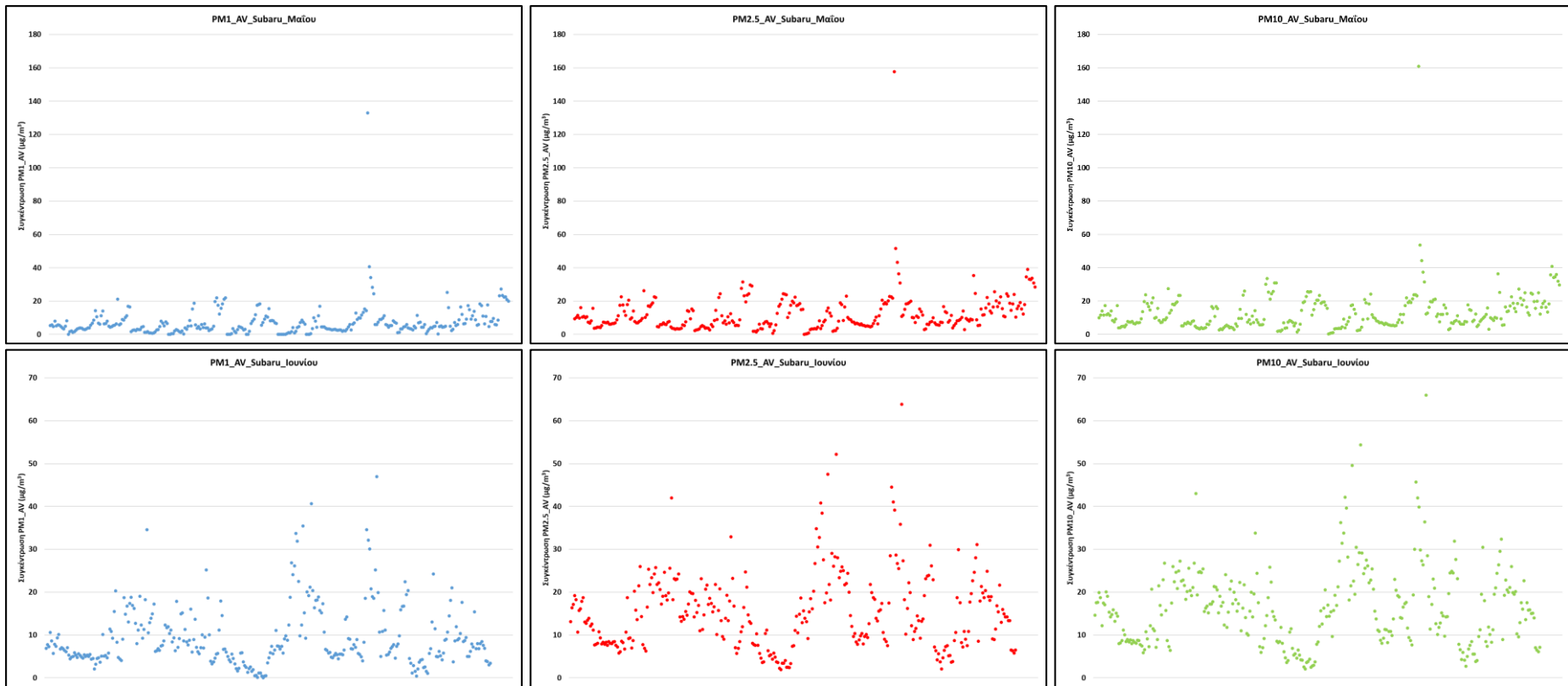


9.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Διακύμανση ρύπων (Subaru)









9.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Απόσπασμα σημειώσεων ανά διαδρομή.

Date	Departure Place	Departure Time	Passengers	Open Windows	Arrival Place	Arrival Time	Remarks
26/12	ΓΕΡΑΚΑΣ	10 ²⁰	2	No	ΚΑΛΗΜΗ ΒΟΥΡΩΝ	12 ⁰⁵	ΧΕΡΙΣ Air Cond
26/12	ΚΑΛΗΜΗ ΒΟΥΡΩΝ	13 ⁰⁰	2	No/Yes	ΤΥΜΦΡΗΤΟΣ	14 ³⁰	" " " / Παράθυρα
27/12	ΤΥΜΦΡΗΤΟΣ	10 ³⁸	2	No	ΚΑΡΔΙΤΗΝΗΖΙ	11 ¹⁵	
28/12	"	12 ¹⁰	2	No	ΤΥΜΦΡΗΤΟΣ	12 ⁴⁵	Τεμπ - Κέρη - Τυμφ
02/01	"	10 ⁴⁵	2	No	Σ.Σ. ΛΙΑΝΟΥΔΑ	11 ⁴⁵	
02/01	Σ.Σ. ΔΙΑΝΟΥΔΑ	11 ⁴⁵	4	No/Yes	ΠΥΛΗ ΤΡΙΚΛΗΣ	13 ²⁰	
03/01	ΚΟΜΙΣΤΟΣ	11 ⁵⁰	4	No/Yes	ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ	12 ³⁰	ΣΤΑΣΗ 12 ⁴¹
03/01	ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ	12 ⁴⁵	0	No/Yes	ΤΡΙΚΛΗΣ		ΣΤΑΣΗ 12 ⁰⁰ - 13 ⁴³ / 13 ⁵⁰ - 14 ³⁰
05/01	ΚΟΜΙΣΤΟΣ		4		ΣΙΑΤΙΣΤΑ		
05/01	ΣΙΑΤΙΣΤΑ		2		ΚΟΜΙΣΤΟΣ		ΧΕΙΡΩΝ ΟΡΓΑΝΩΣ
07/01	ΚΟΜΙΣΤΟΣ	19 ²⁵	2		ΓΕΡΑΚΑΣ	17 ⁰⁷	ΕΘΟΣΙΟΣ
08/02	ΓΕΡΑΚΑΣ	11 ¹⁵	2	No	ΠΑΡΑΝΟΤΗΤΗ	13 ³⁰	
22/02	ΠΑΡΑΝΟΤΗΤΗ	11 ³⁰	2	No	ΓΕΡΑΚΑΣ		
25/02	ΓΕΡΑΚΑΣ	20 ⁰⁰	3	No	ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΑΘΗΝΩΝ	20 ³⁰	

Εικόνα 9.5.1: Απόσπασμα σημειώσεων ανά διαδρομή, για το πετρελαιοκίνητο όχημα.