



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Καταγραφή και μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων και  
μετεωρολογικών δεδομένων, εκτός και εντός της καμπίνας μικρού  
ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου.**



Συγγραφέας: **Καλογιάννης Ευάγγελος Χρήστος (ΑΜ: 47991)**

Επιβλέπων καθηγητής: **Δρ. Μουστράς Κωνσταντίνος**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/α</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
<b>1</b>	<b>Δρ. Κωνσταντίνος Μουστρής (Καθηγητής)</b>	
<b>2</b>	<b>Δρ. Σπυρόπουλος Γεώργιος (ΕΔΙΠ)</b>	
<b>3</b>	<b>Ντούρου Κλεοπάτρα (ΕΔΙΠ)</b>	

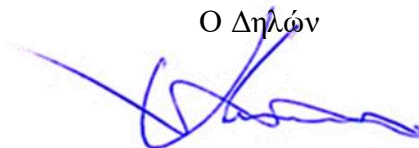
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καλογιάννης Ευάγγελος Χρήστος του Θεοδώρου, με αριθμό μητρώου 47991 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



**Καλογιάννης Ευάγγελος-Χρήστος**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ερευνά τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate Matter, PM) και τις μετεωρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία και υγρασία) τόσο εντός όσο και εκτός της καμπίνας ενός μικρού ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου. Στόχος της έρευνας είναι να καταγράψει τα επίπεδα των PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>1</sub> και να εξετάσει πώς οι εξωτερικές συνθήκες και η χρήση θέρμανσης επηρεάζουν αυτές τις συγκεντρώσεις. Για την υλοποίηση της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δύο σύγχρονοι αισθητήρες αιωρούμενων σωματιδίων, τοποθετημένοι στο εσωτερικό και το εξωτερικό του αυτοκινήτου. Οι αισθητήρες κατέγραψαν δεδομένα σε διάφορα σενάρια, συμπεριλαμβανομένων των διαδρομών και της στάθμευσης, με και χωρίς τη χρήση θέρμανσης. Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικά υψηλότερες στο εξωτερικό του αυτοκινήτου σε σχέση με το εσωτερικό.

**Λέξεις κλειδιά:** PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>, Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο, Θερμοκρασία, Υγρασία.

## Abstract

The present study investigates the concentrations of particulate matter (PM) and meteorological parameters (temperature and humidity) both inside and outside the cabin of a small electric vehicle. The aim of the research is to record the levels of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> and examine how external conditions and the use of heating affect these concentrations. To conduct the study, two modern particulate matter sensors were used, placed inside and outside the vehicle. The sensors recorded data in various scenarios, including driving routes and parking with and without the use of heating. The results indicate that particulate matter concentrations are significantly higher outside the vehicle compared to inside.

**Key Words:** PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>, Electric Car, Temperature, Humidity.

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Μουστρή Κωνσταντίνο για την στήριξη του και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την πρώτη στιγμή αναθέτοντας μου ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα.

## Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες.....	6
Κεφάλαιο 1° Εισαγωγή.....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Παραγωγή ρύπων τη τελευταία δεκαετία.....	9
1.3 Συγκεντρώσεις και μεγέθος σωματιδίων.....	11
Κεφάλαιο 2° Βιβλιογραφική ανασκόπηση – Ιστορική αναδρομή.....	15
2.1 Το περιβαλλοντικό πρόβλημα σήμερα.....	15
2.1.1. Εισαγωγή.....	15
2.1.2. Ιστορική αναδρομή.....	15
2.2 Επίδραση της διαφορετικών τρόπων αερισμού σε οχήματα εκτεθειμένα σε μονοξείδιο του άνθρακα.....	17
2.3 Διερεύνηση πηγών και σημασία για την ανθρώπινη υγεία για υπέρβαση των ορίων των $PM_{10}$ .....	18
2.4 Διαφορές των αέριων ρύπων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ και $PM_1$ σε ιζηματογενές λεκανοπέδιο του Σιτσουάν σχετιζόμενες με καιρικούς παράγοντες.....	20
2.5 Επίδραση των αέριων σωματιδίων $PM_{10}$ , $PM_{2.5}$ και $PM_1$ στο καρδιαγγειακό σύστημα.....	22
2.6 Επίδραση των μέτρων της καραντίνας για την αντιμετώπιση του Sars-CoV-2 στις μετρήσεις αέριων ρύπων όπως τα $PM_{10}$ και διάφορους ρύπους στην Νότια Ισπανία.....	24
2.7 «Ένα διευρυμένο μοντέλο CAViaR για έγκαιρη προειδοποίηση υπερβάσεων των προτύπων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η περίπτωση των $PM_{10}$ στην πόλη της Μαδρίτης».....	26
2.8 Επίδραση των αέριων ρύπων $PM_{2.5}$ , $PM_{10}$ , $NO_2$ στην περίοδο του Covid-19 με έμφαση σε ασθενείς που πάσχουν από σκλήρυνση κατά πλάκας.....	28
2.13 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	35
Κεφάλαιο 3° Στοιχεία θεωρίας.....	36
3.1 Εισαγωγή.....	36
3.1.1. Διοξείδιο του θείου.....	36
3.1.2. Μονοξείδιο του άνθρακα.....	37
3.1.3. Υδρογονάνθρακες.....	38
3.1.4. Αιωρούμενα σωματίδια.....	38
3.1.5. Μόλυβδος.....	39
3.1.6. Οξείδια του αζώτου.....	39
3.1.7. Όζον.....	40

3.1.8 Σύνοψη .....	40
3.2. Άνεμος.....	42
3.2.1. Ευστάθεια ατμοσφαιρικού αέρα.....	45
3.3 Έξοδος καυσαερίων από καπνοδόχους.....	45
3.4 Διάχυση ρυπαντών στην ατμόσφαιρα.....	47
3.5 Κίνηση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....	48
3.6 Συσκευές μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων .....	48
3.7 Συσκευές ελέγχου ατμοσφαιρικών ρύπων.....	49
3.8 Συσκευές κατακράτησης σωματιδίων.....	49
Κεφάλαιο 4° Μεθοδολογία διεξαγωγής .....	51
4.1. Περιγραφή οργάνων μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων.....	51
4.1.1. Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	51
4.1.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού οχήματος.....	52
4.2. Καταγραφή δεδομένων ατμοσφαιρικών μετρήσεων .....	53
4.2.1. Συγχρονισμός αισθητήρων.....	53
4.2.2. Τοποθέτηση αισθητήρων στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο .....	54
4.2.3. Μελέτη και έναρξη διαδρομών.....	56
4.2.4. Επεξεργασία Μετρήσεων.....	60
Κεφάλαιο 5° Παρουσίαση αποτελεσμάτων & ερμηνεία.....	62
Κεφάλαιο 6° Συμπεράσματα – Μελλοντική διερεύνηση.....	84
6.1. Συμπεράσματα.....	84
6.2. Μελλοντική διερεύνηση.....	84
Βιβλιογραφία-Αναφορές-Διαδικτυακές Πηγές.....	85



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αυξάνεται η ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Ωστόσο, ένα σημαντικό ζήτημα που έχει προκύψει τόσο από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και από τις πηγές ενέργειας των μεταφορικών μέσων είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων. Η καύση αυτών των καυσίμων παράγει διάφορους ρύπους, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το όζον (O<sub>3</sub>), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter ή PM), τα οποία είναι γνωστό ότι έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. [1-2]

Ως εκ τούτου πολλοί επιστήμονες έχουν αφιερώσει μεγάλο μέρος των ερευνών τους στη μείωση των αέριων ρύπων και έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο με την πάροδο του χρόνου. Πιο αναλυτικά, νέες τεχνολογίες εξελίσσονται με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης και πραγματοποιούνται βελτιώσεις στις θερμικές μηχανές, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων. Οι μεγαλύτερες πηγές ρύπανσης, όπως είναι αναμενόμενο, εντοπίζονται κυρίως στις πόλεις και στις βιομηχανικές περιοχές. [1-2]

### 1.2 Παραγωγή ρύπων τη τελευταία δεκαετία

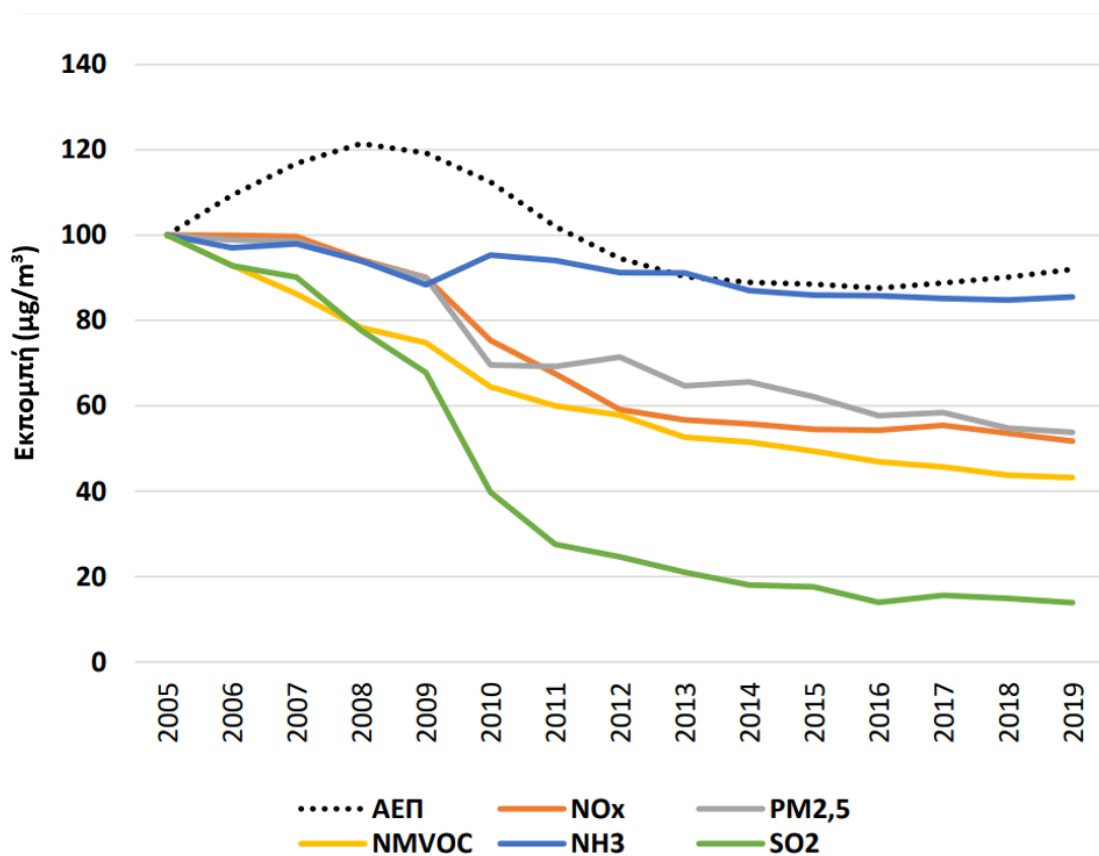
Η κατηγοριοποίηση των ρύπων καθώς και ο ορισμός τους απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.1: Κατηγοριοποίηση των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων. [3]

Ρύπος	Ορισμός
NO <sub>x</sub>	Οξείδια του αζώτου. Αναφερόμαστε κυρίως στο μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ).
O <sub>3</sub>	Όζον.
PM <sub>10</sub>	Σωματίδια λύματος (υγρών ή στερεών) που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα χημικών συνθέσεων. Ο δείκτης αναφέρεται στην ανώτερη διάμετρο σε μm. Π.χ. <b>PM<sub>10</sub> → d ≤ 10 μm</b>
SO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του θείου
NH <sub>3</sub>	Αμμωνία

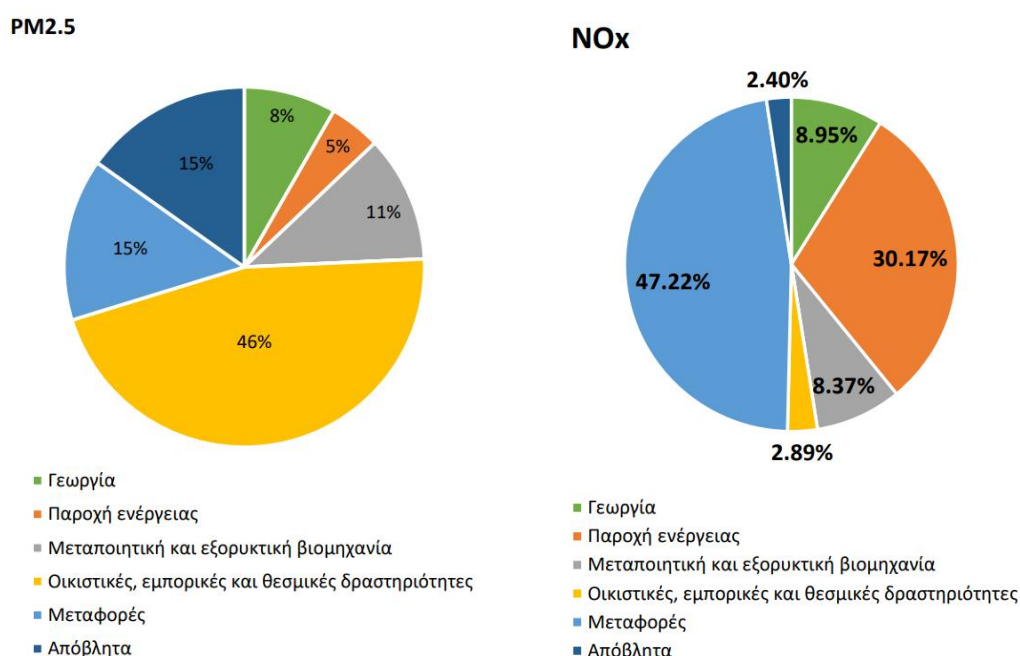
NMVOOC	Πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός του μεθανίου. (Non methane volatile organic compounds)
--------	---

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) έχει κάνει σημαντικά βήματα με τη νομοθεσία σχετικά με τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στα κράτη που την αποτελούν, επιτυγχάνοντας θετικά αποτελέσματα για την υγεία των πολιτών και το κλίμα. Η Ε.Ε. έχει ως στόχο να μηδενίσει την ρύπανση μέχρι το 2030. Σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθεί ο στόχος αυτός, ο αμέσως επόμενος είναι να μειώσει τις εκπομπές ρύπων του 2019 τουλάχιστον κατά 25%. Αν αυτός ο στόχος επιτευχθεί, αναμένεται να υπάρξει βελτίωση της ανθρώπινης υγείας κατά περίπου 55%. Στην Ελλάδα, η ποιότητα της ατμόσφαιρας αποτελεί σημαντική ανησυχία, καθώς ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος υπολογίζει πάνω από 10.000 πρόωρους θανάτους λόγω των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>. Παρά τα προβλήματα, η Ελλάδα σημειώνει πρόοδο στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 (καταγραφή στις 29 Ιανουαρίου 2021). [1]



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα εκπομπής ρύπων την χρονική περίοδο 2005 έως 2019 [1]

Στο σχήμα 1.1, παρουσιάζεται η μείωση που έχει πετύχει η Ελλάδα στις εκπομπές ρύπων με εξαίρεση την NH<sub>3</sub> η οποία μειώνεται με αργούς ρυθμούς, ενώ για τη δεκαετία 2020-2030 θα υπάρξουν δεσμεύσεις για την μείωση των ρύπων. [1]



**Σχήμα 1.2:** Διάγραμμα εκπομπής ρύπων την χρονική περίοδο 2005 έως 2019 [1]

Το 2020 σημειώθηκε παραβίαση των θεσπισμένων ορίων της ΕΕ για το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub>). [1]

### 1.3 Συγκεντρώσεις και μέγεθος σωματιδίων

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως την «Παρουσία ουσιών στην ατμόσφαιρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και σε τέτοια συγκέντρωση που προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις σε ζωντανούς οργανισμούς και υλικές κατασκευές». [4]

Τα αιωρούμενα σωματίδια PM είναι μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια που παραμένουν αιωρούμενα στον αέρα. Αποτελούν έναν πολύπλοκο ρύπο με μεγάλη ποικιλία σε σχήματα, μεγέθη και χημική σύσταση, και έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος των σωματιδίων τόσο πιο εύκολα μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα και να εναποτεθούν στο ανθρώπινο σώμα, αυξάνοντας τους κινδύνους για την υγεία. [4]

Συνεπώς, είναι κρίσιμο να παρακολουθούμε τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM στην ατμόσφαιρα κάθε περιοχής. Στις περιοχές όπου οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν τα όρια που ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για προβλήματα υγείας, ειδικά για τις ευπαθείς ομάδες, και οι περιοχές αυτές τίθενται σε κατάσταση συναγερμού.

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η τάξη μεγέθους συγκριτικά των αιωρούμενων σωματιδίων με μία ανθρώπινη τρίχα και έναν κόκκο άμμου. [4]



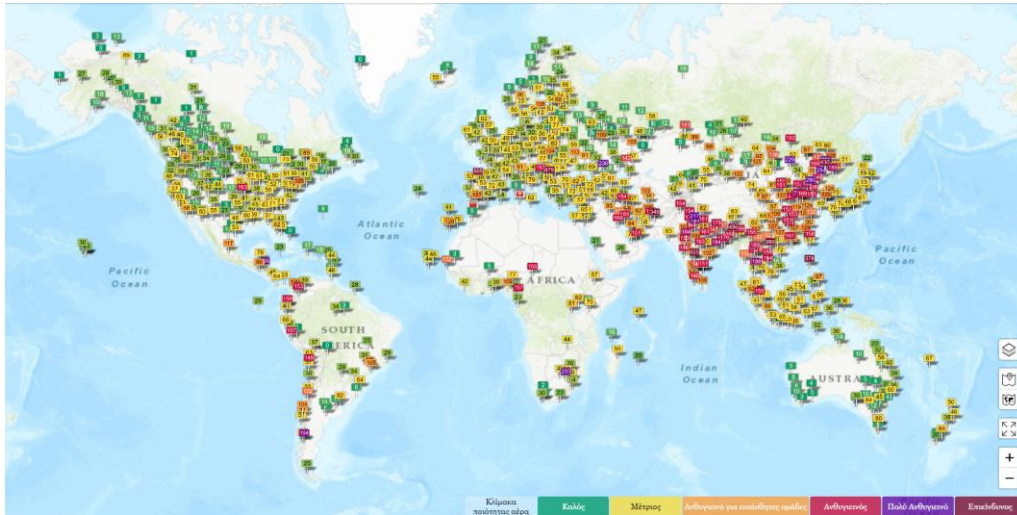
**Σχήμα 1.3:** Συγκριτική τάξη μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων. [4]

Στο σχήμα 1.4 αξιολογείται η ατμόσφαιρα βάσει των  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  σύμφωνα με τον Π.Ο.Υ. [2]

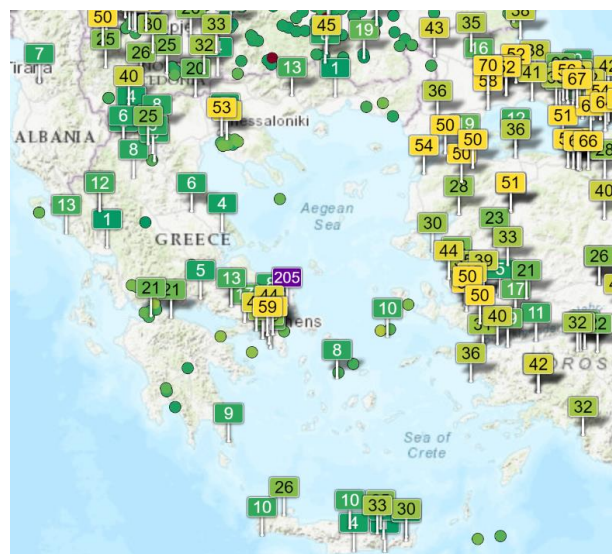
<b>Ποιότητα Αέρα</b>	<b>Καλή</b>	<b>Ικανοποιητική</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Κακή</b>	<b>Πολύ κακή</b>
<b>Τιμές <math>PM_{2.5}</math> (<math>\mu\text{g m}^{-3}</math>)</b>	<b>0-10</b>	<b>10-20</b>	<b>20-25</b>	<b>25-50</b>	<b>&gt; 50</b>
<b>Ποιότητα Αέρα</b>	<b>Καλή</b>	<b>Ικανοποιητική</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Κακή</b>	<b>Πολύ κακή</b>
<b>Τιμές <math>PM_{10}</math> (<math>\mu\text{g m}^{-3}</math>)</b>	<b>0-20</b>	<b>20-40</b>	<b>40-50</b>	<b>50-100</b>	<b>&gt; 100</b>

**Σχήμα 1.4:** Αξιολόγηση της ατμόσφαιρα συναρτήσει της συγκέντρωσης των αέριων σωματιδίων και της διαμέτρου τους. [4]

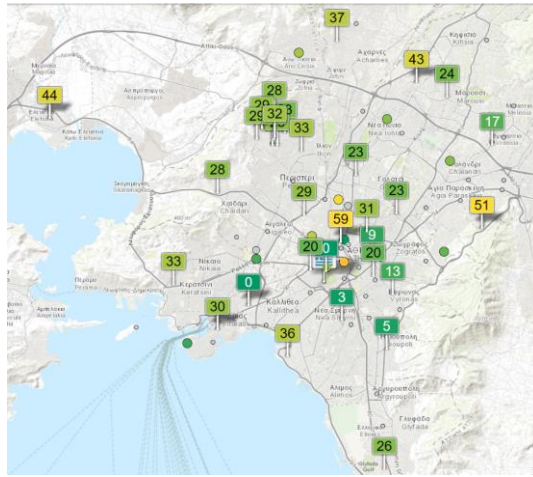
Αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχει και μία ιστοσελίδα συγκεκριμένα η waqi.info, στην οποία φαίνονται οι στιγμιαίες τιμές των  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5. Στο σχήμα 1.6 φαίνονται οι στιγμιαίοι δείκτες ποιότητας ατμόσφαιρας της Ελλάδας και αντίστοιχα της Αθήνας στο σχήμα 1.7.



**Σχήμα 1.5:** Στιγμιαίοι δείκτες ποιότητας ατμόσφαιρας για τα αιωρούμενα σωματίδια σε παγκόσμια κλίμακα. [5]



**Σχήμα 1.6:** Στιγμιαίοι δείκτες σε πανελλαδική κλίμακα. [5]



Σχήμα 1.7: Στιγμαίοι δείκτες στην Αθήνα. [5]

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Βιβλιογραφική ανασκόπηση – Ιστορική αναδρομή

### 2.1 Το περιβαλλοντικό πρόβλημα σήμερα

#### 2.1.1. Εισαγωγή

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα μέσα σε ένα σύστημα με περιορισμένες διαστάσεις και χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Τα απόβλητα από αυτές τις δραστηριότητες σε διάφορες μορφές απορρίπτονται στο οικοσύστημα, το οποίο επίσης έχει περιορισμένη χωρητικότητα, με έναν συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και της αυξανόμενης ενεργειακής κατανάλωσης ανά άτομο. Ως αποτέλεσμα, τα τελευταία χρόνια, τα χαρακτηριστικά του συστήματος έχουν αλλοιωθεί σημαντικά και η θερμοδυναμική ισορροπία του έχει διαταραχθεί. Ο άνθρωπος, που αναπτύχθηκε μέσα σε αυτό το οικοσύστημα, πλέον απειλεί να διαταράξει την ισορροπία του, με συνέπειες για τη δική του επιβίωση. [6-8]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί ποικίλα προβλήματα υγείας στους ανθρώπους, όπως ερεθισμό στα μάτια, βήχα, καθώς και σοβαρά αναπνευστικά, νευρολογικά και τοξικολογικά ζητήματα. Επιπλέον, η ρύπανση του αέρα έχει σοβαρές επιπτώσεις και στο κλίμα της γης συμβάλλοντας σε φαινόμενα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή και η δημιουργία της τρύπας του όζοντος. [6-8]

#### 2.1.2. Ιστορική αναδρομή

Στο παρελθόν έχουν καταγραφεί αναφορές για την επίδραση του περιβάλλοντος κλιματολογικές συνθήκες, μορφολογία εδάφους και προσανατολισμός των πόλεων στην ψυχοσωματική σύνθεση των ανθρώπων σε διάφορα αρχαία κείμενα, όπως στο έργο του Ιπποκράτη «Περί αέρων, υδάτων και τόπων» και στο έργο του Πλάτωνα «Νόμου».

Οι αρχαίοι Έλληνες και Ρωμαίοι παρατήρησαν τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο φυσικό περιβάλλον, όπως αποτυπώνεται στα έργα του Πλάτωνα και άλλων συγγραφέων. Ο Πλάτωνας στον «Κριτία» περιγράφει το φαλακρό τοπίο των ορεινών περιοχών της Αττικής, όπου η αποψίλωση των δασών για ξυλεία οδήγησε σε διάβρωση του εδάφους και απώλεια των βρόχινων υδάτων στη θάλασσα,

παρομοιάζοντας την Αττική με ένα άρρωστο σώμα που έχει απομείνει μόνο ο σκελετός του. Αντίστοιχα, σε άλλες περιοχές, όπως στην αρχαία Κύπρο, τα δάση αποψιλώθηκαν για γεωργική χρήση. [9]

Στην Αρχαία Ρώμη, ένα σημαντικό ζήτημα ήταν η ηχορύπανση από τις άμαξες στους πετροστρωμένους δρόμους, ενώ η υπερεκμετάλλευση των κέδρων του Λιβάνου από διάφορους πολιτισμούς οδήγησε στην εξαφάνιση των δασών χωρίς καμία προσπάθεια αναδάσωσης. Στο έργο του Στράβωνα περιγράφεται πως οι ψηλές καμινάδες των εργαστηρίων διασκόρπιζαν τη σκόνη στην ατμόσφαιρα, ενώ στη Σύβαρη υπήρχαν μέτρα για τη μείωση της ρύπανσης με περιορισμούς στη λειτουργία ρυπογόνων εργαστηρίων εντός της πόλης και τη δημιουργία ζωνών εκτός αυτής, παρόμοιες με τις σημερινές βιομηχανικές ζώνες. [9]

Το 1273, ο βασιλιάς Εδουάρδος Α' της Αγγλίας εισήγαγε νόμο για να περιορίσει τη χρήση της φωτιάς εξαιτίας του καπνού που παρήγαγε. Το 1306, η ποιότητα του αέρα στο Λονδίνο είχε επιδεινωθεί τόσο από την καύση του άνθρακα, που θεσπίστηκε νόμος που απαγόρευε την καύση του κατά τη διάρκεια των συνεδριάσεων του Κοινοβουλίου. Στον Μεσαίωνα, οι κακές συνθήκες υγιεινής στις πόλεις οδήγησαν στην εξάπλωση επιδημιών που μείωσαν δραματικά τον πληθυσμό. [9]

Το 1952 ένα πυκνό νέφος κάλυψε την πόλη του Λονδίνου για πέντε ημέρες. Το περιστατικό αυτό ονομάστηκε «Μεγάλη Ομίχλη του Λονδίνου» το οποίο προκλήθηκε από αιωρούμενα σωματίδια και κατέδειξε τη σοβαρότητα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο συνδυασμός της ρύπανσης προερχόταν από την καύση του άνθρακα με τις κλιματικές συνθήκες και είχαν ως αποτέλεσμα να επιφέρουν χιλιάδες θανάτους. Αυτό το δραματικό γεγονός έκρινε απαραίτητες τις αλλαγές στην πολιτική περιβαλλοντικής ρύπανσης και την υιοθέτηση του νόμου για μια καθαρότερη ατμόσφαιρα το 1956 στο Ηνωμένο Βασίλειο. [10]

**Πίνακας 2.1: Σημαντικά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

<b>Τόπος</b>	<b>Αριθμός θανάτων ή ασθενειών</b>
Γλασκώβη	1.063 θάνατοι
Κουιάδα Meuse – Βέλγιο	63 θάνατοι, 6.000 ασθένειες

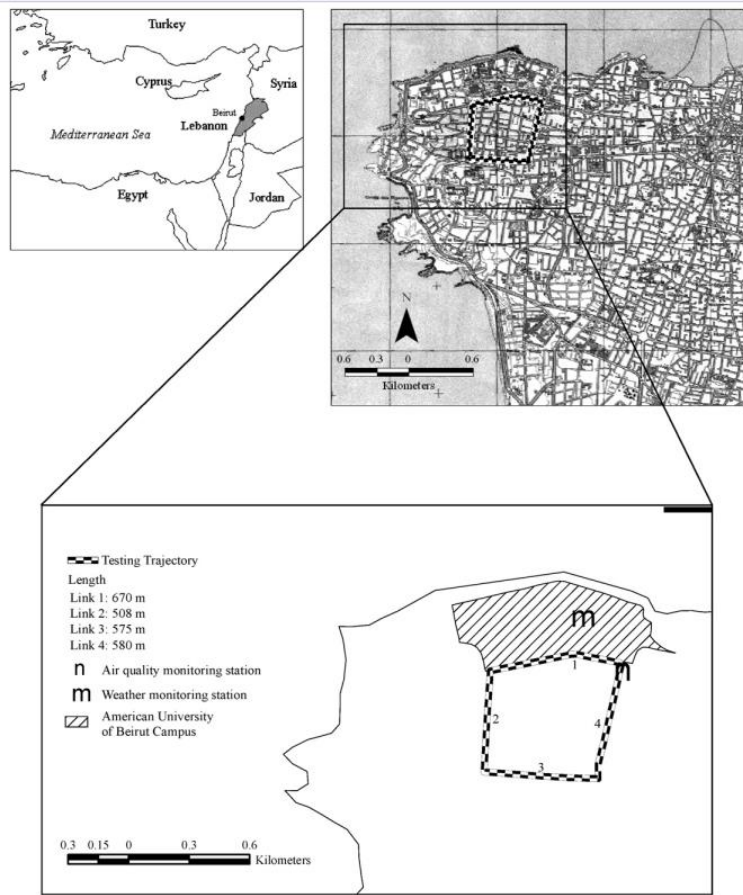


Λονδίνο	8.000 θάνατοι
---------	---------------

[11]

## 2.2 Επίδραση της διαφορετικών τρόπων αερισμού σε οχήματα εκτεθειμένα σε μονοξείδιο του άνθρακα

Οι A. Esber et. al. του Αμερικάνικου πανεπιστημίου Πολιτικών μηχανικών στο Βηρυτό του Λίβανου μελέτησαν τον τρόπο επίδρασης σε διάφορους τρόπους αερισμού σε έκθεση μονοξειδίου του άνθρακα. Παρακολούθησαν τα επίπεδα του ρύπου σε επιβατικό όχημα, που κυκλοφορούσε σε αστική περιοχή του Βηρυτού με διάφορες περιπτώσεις αερισμού. Κυκλοφορούσαν σε διάφορες ώρες (κυρίως πρωινές ώρες αιχμής) την άνοιξη και το καλοκαίρι και ανακάλυψαν πως τα μεγαλύτερα επίπεδα CO βρέθηκαν με κλειστά τα παράθυρα και μάλιστα υπερβαίνοντας τις τιμές της προβλεπόμενης ποιότητας αέρα. [12]



Σχήμα 2.1.: Περιοχή διαδρομών λήψης της μέτρησης συγκέντρωσης CO [12]

Όλες οι διαδρομές πραγματοποιήθηκαν κατά τις πρωινές ώρες αιχμής (07:30-09:30) από Δευτέρα έως Παρασκευή, περνώντας από περιοχές με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η κίνηση ωστόσο διέφερε από μέρα σε μέρα, γι' αυτό και έγιναν αρκετές επαναληπτικές μετρήσεις.

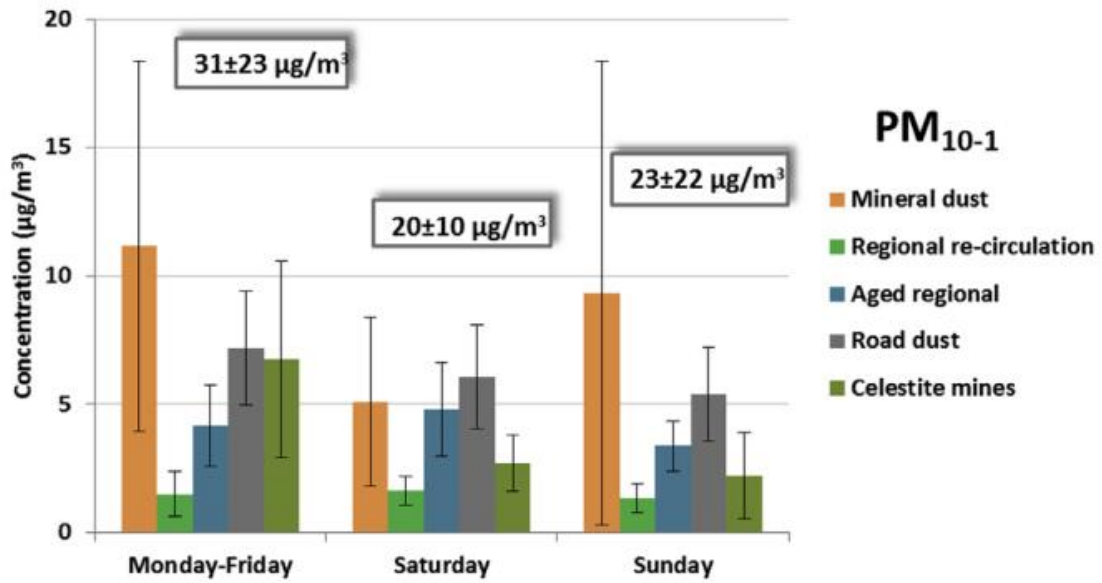
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ταξινομήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μέτρηση των επιπέδων CO τόσο εντός όσο και εκτός του οχήματος.
- Σύγκριση των επιπέδων CO μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του οχήματος.
- Συσχέτιση των επιπέδων CO με την ταχύτητα του ανέμου.
- Επίδραση των επιπέδων CO σε σχέση με την κίνηση του οχήματος.
- Επίδραση των επιπέδων CO ανάλογα με τη ρύθμιση της θέσης του ανεμιστήρα του οχήματος.

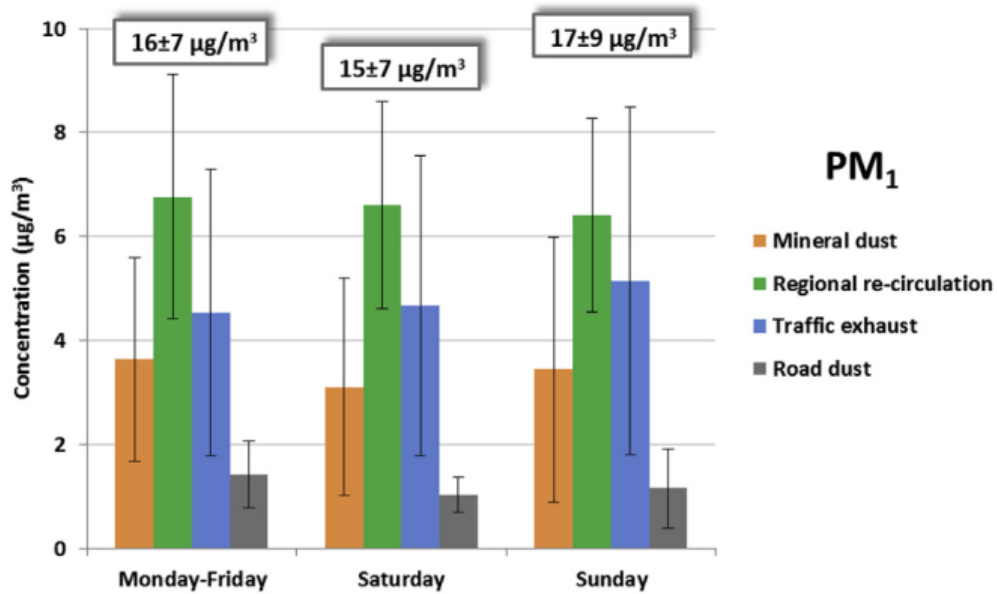
Όπως ήταν προβλεπόμενο, τα επίπεδα CO αυξάνονταν κατά τις περιόδους αυξημένης κυκλοφοριακής κίνησης. Ωστόσο, δεν εντοπίστηκε κάποια συσχέτιση των επιπέδων CO με τη θέση του ανεμιστήρα ή την ταχύτητα του οχήματος. [12]

### **2.3 Διερεύνηση πηγών και σημασία για την ανθρώπινη υγεία για υπέρβαση των ορίων των PM<sub>10</sub>**

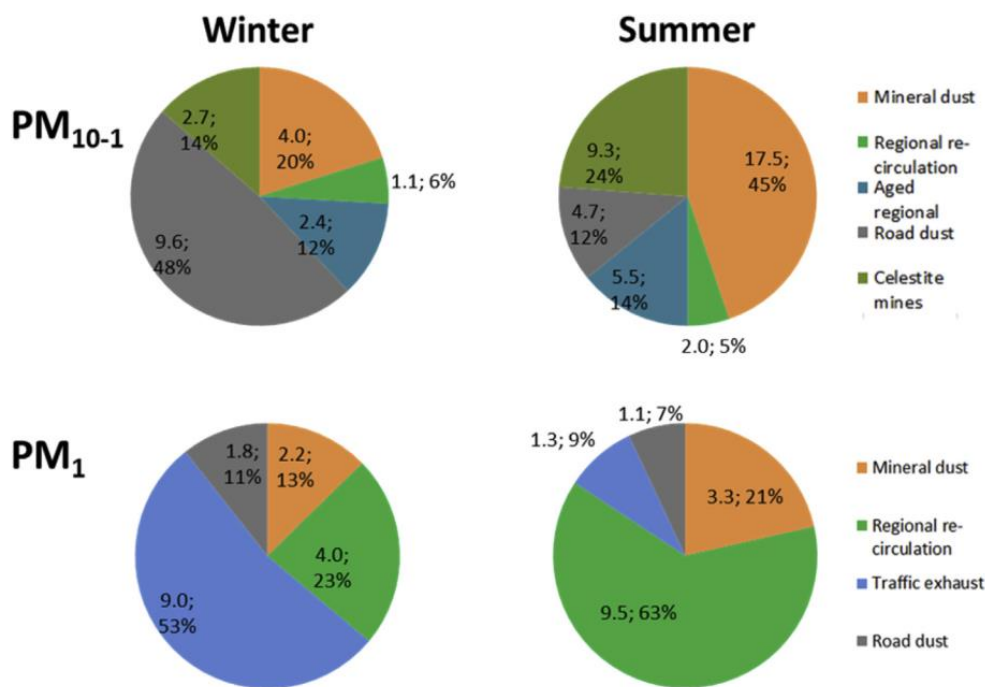
Οι G. Titos et. al. του πολυτεχνείου στη Γρανάδα της Ισπανίας διερεύνησαν τις πηγές των PM<sub>10</sub> και PM<sub>1</sub> καθώς και τις επιπτώσεις που έχουν οι υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων του κράτους στην ανθρώπινη υγεία. Σε μία νοτιοανατολική αστική τοποθεσία στην Ισπανία συλλέχθηκαν δείγματα PM<sub>10</sub> και PM<sub>1</sub>. Η χημική ανάλυση των ρύπων (κατά τη διάρκεια 2006 έως 2010) αναλύθηκε με το πρόγραμμα Positive Matrix Factorization. Η μελέτη τους επικεντρώθηκε κυρίως τον χειμώνα και το καλοκαίρι. Για τις καθημερινές ημέρες σχεδίασαν ένα γράφημα αντίστοιχα για κάθε εποχή και για το Σάββατο και την Κυριακή από ένα ξεχωριστό, των οποίων οι πηγές εκπομπής για PM<sub>10</sub> και PM<sub>1</sub> απεικονίζονται στα ακόλουθα σχήματα. Στα διαγράμματα τους σχεδίασαν και τις ανάλογες γραμμές σφάλματος. [13]



Σχήμα 2.2.: Πηγές των PM<sub>10</sub> για κάθε περίπτωση ημέρας [13]



Σχήμα 2.3.: Πηγές των PM<sub>1</sub> για κάθε περίπτωση ημέρας [13]



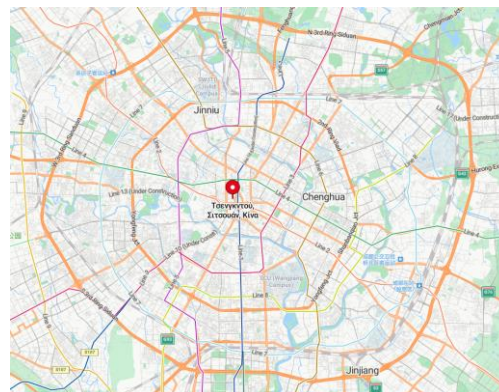
Σχήμα 2.4.: Εποχιακές πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων [13]

Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας έδειξαν ότι η κύρια πηγή των PM<sub>10</sub> τον χειμώνα είναι η σκόνη από τους δρόμους, ενώ το καλοκαίρι τα PM<sub>10</sub> προέρχονται κυρίως από τη σκόνη των ορυχείων. Για τα PM<sub>1</sub>, η κύρια πηγή τον χειμώνα είναι τα καυσαέρια από τα επιβατηγά οχήματα, ενώ το καλοκαίρι προκύπτουν κυρίως από την περιφερειακή επανακυκλοφορία. [13]

#### 2.4 Διαφορές των αέριων ρύπων PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>1</sub> σε ιζηματογενές λεκανοπέδιο του Σιτσουάν σχετιζόμενες με καιρικούς παράγοντες

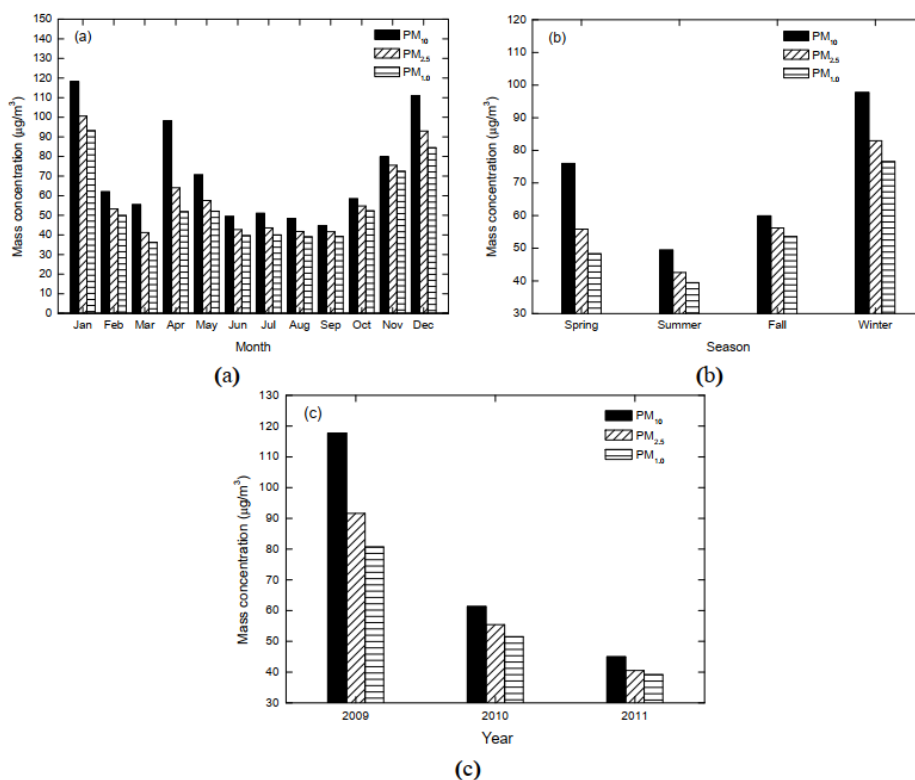
Οι Yang Li et. al. μελέτησαν τις διακυμάνσεις των σωματιδίων PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>1</sub> και τη σχέση τους με τους μετεωρολογικούς παράγοντες. Η έρευνα περιλαμβάνει ανάλυση των μέσων ημερήσιων δεδομένων παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων και των μετεωρολογικών παραμέτρων στην πόλη Chengdu για τα έτη 2009 έως 2011. Στη μελέτη παρατηρήθηκε ότι τα επίπεδα των σωματιδίων ήταν αυξημένα τους χειμερινούς μήνες και μειωμένα το καλοκαίρι. Η ανάλυση επιβεβαίωσε μια σταδιακή βελτίωση στην κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς καταγράφηκε συνεχής μείωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων αυτών κάθε χρόνο. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι τα πιο μικρά σωματίδια, δηλαδή τα PM<sub>2.5</sub> και PM<sub>1</sub> ήταν οι κύριοι ρυπαντές της ατμόσφαιρας. Μετεωρολογικοί παράγοντες όπως η

θερμοκρασία και η βροχόπτωση φάνηκε να επηρεάζουν αρνητικά την μεταφορά και την συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης παρέχουν βασικές πληροφορίες για τον σχεδιασμό μέτρων που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών ρύπων και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο Chengdu. [14]



**Σχήμα 2.5.: Χάρτης απεικόνισης νομών της Κίνας & οδικού δικτύου του Τσενγκντού [14]**

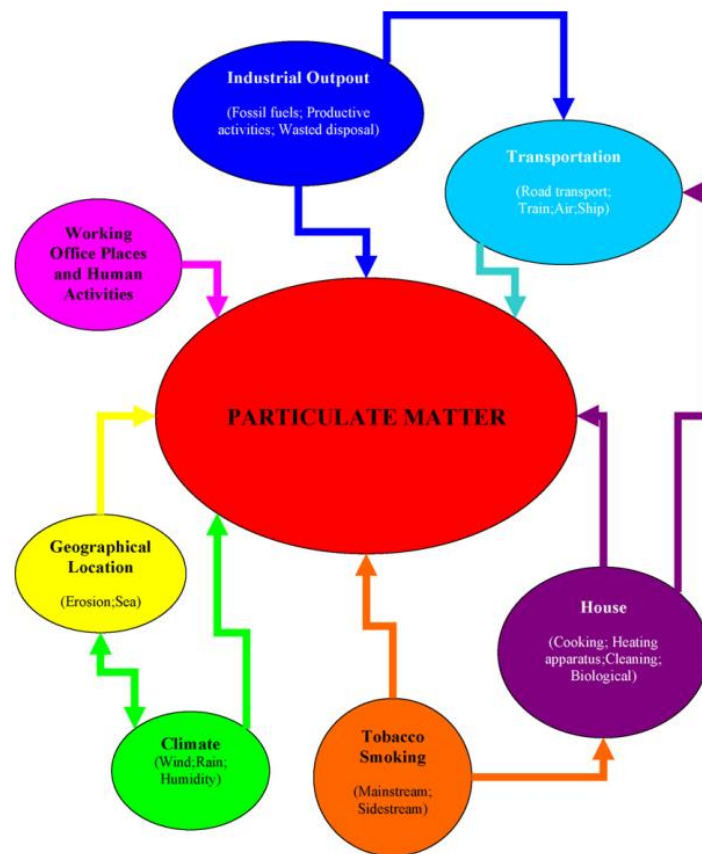
Οι συγγραφείς του άρθρου χρησιμοποίησαν μετεωρολογικά δεδομένα από το 2009 έως το 2011 για να πραγματοποιήσουν μια στατιστική ανάλυση με στόχο να εξετάσουν την επίδρασή τους στη διασπορά των σωματιδίων PM. Οι μετρήσεις παρουσιάστηκαν σε τρεις γραφικές παραστάσεις που απεικόνιζαν τη μηνιαία, εποχιακή και διετή συγκέντρωση των σωματιδίων. Μέσω της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων, διαπίστωσαν ότι στην εν λόγω περιοχή οι συγκεντρώσεις των ρύπων ήταν αυξημένες τον χειμώνα και μειωμένες το καλοκαίρι. Οι συγγραφείς τονίζουν ότι τα αποτελέσματα της μελέτης τους μπορούν να συνεισφέρουν στη διαμόρφωση πολιτικών στην Κίνα για τον περιορισμό των σωματιδίων και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και σε άλλες επαρχίες της χώρας. Επιπλέον, αναφέρουν ότι δεν υπάρχει σαφής συσχέτιση της σχετικής υγρασίας με τη διασπορά των σωματιδίων, όπως συμβαίνει με την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία. [14]



Σχήμα 2.6.: (a) Μηνιαίες, (b) εποχιακές, (c) διετής μέση συγκέντρωση σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  &  $\text{PM}_1$  [14]

## 2.5 Επίδραση των αέριων σωματιδίων $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2.5}$ και $\text{PM}_1$ στο καρδιαγγειακό σύστημα

Οι Giuliano Polichetti και οι συνεργάτες του από τη Φαρμακευτική Σχολή του Πανεπιστημίου της Νάπολης στην Ιταλία μελέτησαν τις επιπτώσεις των αέριων σωματιδίων  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , και  $\text{PM}_1$  στο καρδιαγγειακό σύστημα ατόμων που ζούσαν σε περιοχές με υψηλές εκπομπές. Η μελέτη τους περιέλαβε όχι μόνο υγιή άτομα αλλά και ευπαθείς ομάδες και καπνιστές. Διαπίστωσαν ότι οι καπνιστές είχαν στατιστικά σημαντικά αυξημένο κίνδυνο για σοβαρές καρδιαγγειακές βλάβες. Κάθε συμμετέχων στην έρευνα απάντησε σε ένα ερωτηματολόγιο που περιλάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τη διατροφή και τις συνήθειές τους, όπως το κάπνισμα και η άθληση, με στόχο τον αποκλεισμό άλλων παραγόντων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Σε ένα γράφημα (βλ. Σχήμα 2.7) που παρουσίασαν οι συγγραφείς, απεικονίζονται οι πιθανές πηγές εκπομπών των σωματιδίων. [15]



Σχήμα 2.7.: Πιθανές πηγές PM σωματιδίων [15]

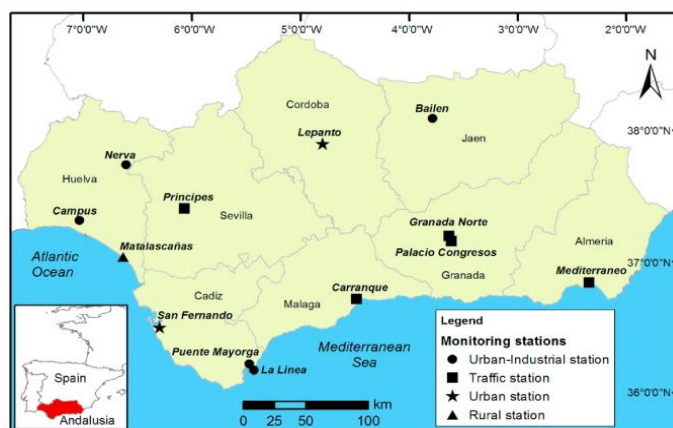
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.), το 2002 καταγράφηκαν 800 χιλιάδες θάνατοι παγκοσμίως. Με βάση στοιχεία του ISTAT του 2005 (στα ιταλικά «Istituto Nazionale di Statistica», στα ελληνικά «Εθνικό Ινστιτούτο Στατιστικής»), η Ιταλία εξέπεμπε 174,453 τόνους σωματιδίων, εκ των οποίων το 22% προερχόταν από οχήματα μεταφοράς και το 78% από βιομηχανικές δραστηριότητες. Στη μελέτη τους, οι ερευνητές συγκέντρωσαν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα ατόμων για να εξετάσουν την οξεία επίδραση των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από βιομηχανικές δραστηριότητες και τη χρόνια επίδραση με την πάροδο του χρόνου. Στα αποτελέσματα, υπογραμμίζουν ότι το κάπνισμα αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιολογικών παθήσεων. Εντόπισαν ότι τα  $PM_{10}$  κατακάθονται στους πνεύμονες προκαλώντας έντονες φλεγμονές, ενώ τα μικρότερα σωματίδια μπορεί να εισχωρήσουν στις αρτηρίες, με κίνδυνο να επηρεάσουν ζωτικά όργανα όπως η καρδιά, οι πνεύμονες και το συκώτι. Πράγματι, οι εξετάσεις έδειξαν ότι τα  $PM_{2.5}$  προκαλούν ζημιές στον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα. Οι καπνιστές εκτεθειμένοι σε  $PM_{2.5}$  διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο για αρρυθμίες, καρδιακές προσβολές, ανακοπή καρδιάς και

υπερτασικές παθήσεις συγκριτικά με τους μη καπνιστές. Τα τελικά συμπεράσματα δείχνουν ότι οι καπνιστές έχουν υψηλότερο κίνδυνο για καρδιολογικές παθήσεις σε σχέση με τους μη καπνιστές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα σωματίδια δεν μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά καρδιολογικά προβλήματα, ειδικά με τη χρόνια έκθεση σε επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα. Επιπλέον, τονίζουν ότι η ηλικία και η τρέχουσα κατάσταση υγείας είναι καθοριστικοί παράγοντες για την υγεία. Επίσης, παρατήρησαν μικρές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων όσον αφορά τις καρδιακές επιπτώσεις, που οφείλονται στις διαφορές στο μέγεθος των πνευμόνων και στο ρυθμό αναπνοής, με τους άνδρες να εισπνέουν περισσότερα σωματίδια κατά μέσο όρο. [15]

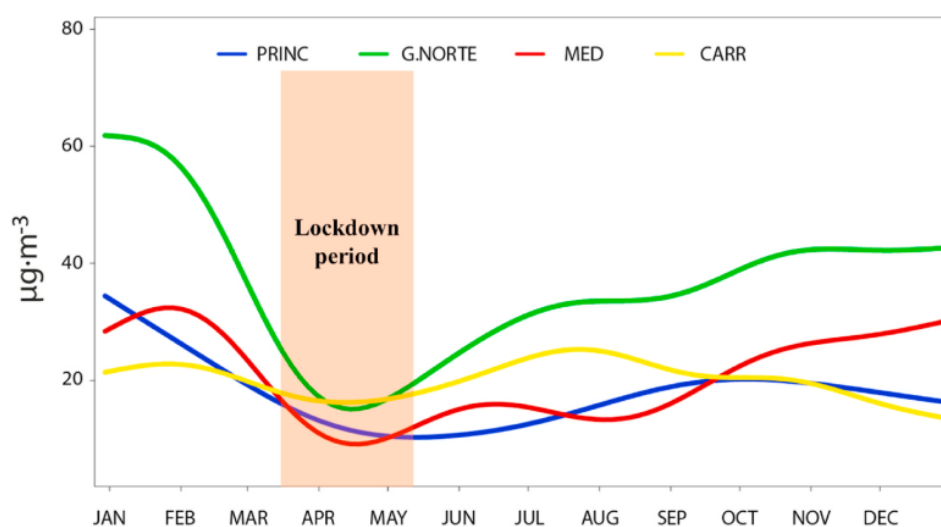
## **2.6 Επίδραση των μέτρων της καραντίνας για την αντιμετώπιση του Sars-CoV-2 στις μετρήσεις αέριων ρύπων όπως τα PM<sub>10</sub> και διάφορους ρύπους στην Νότια Ισπανία**

Οι M.M. Martínez et. al. στο άρθρο τους με τίτλο «Impact of the SARS-CoV-2 lockdown measures in Southern Spain on PM<sub>10</sub> trace element and gaseous pollutant concentrations», εξέτασαν την επίδραση των μέτρων καραντίνας λόγω Covid-19 στις συγκεντρώσεις αέριων σωματιδίων PM<sub>10</sub> σε διάφορες περιοχές της Νότιας Ισπανίας. Για τη μελέτη, συγκέντρωσαν δεδομένα από τα προηγούμενα έτη (2013-2016) για να καθορίσουν ενδεικτικές τιμές συγκέντρωσης των PM<sub>10</sub> πριν την καραντίνα και τα συνέκριναν με τις αντίστοιχες μετρήσεις κατά τη διάρκεια της καραντίνας. Στην έρευνα υπολογίστηκαν όχι μόνο οι συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub>, αλλά και άλλων ρύπων όπως τα NO<sub>x</sub> και SO<sub>2</sub>. Ένα αξιοσημείωτο εύρημα ήταν ότι οι συγκεντρώσεις των PM<sub>10</sub> κατά την περίοδο της καραντίνας ήταν υψηλότερες από ότι πριν παρά το γεγονός ότι πολλές βιομηχανίες που αποτελούσαν τις κύριες πηγές εκπομπής ρύπων στην περιοχή είχαν σταματήσει τη λειτουργία τους. Αυτό το αποτέλεσμα προβλημάτισε τους συγγραφείς, καθώς περίμεναν να δουν μείωση στις συγκεντρώσεις λόγω της περιορισμένης βιομηχανικής δραστηριότητας κατά την καραντίνα. [16]

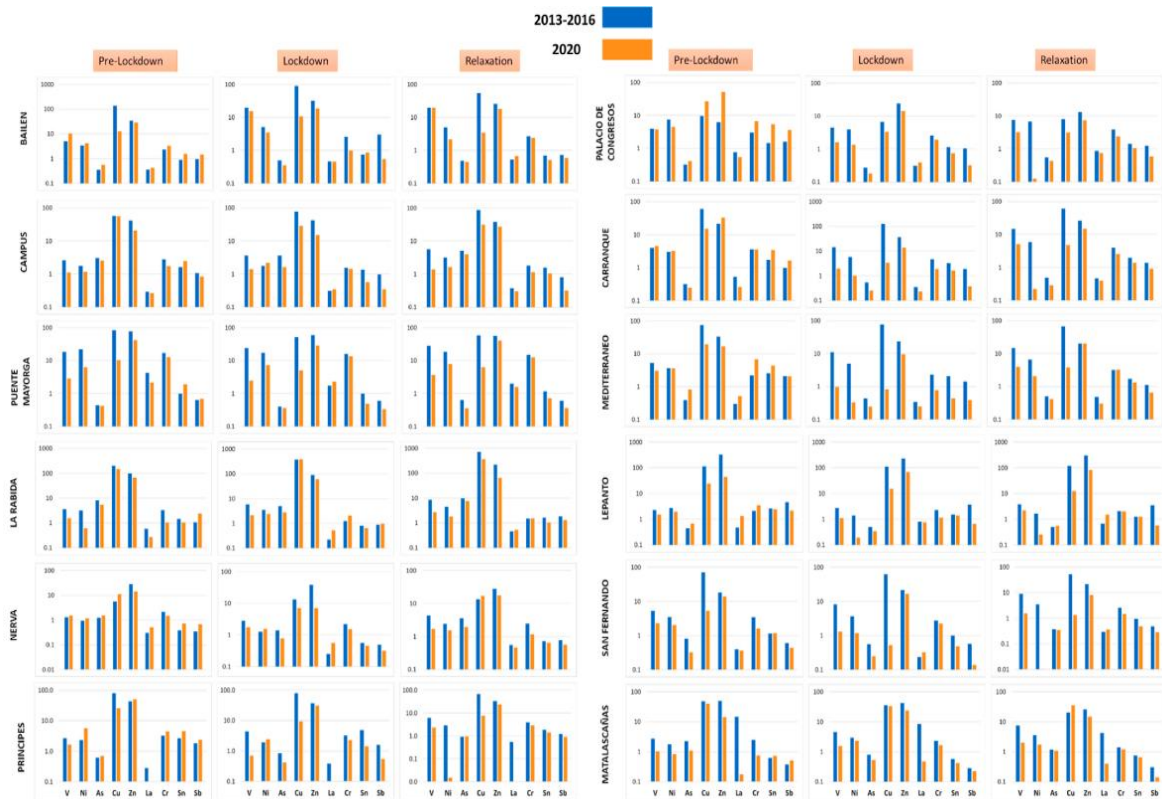




Σχήμα 2.8.: Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων στη Νότια Ισπανία [16]



Σχήμα 2.9.: Καμπύλες συγκέντρωσης NO<sub>x</sub> για τις υπό μελέτη πόλεις στη Νότια Ισπανία εντός του 2020 [16]

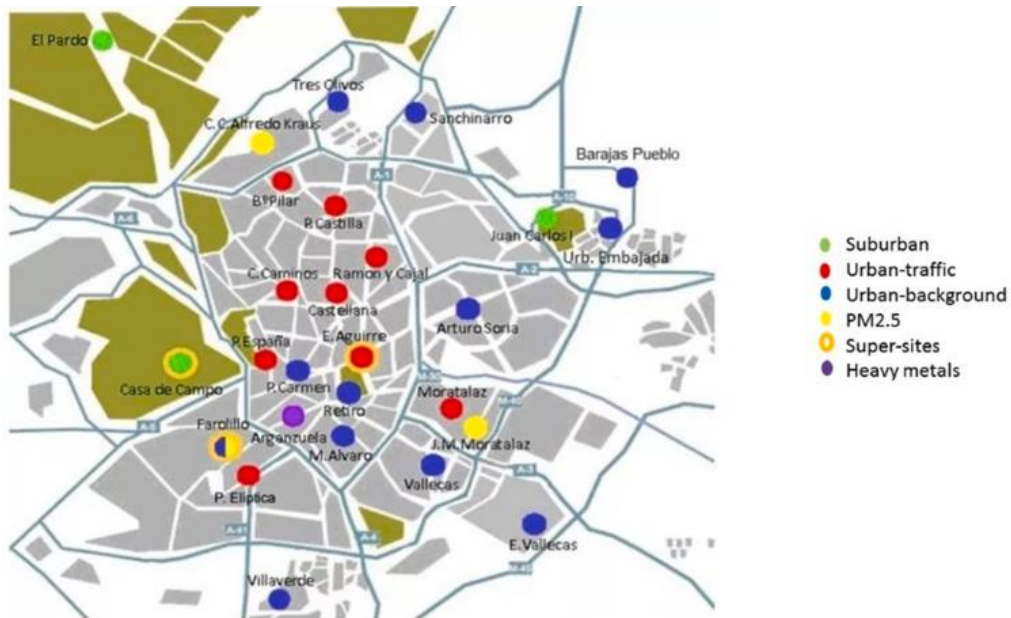


Σχήμα 2.10.: Συγκριτικό διάγραμμα εκπομπής σωματιδίων στις διάφορες περιοχές της Νότιας Ισπανίας [16]

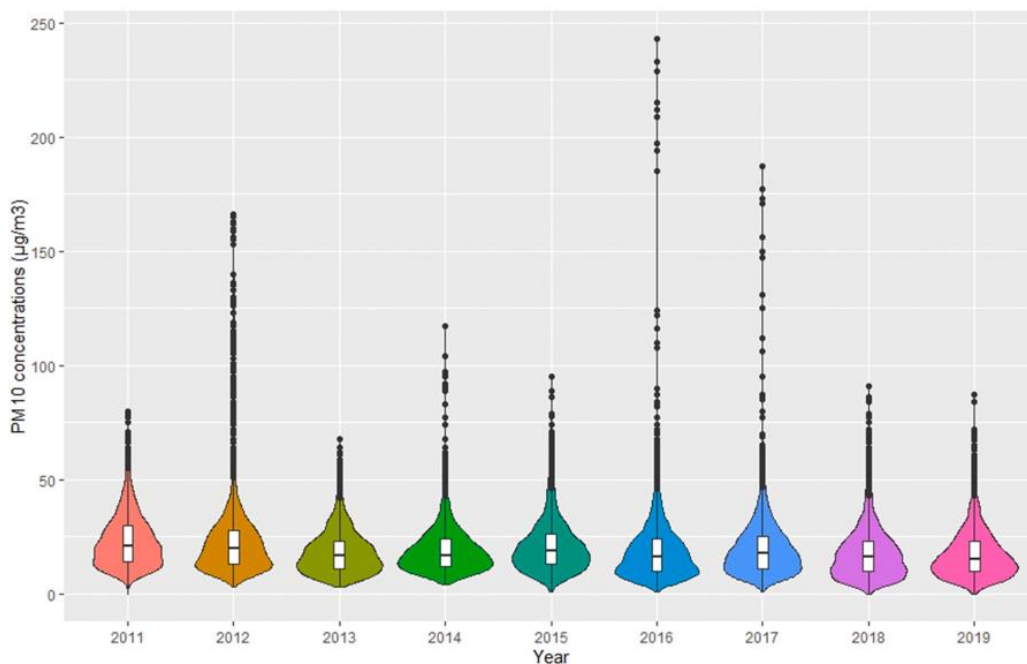
## 2.7 «Ένα διευρυμένο μοντέλο CAViaR για έγκαιρη προειδοποίηση υπερβάσεων των προτύπων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η περίπτωση των $PM_{10}$ στην πόλη της Μαδρίτης»

Οι L. Sanchis-Marco και οι συνεργάτες του, στο άρθρο τους με τίτλο «An extended CAViaR model for early-warning of exceedances of the air pollution standards. The case of  $PM_{10}$  in the city of Madrid», αναφέρουν ότι την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Παρ' όλα αυτά, τα όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τα αιωρούμενα σωματίδια συνεχίζουν να παραβιάζονται, ιδίως στις μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις. Στο άρθρο, οι συγγραφείς εφαρμόζουν ένα εκτεταμένο μοντέλο CAViaR για την παροχή έγκαιρης προειδοποίησης σχετικά με τις υπερβάσεις των επιτρεπόμενων επιπέδων μολυσμένου αέρα στη Μαδρίτη. Η επέκταση του μοντέλου περιλαμβάνει έναν μετεωρολογικό δείκτη που ενσωματώνει την έννοια της VaR (Τιμή Υψηλού Κινδύνου), όπως χρησιμοποιείται στη χρηματοοικονομική βιβλιογραφία. Ο στόχος του

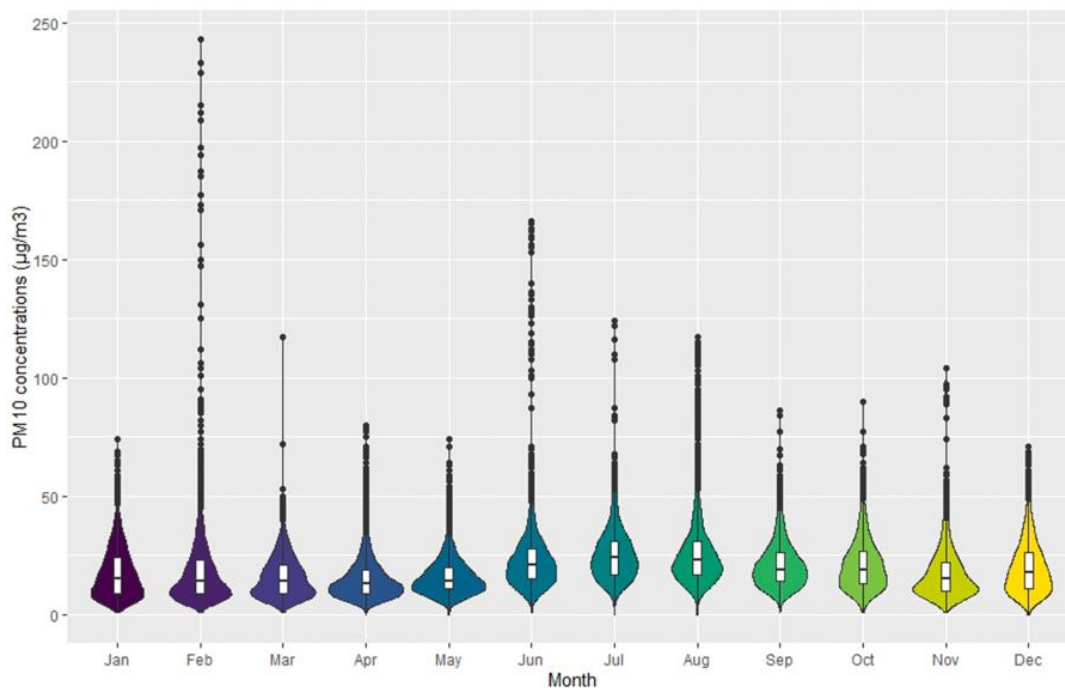
άρθρου είναι διπλός: αφενός, να αναλύσει τη μεθοδολογία για την έγκαιρη προειδοποίηση υπερβάσεων της κρίσιμης τιμής που έχει καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αφετέρου, να καταγράψει και να απεικονίσει τα δεδομένα σε κατάλληλα γραφήματα, παρέχοντας συμπεράσματα σε μηνιαία και ετήσια βάση για τη συνολική συγκέντρωση των  $PM_{10}$  σε όλη την πόλη της Μαδρίτης. [17]



Σχήμα 2.11.: Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων στη Μαδρίτη [17]



Σχήμα 2.12.: Μέσες ετήσιες εκπομπές  $PM_{10}$  από όλους τους σταθμούς της Μαδρίτης (Διάγραμμα τύπου βιολιού) [17]



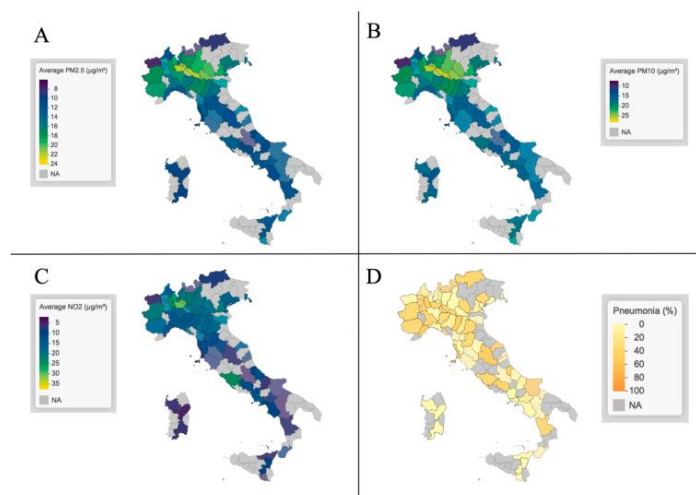
Σχήμα 2.13.: Μέσες μηνιαίες εκπομπές  $PM_{10}$  από όλους τους σταθμούς της Μαδρίτης (Διάγραμμα τύπου βιολιού) [17]

## 2.8 Επίδραση των αέριων ρύπων $PM_{2.5}$ , $PM_{10}$ , $NO_2$ στην περίοδο του Covid-19 με έμφαση σε ασθενείς που πάσχουν από σκλήρυνση κατά πλάκας

Οι Μ. Ronzano και οι συνεργάτες τους εξέτασαν την επίδραση των αέριων ρύπων  $PM_{10}$  και  $PM_{2.5}$  κατά την περίοδο του Covid-19 με έμφαση στους ασθενείς που πάσχουν από σκλήρυνση κατά πλάκας. Μέχρι τώρα, είναι ευρέως γνωστό ότι οι ρύποι  $PM_{2.5}$  και  $PM_{10}$  είναι επιβλαβείς για τους πνεύμονες. Επιπλέον, οι πρώτες μεταλλάξεις του Covid-19 προκαλούσαν έντονα αναπνευστικά συμπτώματα, όπως πνευμονία, επιβαρύνοντας περαιτέρω την υγεία των πνευμόνων. Η συγκεκριμένη μελέτη διερευνά πώς αυτή η επιβάρυνση επηρεάζει ιδιαίτερα τους ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας. [18]

Σύμφωνα με τον χάρτη συγκέντρωσης ρύπων και τον επιδημιολογικό χάρτη της Ιταλίας (βλ. σχήμα 2.14.), παρατηρείται ότι οι περιοχές με υψηλότερες συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$  έχουν και τα υψηλότερα ποσοστά πνευμονίας. Το άρθρο σημειώνει ότι τα σωματίδια  $PM_{2.5}$  κατακάθονται στους πνεύμονες, επιδεινώνοντας τα συμπτώματα του Covid-19. Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων έγινε με το πρόγραμμα WQS και περιλάμβανε 169 ασθενείς ως εθελοντές. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική συσχέτιση των  $PM_{2.5}$  με τον ιό, περισσότερο από άλλους ρύπους. Ιδιαίτερα έντονα ήταν τα συμπτώματα

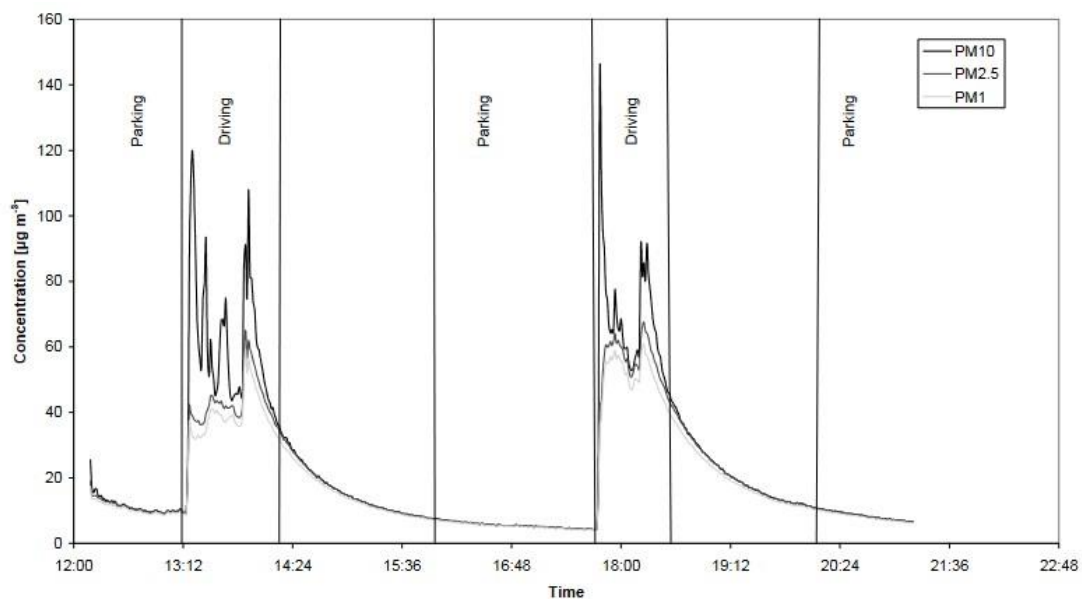
στους ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας, υποδεικνύοντας ότι αυτή η ομάδα επηρεάζεται περισσότερο από την επιβάρυνση με  $PM_{2.5}$  σε συνδυασμό με τον Covid-19. [18]



Σχήμα 2.14.: Συγκριτικός χάρτης συγκέντρωσης ρύπων & επιδημιολογικός χάρτης της Ιταλίας [18]

## 2.9 «Έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια στις καμπίνες επιβατικών Ι.Χ.»

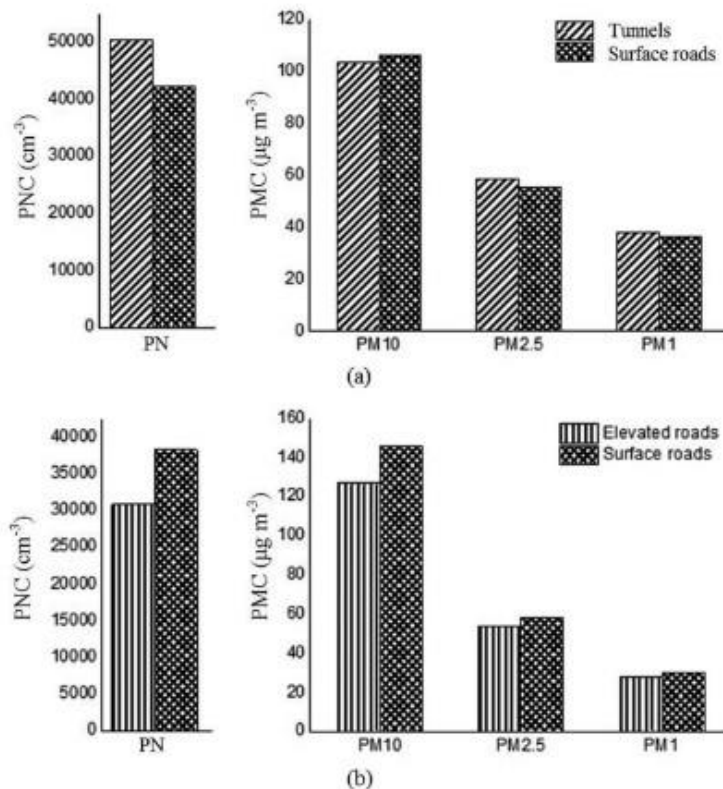
Οι Otmar Geiss et. al. στο άρθρο τους «Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars» μελέτησαν τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) και των υπερλεπτών σωματιδίων (0.02–1  $\mu m$ ) σε 18 ιδιωτικά αυτοκίνητα στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των PM μέσα στα αυτοκίνητα κατά την κίνηση ήταν σημαντικά υψηλότερες από αυτές κατά τη στάθμευση των αυτοκινήτων και συχνά υπερέβαιναν τις επιτρεπόμενες τιμές για τον υπαίθριο αέρα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αποδόθηκαν στις εξωτερικές συγκεντρώσεις των PM και στον αερισμό των αυτοκινήτων. Η μελέτη τονίζει την ανάγκη για καλύτερα συστήματα φιλτραρίσματος του αέρα στα αυτοκίνητα για τη μείωση της έκθεσης σε σωματίδια τα οποία είναι βλαβερά για την ανθρώπινη υγεία. [19]



Σχήμα 2.15.: Διάγραμμα καταγραφής αιωρούμενων σωματιδίων σε συνάρτηση με τον χρόνο. [19]

## 2.10 Μεταβολές στις συγκεντρώσεις σωματιδίων εσωτερικά του οχήματος σε διάφορα οδικά δίκτυα

Οι Zhaowen Qiu et. al. στο άρθρο τους με τίτλο «Variations in exposure to in-vehicle particle mass and number concentrations in different road environments» εξετάσαν τις συγκεντρώσεις σωματιδίων στις καμπίνες των οχημάτων σε διαφορετικά οδικά δίκτυα (σήραγγες, επιφανειακοί και ανυψωμένοι δρόμοι) υπό έξι ρυθμίσεις αερισμού, η έρευνα έλαβε χώρα στην πόλη Xian της Κίνας τον Νοέμβριο του 2017. Οι Zhaowen Qiu et. al βρήκαν ότι οι συγκεντρώσεις σωματιδίων είναι υψηλότερες σε σήραγγες και χαμηλότερες σε ανυψωμένους δρόμους, αλλά και ότι η συγκέντρωση εντός του οχήματος συνδέεται άμεσα με την εξωτερική συγκέντρωση. Οι ρυθμίσεις αερισμού επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις καθώς η ανακυκλοφορία εσωτερικού αέρα και η χρήση κλιματισμού μειώνουν τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Τα παραπάνω συμπεράσματα μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στην προστασία των οδηγών και επιβατών. [20]

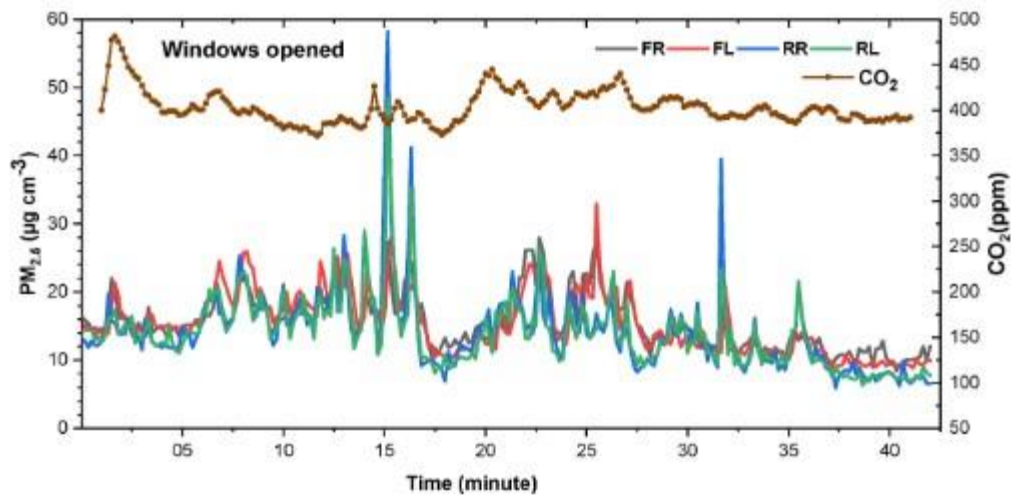


Σχήμα 2.16.: Μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ , και PN εν κινήση για (α) Διαδρομή 1 – Επιφανειακούς Δρόμους και Τούνελ. (β) Διαδρομή 2 – Υπερυψωμένοι και επιφανειακοί δρόμοι. [20]

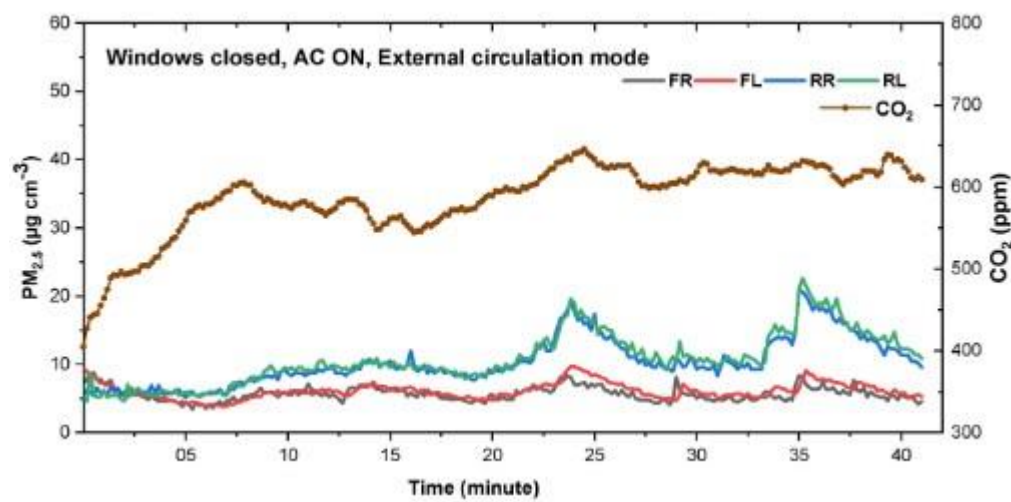
## 2.11 Έκθεση επιβατών σε αιωρούμενα σωματίδια σε συνδυασμό με διάφορες συνθήκες αερισμού

Οι Phuong T.M. Tran et. al. στο άρθρο τους με τίτλο «In-car occupants' exposure to airborne fine particles under different ventilation settings: Practical implications» τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο του 2021 εξετάσαν την έκθεση των επιβατών σε αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{2.5}$  στις καμπίνες των αυτοκινήτων με διαφορετικές συνθήκες αερισμού στη Σιγκαπούρη. Διαπίστωσαν ότι όταν τα παράθυρα είναι ανοιχτά οι επιβάτες εκτίθενται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$ , ενώ με τα παράθυρα κλειστά και το κλιματιστικό σε λειτουργία μειώνεται η έκθεση στα σωματίδια, αυξάνονται όμως οι συγκεντρώσεις  $CO_2$ . Οι συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$  ήταν ομοιόμορφες σε όλες τις θέσεις της καμπίνας του αυτοκινήτου με τα παράθυρα ανοιχτά, ενώ με τα παράθυρα κλειστά οι επιβάτες στις πίσω θέσεις εκτίθενται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από αυτούς στις μπροστινές. [21]



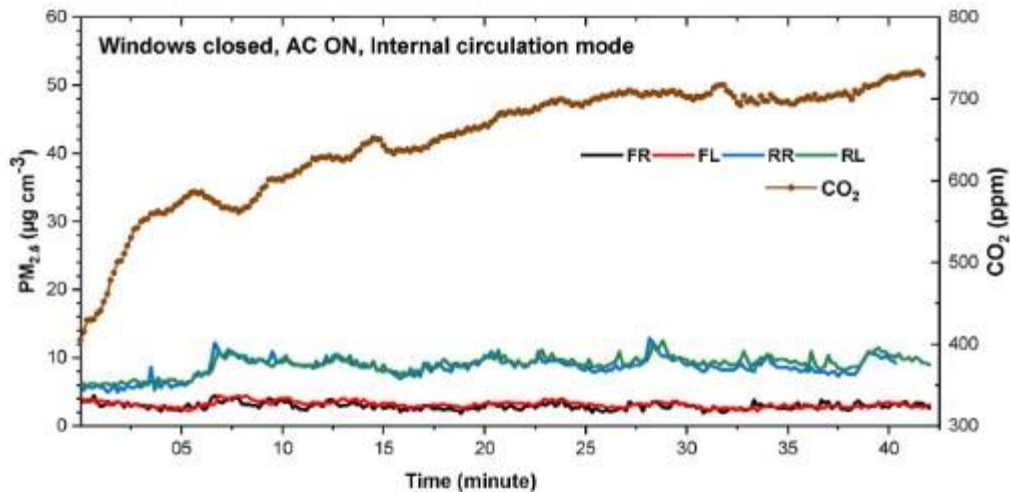


Σχήμα 2.17.: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> και CO<sub>2</sub> όταν τα παράθυρα του αυτοκινήτου ήταν ανοιχτά. [21]



Σχήμα 2.18.: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> και CO<sub>2</sub> όταν τα παράθυρα ήταν κλειστά και γινόταν χρήση του κλιματισμού εισαγωγή εξωτερικού αέρα. [21]

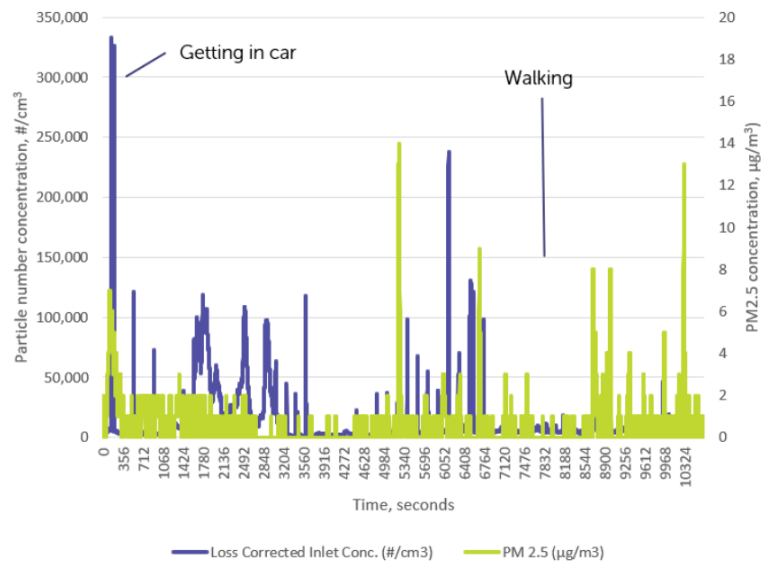




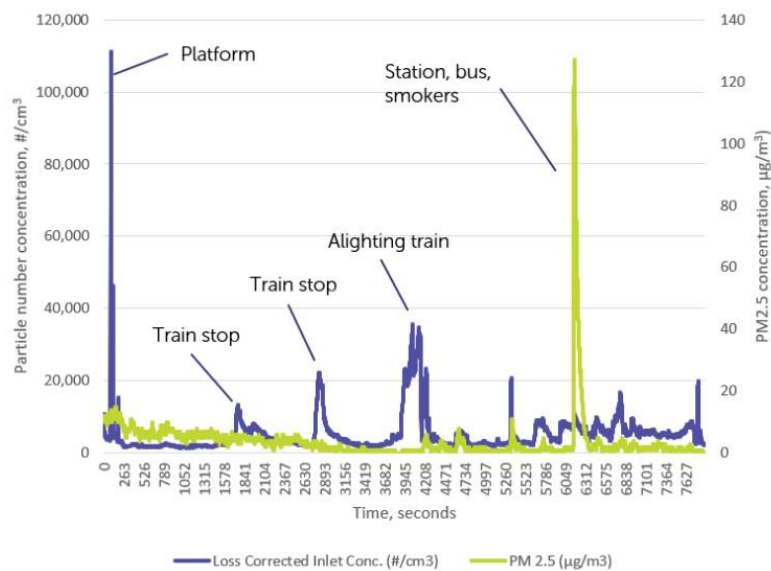
Σχήμα 2.19.: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM<sub>2.5</sub> και CO<sub>2</sub> όταν τα παράθυρα ήταν κλειστά και γινόταν χρήση του κλιματισμού με ανακύκλωση εσωτερικού αέρα. [21]

## 2.12 Έκθεση σε σωματίδια και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) σε διάφορους τρόπους μεταφοράς.

Οι Nick Molden et. al. από τα πανεπιστήμια του Μπέρμιγχαμ και του Λιντς στο άρθρο τους με τίτλο «Exposures to Particles and Volatile Organic Compounds across Multiple Transportation Modes» εξετάσαν την έκθεση των πολιτών σε διάφορους ατμοσφαιρικούς ρύπους κατά τη διάρκεια μετακινήσεων από τον σταθμό London Paddington στο κέντρο της Οξφόρδης μέσω διαφορετικών τρόπων μεταφοράς, όπως ποδήλατο, περπάτημα, λεωφορεία, πούλμαν, τρένα και τέλος ιδιωτικά αυτοκίνητα. Η μελέτη καταμέτρησε τον αριθμό των σωματιδίων (PM), το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Διαπιστώθηκε ότι οι εκθέσεις σε ρύπους δεν καθορίζονται μόνο από τον τύπο του οχήματος ή την προώθηση του, αλλά και από παράγοντες όπως η διάρκεια του ταξιδιού, η ποιότητα του αέρα στους σταθμούς και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων εξαερισμού των οχημάτων. Τα τρένα είχαν μικτές επιδόσεις, αλλά έχοντας και τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σωματιδίων, ενώ τα πούλμαν είχαν υψηλή έκθεση λόγω της διάρκειας του ταξιδιού και του αριθμού των επιβατών σε περιορισμένο χώρο. Τα ιδιωτικά αυτοκίνητα προσφέρουν καλύτερη προστασία λόγω των συστημάτων φιλτραρίσματος και η ενεργή μετακίνηση (ποδήλατο, περπάτημα) εμφάνισε γενικά χαμηλότερες εκθέσεις. Η μελέτη προτείνει ότι οι σχεδιασμοί των συστημάτων εξαερισμού στα οχήματα και στους σταθμούς παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της έκθεσης στους ρύπους. [22]



Σχήμα 2.20.: Έκθεση σε συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$  και VOCs για επιβάτες ηλεκτρικού αυτοκινήτου και πεζούς. [22]



Σχήμα 2.21.: Έκθεση σε συγκεντρώσεις  $PM_{2.5}$  και VOCs για επιβάτες τρένων και λεωφορείων. [22]

### **2.13 Σκοπός διπλωματικής εργασίας**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να διερευνηθεί και να συγκριθεί η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό ενός μικρού ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου πόλης σε σχέση με τις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Ειδικότερα, καταγράφηκαν ταυτόχρονα μετεωρολογικές παράμετροι και συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο εκτός όσο και εντός της καμπίνας του οχήματος. Στη συνέχεια εξετάστηκε η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, καθώς και οι βιομετεωρολογικές συνθήκες θερμικής άνεσης συγκριτικά με τις εξωτερικές συνθήκες, τόσο όταν το αυτοκίνητο είναι σταθμευμένο όσο και όταν κινείται εντός του αστικού ιστού της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Στοιχεία θεωρίας

### 3.1 Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελείται από την ύπαρξη βλαβερών ουσιών στην ατμόσφαιρα, οι οποίες δύνανται να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την κλιματική ισορροπία. Οι ουσίες αυτές είναι πιθανό να προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως η ηφαιστειακή δραστηριότητα ή από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων. Η αναγνώριση των αιτιών, των ειδών και των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι απαραίτητη για τη διαμόρφωση στρατηγικών, που στοχεύουν στη μείωση και διαχείρισή της. [6-7][23]

Πρωτογενείς ρυπαντές αποτελούν οι ουσίες, που απελευθερώνονται απευθείας στην ατμόσφαιρα μέσω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι βασικοί πρωτογενείς ρυπαντές περιλαμβάνουν τα εξής:

- Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )
- Μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ )
- Υδρογονάνθρακες ( $\text{HC}$ )
- Αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_1$ )
- Μόλυβδος ( $\text{SO}_2$ )

Δευτερογενείς ρυπαντές είναι οι ουσίες, που σχηματίζονται όταν οι πρωτογενείς ρυπαντές αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Οι κυριότεροι δευτερογενείς ρυπαντές περιλαμβάνουν τα εξής:

- Οξείδια του αζώτου
- Όζον
- Περοξυακετυλονιτρικό άλας ( $\text{PAN}$ )

[6-7][23]

#### 3.1.1. Διοξείδιο του θείου

Το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) είναι ένα άχρωμο αέριο με ερεθιστική οσμή, το οποίο μετατρέπεται μέσω φωτοχημικής ή καταλυτικής οξείδωσης σε τριοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_3$ ) και στη συνέχεια σε θειικό οξύ όταν απορροφά υγρασία από την ατμόσφαιρα. Το θειικό οξύ πέφτει στο έδαφος με τη βροχή ή προσκολλάται σε αιωρούμενα

σωματίδια, προκαλώντας μείωση της ορατότητας και ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος. Το SO<sub>2</sub> βλάπτει τα φυτά, διαβρώνει ιστορικά μνημεία και μπορεί να επηρεάσει το δέρμα, τα μέταλλα και τα συνθετικά υφάσματα. Είναι βασικό συστατικό της όξινης βροχής, που προκαλεί διάβρωση σε διάφορα υλικά και επιφάνειες. [6][24]

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) προέρχεται κυρίως από βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως τα διυλιστήρια και τα εργοστάσια λιπασμάτων. Το 80% των εκπομπών του παγκοσμίως προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως η οξείδωση του υδρόθειου από έλη και ηφαίστεια, ενώ το υπόλοιπο 20% από ανθρωπογενείς πηγές συγκεντρωμένες σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Από τις παγκόσμιες εκπομπές SO<sub>2</sub>, το 16% οφείλεται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Οι ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου ταξινομούνται σε:

- Βιομηχανικές δραστηριότητες
- Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Κεντρική θέρμανση κατοικιών
- Μεταφορές

Παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου θεωρείται ασφαλής σύμφωνα με τα σημερινά επιτρεπόμενα από τη νομοθεσία όρια, παρουσιάζει μακροπρόθεσμα κινδύνους υγείας. Με την αύξηση του διοξειδίου του θείου προκαλούνται αναπνευστικά προβλήματα και ερεθισμοί. Αν η περιεκτικότητα διοξειδίου του θείου στον αέρα είναι 6 ppm παραλύει και διαβρώνει τα αναπνευστικά όργανα. [6][24]

### **3.1.2. Μονοξείδιο του άνθρακα**

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο και άοσμο αέριο που δημιουργείται κατά κύριο λόγο από ατελείς καύσεις, αλλά και από βιολογικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι βασικές πηγές του είναι τα καυσαέρια των οχημάτων, ειδικά όταν οι κινητήρες λειτουργούν σε χαμηλές στροφές. Η περιορισμένη διάχυση προκαλεί προβλήματα κυρίως στις περιοχές εκπομπής του. Στις πόλεις οι συγκεντρώσεις CO επηρεάζονται από την κυκλοφοριακή κίνηση και τις καιρικές συνθήκες. Το CO αντιδρά με την αιμοσφαιρίνη του αίματος εμποδίζοντας την παροχή οξυγόνου στους ιστούς και

μπορεί να προκαλέσει θάνατο. Οι συγκεντρώσεις του CO είναι 10-200 ppb σε μη αστικές ζώνες, ενώ στις πόλεις μπορεί να φτάσουν μέχρι και 500 ppm. [6]

### **3.1.3. Υδρογονάνθρακες**

Στην ατμόσφαιρα των αστικών περιοχών υφίστανται ελαφροί και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες. Οι ελαφροί υδρογονάνθρακες προέρχονται από την εξάτμιση πετρελαιοειδών, βιομηχανίες και οργανικούς διαλύτες. Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες δημιουργούνται στη διάρκεια της καύσης και απορροφώνται από αιωρούμενα σωματίδια. Συμμετέχουν σε φωτοχημικές αντιδράσεις συμβάλλοντας στην παραγωγή ακόρεστων πολυαρωματικών υδρογονανθράκων. [6]

### **3.1.4. Αιωρούμενα σωματίδια**

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένας από τους πιο σύνθετους ρυπαντές με μεγάλη ποικιλία σε μέγεθος, χημική σύσταση και σχήμα (αιωρούμενα θεωρούνται όσα έχουν διάμετρο κάτω από 10 μm). Προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως η χαλυβουργία, η τσιμεντοβιομηχανία και από εργοστάσια λιγνίτη. Τα σωματίδια αυτά έχουν ευρύ φάσμα διαμέτρων και η επίδρασή τους στο αναπνευστικό σύστημα είναι πολύπλοκη εξαιτίας της ποικιλίας των μεγεθών και τύπων τους. Σωματίδια διαμέτρου 7-10 μm κατακάθονται στο έδαφος λόγω βαρύτητας και στα φυτά μειώνοντας έτσι την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα και τις ακτίνες του ήλιου, που φτάνουν σε αυτά. Τα μικρότερα σωματίδια παραμένουν αιωρούμενα για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους πρώτου κατακαθίσουν στο έδαφος ή παρασυρθούν από τη βροχή. [6][24]

Κατά την εισπνοή τα σωματίδια με διάμετρο 5-10 μm συγκεντρώνονται στο ρινικό σύστημα. Σωματίδια μικρότερα από 5 μm εισβάλλουν στους πνεύμονες και στις αναπνευστικές διόδους φράζοντάς τες. Τα σωματίδια διαμέτρου 1-2 μm έχουν τη δυνατότητα να φτάσουν στις πνευμονικές κυψελίδες προκαλώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα. [6][24]

Το 90% των αιωρούμενων σωματιδίων προκύπτει από φυσικές πηγές, όπως τα ηφαίστεια. Ωστόσο, κοντά σε βιομηχανικές πόλεις, αυτή η αναλογία διαφοροποιείται και οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων προκαλούνται κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές, όπως οι βιομηχανίες, τα αυτοκίνητα και η οικιακή θέρμανση. Οι πληροφορίες για την παγκόσμια παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, διότι αυτά τα σωματίδια επηρεάζουν σημαντικά την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη Γη. Η ρύπανση αυτής της προέλευσης προκαλεί ανησυχίες σχετικά με τις σοβαρές επιπτώσεις, που μπορεί να έχει στη μέση θερμοκρασία της Γης. [6][24]

Οι βασικοί τρόποι σχηματισμού αιωρούμενων σωματιδίων είναι δύο. Η διάσπαση στερεών ή υγρών υλικών σε μικρά σωματίδια, που μεταφέρονται από τον αέρα και μέσω της συσσώρευσης ή συμπύκνωσης μορίων κορεσμένων αερίων. Σε φυσικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων ποικίλλουν από 0 έως 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ στις αστικές περιοχές οι συγκεντρώσεις μπορεί να είναι 50 έως και 100 φορές υψηλότερες. [6][24]

### **3.1.5. Μόλυβδος**

Παλαιότερα ο μόλυβδος προέκυπτε κυρίως από την βενζίνη, η οποία περιείχε ενώσεις μόλυβδου για την αύξηση των οκτανίων, μετατρέποντας την πιο αποδοτική και οικονομική. Ο μόλυβδος εισβάλλει στον οργανισμό μέσω της αναπνοής ή του φαγητού, διαλύεται στο αίμα και συγκεντρώνεται στα όργανα και μπορεί να προκαλέσει μέχρι και θάνατο. Περίπου το 3% των αιωρούμενων σωματιδίων στις πόλεις περιέχει άλατα μόλυβδου. Τα μικροσκοπικά σωματίδια από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων είχαν την δυνατότητα να παραμένουν στον αέρα για μεγάλο διάστημα, συμβάλλοντας στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την εισπνοή τους από τους ανθρώπους. Από το 1990, η χρήση μόλυβδου στη βενζίνη απαγορεύτηκε νομοθετικά και αντικαταστάθηκε από αμόλυβδη βενζίνη, με αποτέλεσμα τη σταδιακή και ριζική μείωση του μόλυβδου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον των πόλεων. [6]

### **3.1.6. Οξειδία του αζώτου**

Το άζωτο συνιστά το 79% του αέρα και δημιουργεί οξειδία κατά την καύση σε μηχανές αυτοκινήτων και κλιβάνους που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Το 60% των εκπομπών πραγματοποιείται σε αστικές περιοχές. Το κύριο οξείδιο στα καυσαέρια

αποτελεί το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και όσο ενισχύεται η θερμοκρασία καύσης, τόσο ενισχύεται η παραγωγή του. Το NO έχει τη δυνατότητα να τροποποιηθεί σε διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), το οποίο έχει καφεκόκκινο χρώμα, έντονη οσμή, και δημιουργεί ενοχλήσεις στα μάτια, τη μύτη και τους πνεύμονες. Τα οξείδια του αζώτου προωθούν σημαντικά τη φωτοχημική ρύπανση και την όξινη βροχή, η οποία συμβάλει αρνητικά στην ανάπτυξη των φυτών. Σε αντίθεση με τις ενώσεις του θείου, η συμμετοχή των οξειδίων του αζώτου στην όξινη βροχή ισχυροποιείται με το πέρασμα του χρόνου. [6]

### 3.1.7. Όζον

Το όζον είναι ένα οξειδωτικό φωτοχημικό, το οποίο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αποτελεί φυσιολογικό συστατικό της ατμόσφαιρας, αλλά σε συνθήκες φωτοχημικού νέφους μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις όζοντος βρίσκονται 10 έως 20 χιλιόμετρα από την πηγή εκπομπών εξαιτίας του χρόνου, που προϋποθέτουν οι φωτοχημικές αντιδράσεις για να ολοκληρωθούν. Το όζον δύναται να προκαλέσει ενοχλήσεις στα μάτια και το λαιμό, να ζημιώσει τους πνεύμονες, να διασπάσει κυτταρικές μεμβράνες και να αλλοιώσει πλαστικά. Τέλος, προκαλεί κηλίδες στα φύλλα των φυτών.[24]

### 3.1.8 Σύνοψη

#### **Κύρια αίτια ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Βιομηχανική Δραστηριότητα: Εκπομπές από βιομηχανικές διαδικασίες (καύση καυσίμων, δημιουργία χημικών ουσιών).

Μεταφορές: Εκπομπές αερίων από οχήματα, αεροπλάνα και πλοία.

Ενεργειακή Παραγωγή: Η καύση ορυκτών καυσίμων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Γεωργία και Κτηνοτροφία: Εκπομπές που προκύπτουν από την καύση φυτικών υπολειμμάτων και εκπομπές μεθανίου από τη διαχείριση αποβλήτων και την εκτροφή ζώων.

Φυσικές Πηγές: Ηφαιστειακή δραστηριότητα, δασικές πυρκαγιές. [6]



## **Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης**

### **Υγεία:**

Αναπνευστικά Προβλήματα: Άσθμα, βρογχίτιδα, και άλλες ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος.

Καρδιαγγειακά Προβλήματα: Αυξημένος κίνδυνος καρδιοπαθειών.

Καρκίνος: Ορισμένοι ρύποι όπως οι ΡΑΝ και τα βαρύτατα μέταλλα συνδέονται με τον καρκίνο. [25-26]

### **Περιβάλλον:**

Οξυνση Εδαφών και Υδάτων: Η όξινη βροχή επιδρά αρνητικά στα οικοσυστήματα, καθώς και στην ποιότητα του εδάφους και των υδάτων.

Επιπτώσεις στη Βιοποικιλότητα: Μείωση της ποικιλίας φυτών και ζώων.

### **Κλιματική Αλλαγή:**

Φαινόμενο Θερμοκηπίου: Ορισμένοι ρύποι όπως το CO<sub>2</sub> και το μεθάνιο συμβάλλουν στη θέρμανση της Γης.

Αλλοιώσεις στο Κλίμα: Επιδράσεις στην κλιματική ισορροπία με αποτέλεσμα ακραία καιρικά φαινόμενα. [6][23]

## **Μέτρα Μείωσης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης**

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Επένδυση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Προώθηση Ρυθμιστικών Κανονισμών: Αναγκαστική εφαρμογή φίλτρων σε βιομηχανίες και οχήματα.

Ενίσχυση Δημόσιων Συγκοινωνιών: Μείωση της κυκλοφορίας οχημάτων με την χρήση των ΜΜΜ.

Σχεδιασμός Προγραμμάτων Ευαισθητοποίησης: Εκπαίδευση των πολιτών και των βιομηχανιών για τις επιδράσεις της ρύπανσης και τους τρόπους περιορισμού της. [6][23]

Η συνειδητοποίηση και η διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ζωτικής σημασίας για την προφύλαξη της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, καθώς και για την μείωση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής. [6][23]








### 3.2. Άνεμος

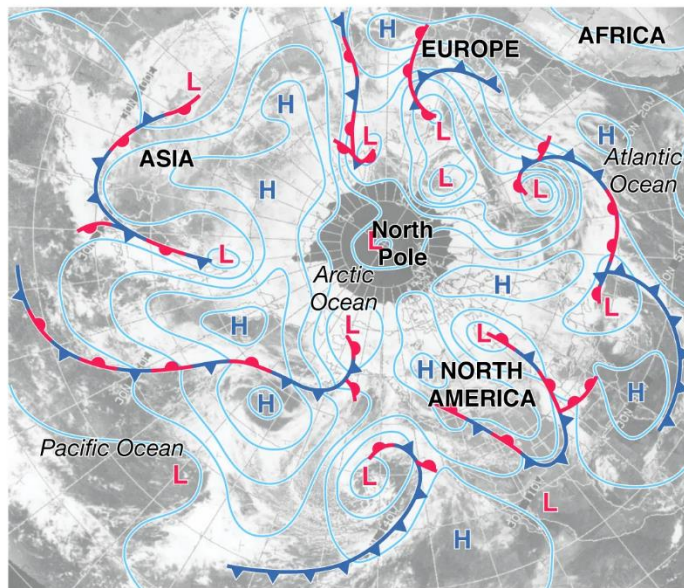
Η ατμόσφαιρα της γης απαριθμείται από άζωτο, οξυγόνο και άλλα. Στην επιφάνεια της Γης η ατμοσφαιρική πίεση φτάνει τα 101 kPa και σε υψηλότερα υψόμετρα ελαχιστοποιείται κατά τον Blaise Pascal. Επιπρόσθετα, η πίεση της ατμόσφαιρας δεν επηρεάζεται αποκλειστικά από το υψόμετρο, αλλά και από τη θερμοκρασία και τη πυκνότητα του αέρα. [6][23]

Άνεμος είναι ο κινούμενος αέρα, ο οποίος προκαλείται λόγω της διαφοράς πίεσης της ατμόσφαιρας και προκαλείται από του παρακάτω παράγοντες:

- Η ανομοιόμορφη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, όπου αλλάζει η θερμοκρασία και η πίεση της ατμόσφαιρας.
- Η εναλλασσόμενη γραμμική ταχύτητα περιστροφής της γης, η οποία στον ισημερινό είναι η μεγαλύτερη ενώ ελλατώνεται κατά την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους.
- Οι παλιρροϊκές δυνάμεις που δημιουργούνται ανάμεσα στη Γη και τη Σελήνη.
- Σύννεφα υδρατμών τα οποία διατηρούν μέρος από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Ο αέρας παγιδεύεται εξαιτίας της βαρύτητας της Γης και δεν μεταφέρεται στο διάστημα. Παράλληλα, αυτό οφείλεται και στο μαγνητικό πεδίο της Γης, το οποίο διενεργεί ενάντια στον ηλιακό άνεμο. [6][23]

-  Cold front
-  Warm front
-  Occluded front
-  Stationary front
-  H High-pressure center
-  L Low-pressure center
-  Isobar

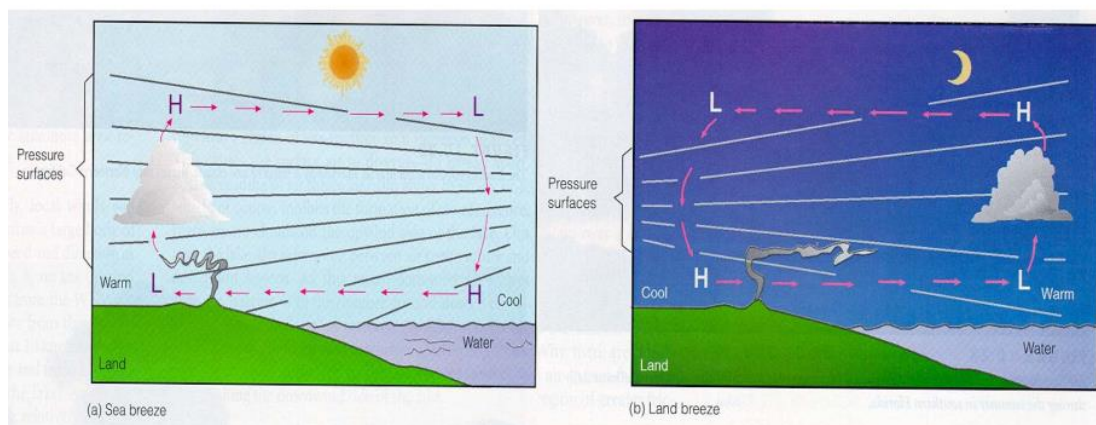


© Encyclopædia Britannica, Inc.

**Σχήμα 3.1: Μετεωρολογικός Χάρτης Βορείου Ημισφαιρίου: Ισοβαρείς Γραμμές και Μετωπικά Συστήματα. [27]**

Ημέρα – (καλοκαίρι)

Νύχτα – (χειμώνας)

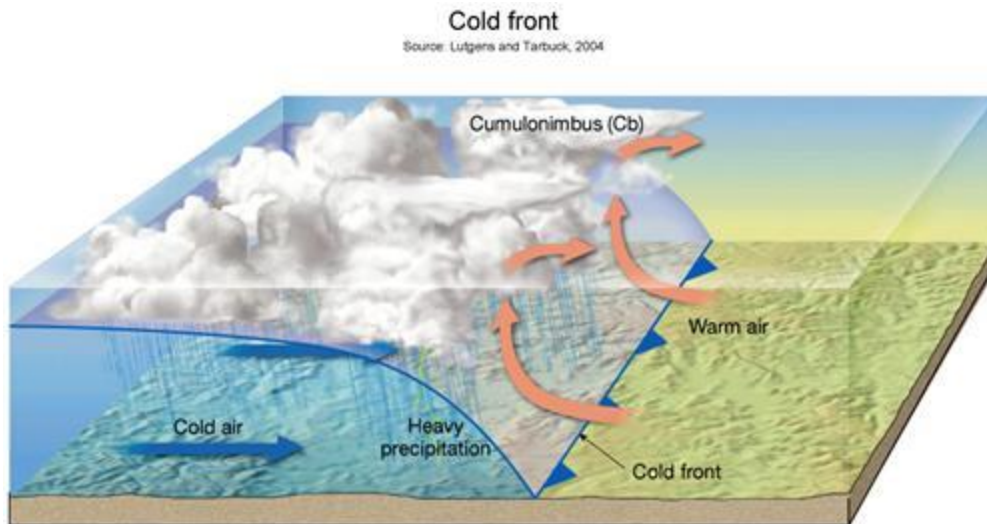


Θαλάσσια αύρα

Απόγεια αύρα

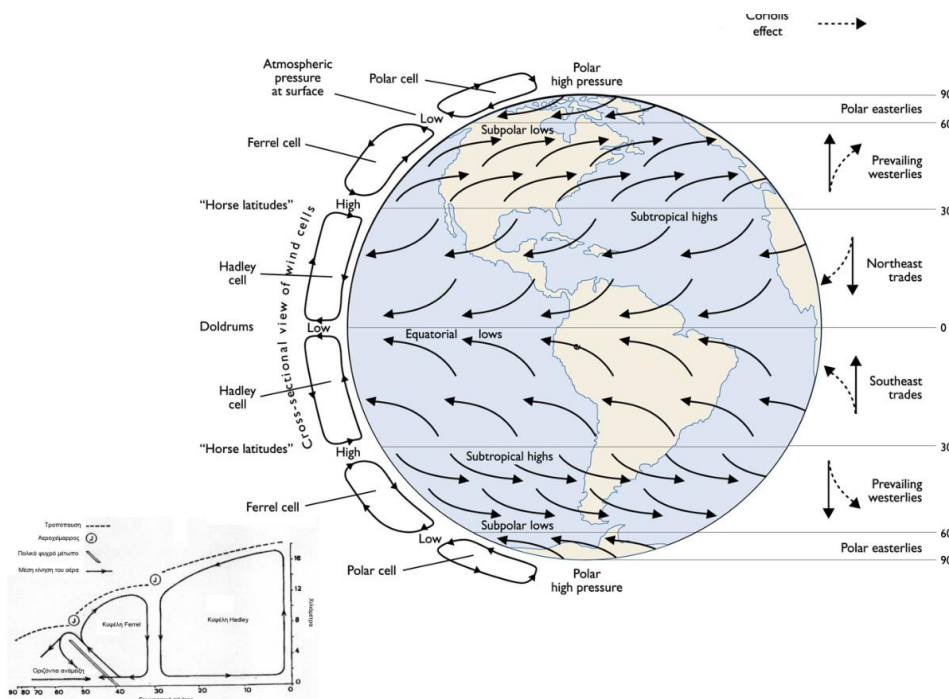
**Σχήμα 3.2: Άνεμοι σε παραθαλάσσιες περιοχές (Καλοκαίρι – Χειμώνας) [28]**

Ο ζεστός αέρας με υψηλή σχετική υγρασία αναμειγνύεται με τον ψυχρό αέρα, φτάνει σε κορεσμό και προκαλεί βροχές και καταγίδες. [24]



Σχήμα 3.3: Μηχανισμός δημιουργίας ανέμων [24]

Η επίδραση της δύναμης Coriolis στην δημιουργία ανέμων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

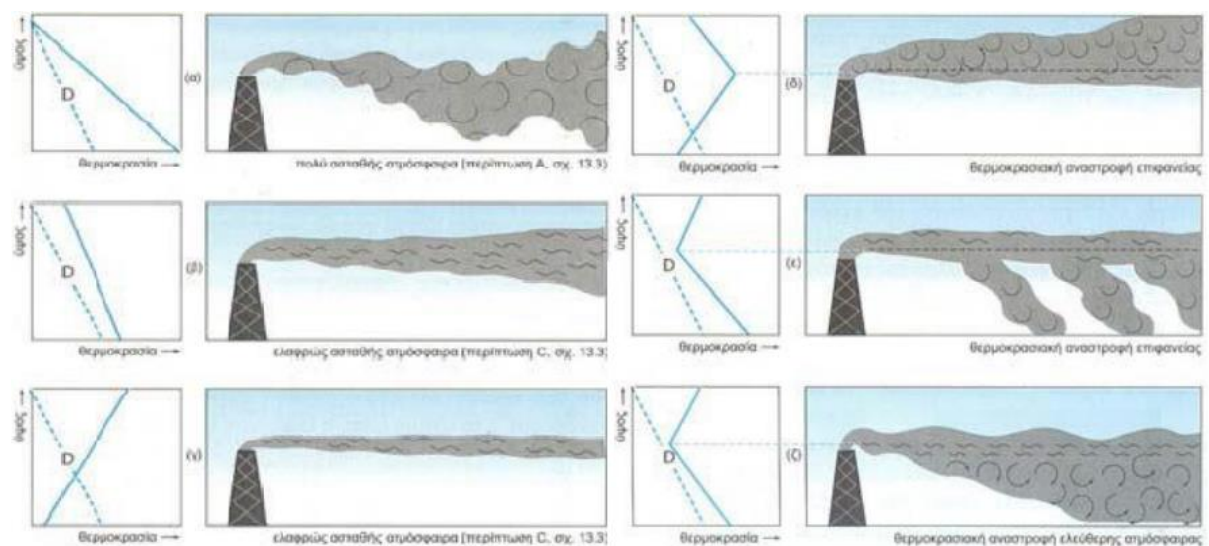


Σχήμα 3.4: Άνεμοι λόγω της δύναμης Coriolis [28]

### 3.2.1. Ευστάθεια ατμοσφαιρικού αέρα

Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας επηρεάζεται από τη θερμοκρασιακή βαθμίδα, δηλαδή την πρώτη παράγωγο της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος. Οι καταστάσεις της ατμόσφαιρας κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Ευσταθής ατμόσφαιρα: Συνήθως εμφανίζεται τη νύχτα με έντονη νέφωση και χαμηλές ταχύτητες ανέμου.
- Ουδέτερη ατμόσφαιρα: Εντοπίζεται τη νύχτα με ελαφριά νέφωση και μεγάλες ταχύτητες ανέμου και στη διάρκεια της ημέρας με πυκνή νέφωση και μεγάλες ταχύτητες ανέμου.
- Ασταθής ατμόσφαιρα: Παρατηρείται κυρίως την ημέρα με ισχυρή ηλιοφάνεια και μικρές ταχύτητες ανέμου. [29]



Σχήμα 3.5: Μορφές πλουμιού καυσαερίων για διάφορες καταστάσεις της ατμόσφαιρας[29]

Η ευστάθεια του ατμοσφαιρικού αέρα έχει σημαντικό ρόλο στην διάδοση των ρύπων. Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται μία ασταθής κατάσταση όπου οι ρύποι έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρονται σε χαμηλά υψόμετρα, επιδρώντας αρνητικά στην υγεία των οργανισμών πλησίον των βιομηχανικών ζωνών. [29]

### 3.3 Έξοδος καυσαερίων από καπνοδόχους

Η απομάκρυνση των καυσαερίων μέσω των καπνοδόχων αφορά τη μεταφορά τους μακριά από την πηγή εκπομπής για να μειωθεί η επίδραση των ρύπων στο περιβάλλον

και την υγεία. Χρησιμοποιεί αρχές θερμοδυναμικής και ρευστομηχανικής για την αποτελεσματική διάχυση των καυσαερίων. [29]

### **Λειτουργία της καπνοδόχου**

Ύψος Καπνοδόχου: Το ύψος της καπνοδόχου επιδρά στη διασπορά των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Οι πιο ψηλές καπνοδόχοι ευθύνονται για τη μεγαλύτερη διασπορά ρύπων ελαχιστοποιώντας την ρύπανση των γειτονικών περιοχών. [29]

Θερμοκρασία καυσαερίων: Η ταχύτητα ανύψωσης των καυσαερίων αυξάνεται με τη θερμοκρασία τους, καθώς τα θερμότερα καυσαερία έχουν χαμηλότερη πυκνότητα από τον περιβάλλοντα αέρα και ανεβαίνουν πιο γρήγορα. [29]

Επιπτώσεις ρύπανσης και τρόποι αντιμετώπισης: Σύγχρονος τεχνολογικά σχεδιασμός και ορθή συντήρηση των καπνοδόχων προς αποφυγή της αιθάλης, των σωματιδίων και των βλαβερών χημικών ουσιών. Συστήνεται η χρήση φίλτρων και συστημάτων καθαρισμού. [29]

Μοντέλα Ανάμιξης και Διασποράς: Η διασπορά και ο συνδυασμός καυσαερίων με ατμοσφαιρικό αέρα επηρεάζεται από τα γεωμετρικά στοιχεία της καπνοδόχου και την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Μοντέλα διασποράς εφαρμόζονται για να εκτιμήσουν την πορεία και την έκταση της επίδρασης των ρύπων. [29]

### **Σχεδιασμός και Αξιολόγηση Καπνοδόχων**

Σχεδιασμός: Το ύψος, η διάμετρος και τα υλικά κατασκευής είναι οι τρεις βασικοί παράγοντες για τον σχεδιασμό μιας καπνοδόχου. Ταυτόχρονα θα πρέπει να εκτιμώνται οι περιβαλλοντικές συνθήκες. [29]

Αξιολόγηση Απόδοσης: Η αξιολόγηση της απόδοσης μιας καπνοδόχου περιλαμβάνει την ικανότητά αυτής να διασπείρει τα καυσαερία σε μεγάλη έκταση. [29]

### 3.4 Διάχυση ρυπαντών στην ατμόσφαιρα

Η διασπορά των ρυπαντών στην ατμόσφαιρα είναι καθοριστική για την ποιότητα του αέρα και την ανθρώπινη υγεία. Αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι ρύποι από πηγές όπως βιομηχανίες, μεταφορές και αγροτικές δραστηριότητες διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα, επιδρώντας στην ατμοσφαιρική ποιότητα σε τοπική, περιφερειακή ή παγκόσμια κλίμακα. [30]

#### Παράμετροι που συμβάλουν στη διασπορά ρύπων

##### 1. Ατμοσφαιρικές συνθήκες:

Θερμοκρασία και θερμοκρασιακή βαθμίδα: Η θερμοκρασία επιδρά στη συμπεριφορά των ρύπων με την μεταβολή της θερμοκρασίας και του ύψους και έχει την δυνατότητα να δημιουργεί στρώματα αέρα που μειώνουν ή αυξάνουν την διασπορά. [30]

Άνεμοι: Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου διαμορφώνουν την κατεύθυνση και την ταχύτητα διασποράς των ρύπων. [30]

##### 2. Γεωμορφικά χαρακτηριστικά και πυκνότητα:

Πυκνότητα: Η πυκνότητα του αέρα επιδρά σημαντικά στην διασπορά των ρύπων. [30]

Γεωγραφικά χαρακτηριστικά: Η κίνηση και η διεύθυνση των ρύπων μπορεί να επηρεαστεί από την γεωμορφία της περιοχής. [30]

##### 3. Πηγή ρύπανσης:

Τύπος πηγής: Οι πηγές εκπομπής, όπως οι βιομηχανίες και τα αυτοκίνητα, καθορίζουν την εξάπλωση και τη συγκέντρωση των ρύπων. Οι συνεχείς πηγές παράγουν σταθερή ροή ρύπων, ενώ οι περιοδικές πηγές έχουν προσωρινή επίδραση. [6]

Εκπομπές: Η μορφή και η συγκέντρωση των ρύπων που αποδεσμεύονται, η θερμοκρασία και η ταχύτητα απελευθέρωσής τους, επιδρούν στη διάχυση. [6]

## Διασπορά ρύπων

### Τρόποι διασποράς ρύπων στην ατμόσφαιρα:

Άμεση διασπορά ρύπων: Ρύποι που διαχέονται απευθείας από την πηγή εξαιτίας της κίνησης του αέρα και των θερμοκρασιακών αποκλίσεων. [30]

Έμμεση διασπορά ρύπων: Ρύποι που μεταφέρονται σε μακρινές αποστάσεις εξαιτίας των ρευστών ροών και των αναταράξεων. [30]

### Στρατηγικές διαχείρισης:

Ελαχιστοποίηση εκπομπών: Χρήση αποτελεσματικών τρόπων καθαρισμού, αύξηση της απόδοσης των καυσίμων και χρήση πράσινης ενέργειας. [6][30]

Προβλέψεις και παρακολούθηση: Η εφαρμογή μοντέλων διασποράς για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των ρύπων και η παρακολούθηση των επιπέδων συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα συμβάλουν στην αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα. [6][30]

## 3.5 Κίνηση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως η σκόνη, ο καπνός, η αιθάλη και άλλα μικροσκοπικά σωματίδια, διασκορπίζονται και μετακινούνται μέσα στον αέρα ή σε άλλα αέρια μέσα. Η κατανόηση αυτής της κίνησης είναι σημαντική για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ποιότητα του αέρα, την απόδοση των συστημάτων φιλτραρίσματος και τη διανομή των ρύπων. [24][30]

## 3.6 Συσκευές μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων

Οι σύγχρονες τεχνολογίες για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων έχουν εξελιχθεί αρκετά, καθώς η ανάγκη για αμεσότερες και αξιόπιστες μετρήσεις της ποιότητας του αέρα είναι μεγάλη. Μερικές από τις σύγχρονες τεχνολογίες είναι οι εξής:

Οι οπτικοί αισθητήρες λέιζερ πραγματοποιούν την ανίχνευση αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιώντας λέιζερ εφαρμόζουν μεθόδους όπως είναι η ανάκλαση και η απορρόφηση του φωτός από τα σωματίδια παρέχοντας πληροφορίες για τις φυσικές τους ιδιότητες. Οι παραπάνω τεχνολογίες επιτρέπουν την ακριβή καταμέτρηση και ανάλυση των σωματιδίων σε πραγματικό χρόνο.[31]



Φασματοφωτόμετρα Ακτίνων Βήτα: Αυτές οι συσκευές μετρούν την απορρόφηση της ακτινοβολίας βήτα από τα σωματίδια που έχουν συλλεχθεί σε φίλτρο, παρέχοντας συνεχείς μέτρησεις της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.[32]

Συσκευές Δειγματοληψίας Φίλτρου: Οι συσκευές μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων με χρήση φίλτρων είναι ένας από τους βασικούς τύπους αισθητήρων για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα. Αυτές οι συσκευές συλλέγουν τα αιωρούμενα σωματίδια σε φίλτρα, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται ως προς την συγκέντρωσή τους. Ο τύπος αυτός προσφέρει ακρίβεια και είναι ο πιο κοινός σε επιστημονικές έρευνες και περιβαλλοντικές μελέτες. [33]

Microbalances (TEOM): Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν φίλτρο που τοποθετείται σε σωλήνα χαλαζία. Τα σωματίδια που συλλέγονται προκαλούν αλλαγές στη συχνότητα ταλάντωσης του σωλήνα, παρέχοντας έτσι συνεχείς μετρήσεις της συγκέντρωσης των σωματιδίων.[34]

### **3.7 Συσκευές ελέγχου ατμοσφαιρικών ρύπων**

Οι συσκευές ελέγχου ατμοσφαιρικών ρύπων επιδρούν σημαντικά στην ποιότητα της ατμόσφαιρας και στην τήρηση των περιβαλλοντικών κανονισμών. Είναι σχεδιασμένες ώστε να μειώνουν, να περιορίζουν ή να εξουδετερώνουν τις εκπομπές ρύπων από πολλαπλές πηγές, όπως βιομηχανίες, οχήματα και άλλα συστήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά είδη συσκευών ελέγχου ατμοσφαιρικών ρύπων: [23]

### **3.8 Συσκευές κατακράτησης σωματιδίων**

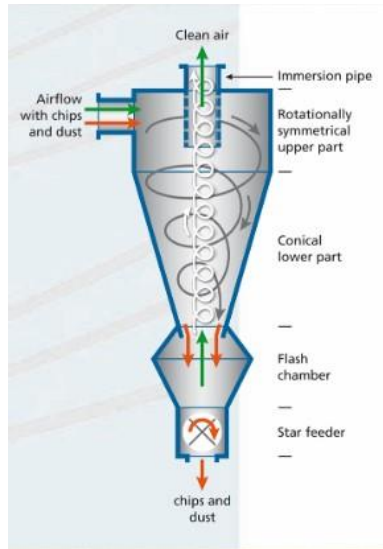
#### **Φίλτρα σωματιδίων:**

Σακουλάκια (Baghouse Filters): Μέσω υφασμάτων παγιδεύουν τα σωματίδια από αέρια ρεύματα και μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και τα σωματίδια PM<sub>1</sub>. [23]

Φίλτρα Μηχανικής Συσσώρευσης (Electrostatic Precipitators): Εφαρμόζουν ηλεκτρικά πεδία για να φορτίσουν σωματίδια και να τα συλλέξουν, παρέχοντας έναν αποτελεσματικό τρόπο αφαίρεσης μικρών σωματιδίων. [23]

### Κυκλώνες:

Εκμεταλλούνται φυγόκεντρες δυνάμεις για να απομακρύνουν τα σωματίδια από το αέριο ρεύμα. Λειτουργούν πιο αποδοτικά για μεγαλύτερα σωματίδια, αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί με τα πολύ μικρά σωματίδια. [24]



Σχήμα 3.6: Τομή κυκλώνα. [24]

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Μεθοδολογία διεξαγωγής

### 4.1. Περιγραφή οργάνων μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων

Οι αισθητήρες του πειράματος είναι νέας γενιάς της εταιρείας PurpleAir και συγκεκριμένα το μοντέλο **PA – Π – SD Air Quality Sensor**.

#### 4.1.1. Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Διαστάσεις: 85mm × 85mm × 125mm.

Δυνατότητα εισαγωγής κάρτας SD για καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χωρίς να απαιτείται σύνδεση στο διαδίκτυο.

Σύνδεση με Wifi και δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων σε cloud.

Μετρητές Plantower Laser pms-6003 με δυνατότητα αντικατάστασης.

- Εύρος Μετρήσεων: 0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 & 10 μm
- Ακρίβεια: 50% στα 0.3 μm & 98% στα  $\geq 0.5\mu\text{m}$

Αισθητήρας Bosch bme-688 : Πίεσης , Θερμοκρασίας και Υγρασίας.

- Εύρος Θερμοκρασίας Μετρήσεων: -40°C έως 85°C [35]



Σχήμα 4.1: PA – Π – SD Air Quality Sensor. [35]



Σχήμα 4.2: PA – II – SD Air Quality Sensor. [35]

#### 4.1.2. Τεχνικά Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού οχήματος

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε είναι το **Eco Car City**.

Διαστάσεις: 2245mm × 1290mm × 1570mm

Βάρος ( με μπαταρία ) : 600 kg

Χρόνος φόρτισης: 7 ώρες

Αυτονομία  $\approx$  100 χλμ. [36]



Σχήμα 4.3 : Eco Car City

## **4.2. Καταγραφή δεδομένων ατμοσφαιρικών μετρήσεων**

### **4.2.1. Συγχρονισμός αισθητήρων**

Ο βασικότερος παράγοντας για την σωστή εκπόνηση του πειράματος είναι η ποιότητα των μετρήσεων.

Για την πραγματοποίηση της έρευνας μας θα γίνει χρήση δύο αισθητήρων. Για το λόγο αυτό θα ελέγξουμε ότι καταγράφουν ταυτόχρονα και με μικρή απόκλιση μεταξύ τους.

Για το σκοπό αυτό, σε δύο κάρτες Micro SD διεγράψαμε όλα τα δεδομένα και τοποθετήσαμε απο μία στον κάθε αισθητήρα.

Στην συνέχεια, στην τσάντα του κτηρίου Γ' του πανεπιστημίου δέσαμε τους δύο αισθητήρες σε αρκετά κοντινή απόσταση μεταξύ τους με tire-up, ώστε να λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα και να μπορέσουμε να τα συγκρίνουμε.

Οι αισθητήρες παρέμειναν στην τσάντα του κτηρίου Γ' για 15 ημέρες, τις οποίες και κατέγραφαν. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα δεδομένα, αποσυνδέσαμε τους αισθητήρες από το σημείο που είχαν τοποθετηθεί, αφαιρέσαμε τις κάρτες μνήμης και τις συνδέσαμε στον Η/Υ.

Αρχικά, εξετάσαμε σε κάθε αισθητήρα ξεχωριστά τις μετρήσεις που έχουν καταγράψει τα δύο κανάλια του, στις οποίες δεν φάνηκε να υπάρχει κάποιο τεχνικό πρόβλημα καθώς είχαν την ίδια ακρίβεια.

Στην συνέχεια, συγκρίναμε τους δύο αισθητήρες οι οποίοι κατέγραφαν μετρήσεις ανά δύο λεπτά και οι αποκλίσεις που είχαν μεταξύ τους ήταν πολύ μικρές έως και μηδενικές.



Σχήμα 4.4: Συγχρονισμός αισθητήρα στην ταράτσα του κτηρίου Γ'.

#### **4.2.2. Τοποθέτηση αισθητήρων στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο**

Για να καταφέρουμε να συγκρίνουμε τα αιωρούμενα σωματίδια και τα μετεωρολογικά δεδομένα, τοποθετήσαμε έναν αισθητήρα εσωτερικά της καμπίνας του αυτοκινήτου, το οποίο δέθηκε με *tire up* πίσω από το προσκέφαλο του συνόδηγου.

Στην συνέχεια, καλύψαμε με αεροπλάστ τον άλλο αισθητήρα για να τον προστατέψουμε, καθώς θα ήταν εκτεθειμένος και τον δέσαμε και αυτόν με *tire up* κάτω από τον αριστερό καθρέφτη του οχήματος.

Τέλος, συνδέσαμε τα καλώδια παροχής ρεύματος στους δύο αισθητήρες, τα οποία ήταν συνδεδεμένα σε πολύμπριζο, που έπαιρνε ρεύμα από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο.



Σχήμα 4.5: Τοποθέτηση αισθητήρων στο ηλεκτρικό όχημα



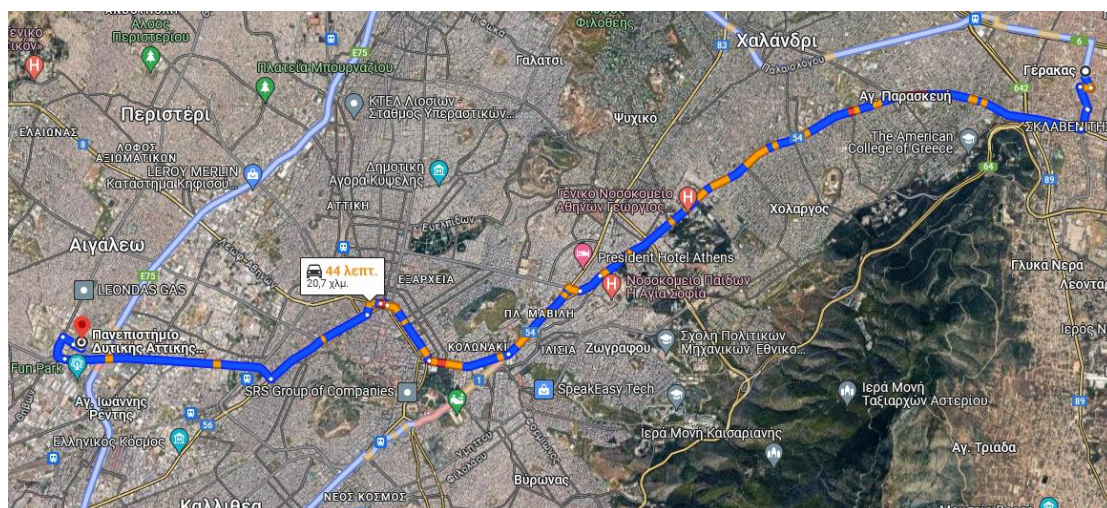
### 4.2.3. Μελέτη και έναρξη διαδρομών

Πριν την έναρξη των διαδρομών με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο δημιουργήσαμε σενάρια, τα οποία θα εφαρμόζαμε κατά τη διάρκεια των διαδρομών για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα που θα λαμβάναμε από τις μετρήσεις.

Τα σενάρια ήταν τα εξής:

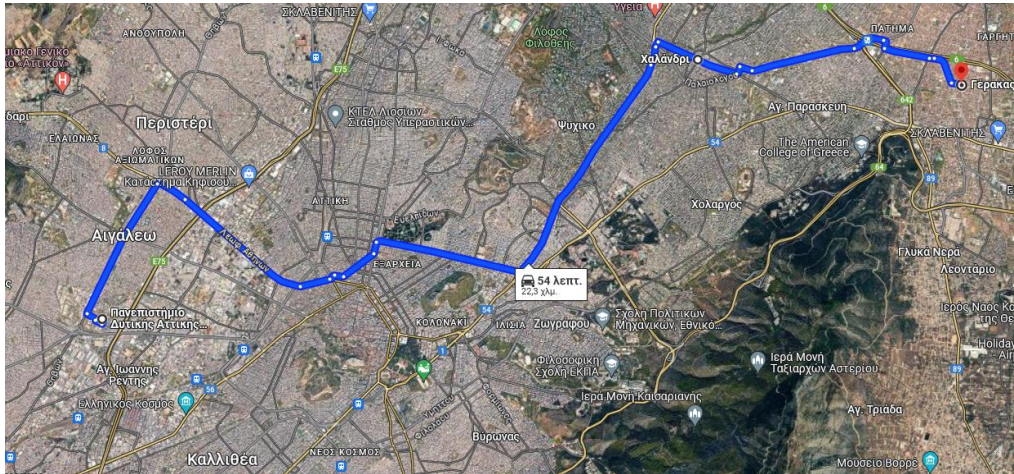
- 1) Κλειστά παράθυρα.
- 2) Ανοιχτά παράθυρα.
- 3) Χρήση θέρμανσης.
- 4) Δύο επιβάτες στην καμπίνα.
- 5) Χρήση θέρμανσης με ανοιχτό παράθυρο.
- 6) Περιστασιακή χρήση θέρμανσης.
- 7) Ακινησία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.
- 8) Οδήγηση στο κέντρο της Αθήνας.
- 9) Οδήγηση περιφερειακά της Αθήνας.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω διαδρομές:

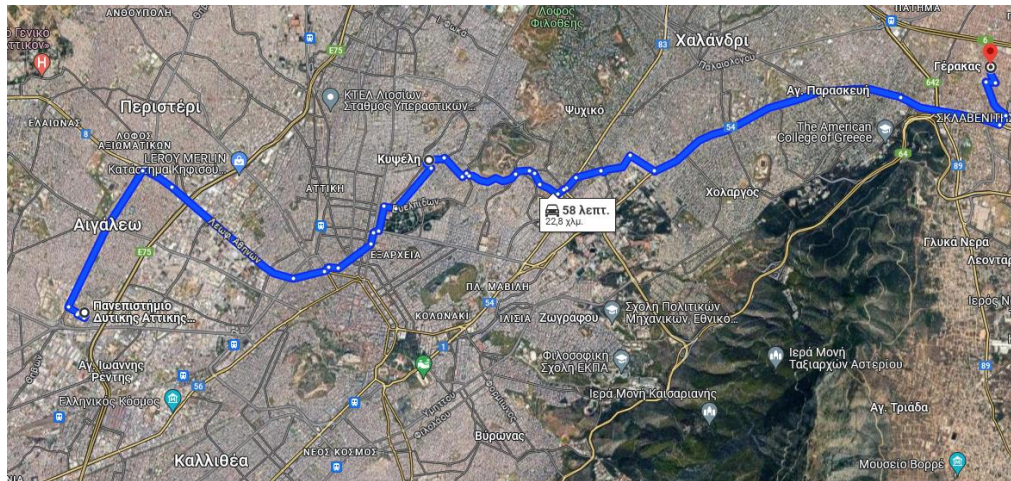


Σχήμα 4.6: 1<sup>η</sup> Διαδρομή: Γέρακας – Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Θηβών Αιγάλεω)



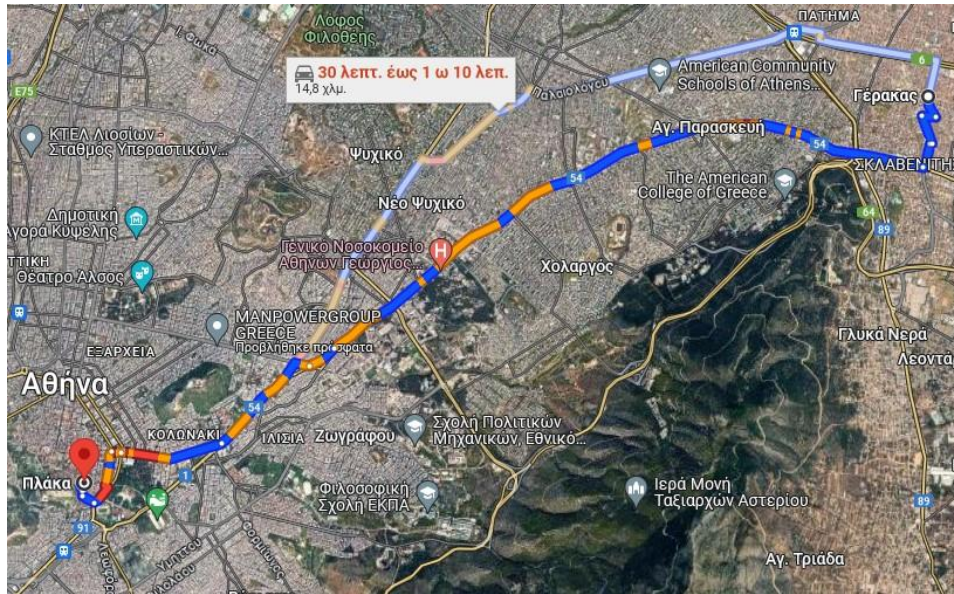


**Σχήμα 4.7: 2<sup>η</sup> Διαδρομή: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Θηβών Αιγάλεω) – Χαλάνδρι – Γέρακας**

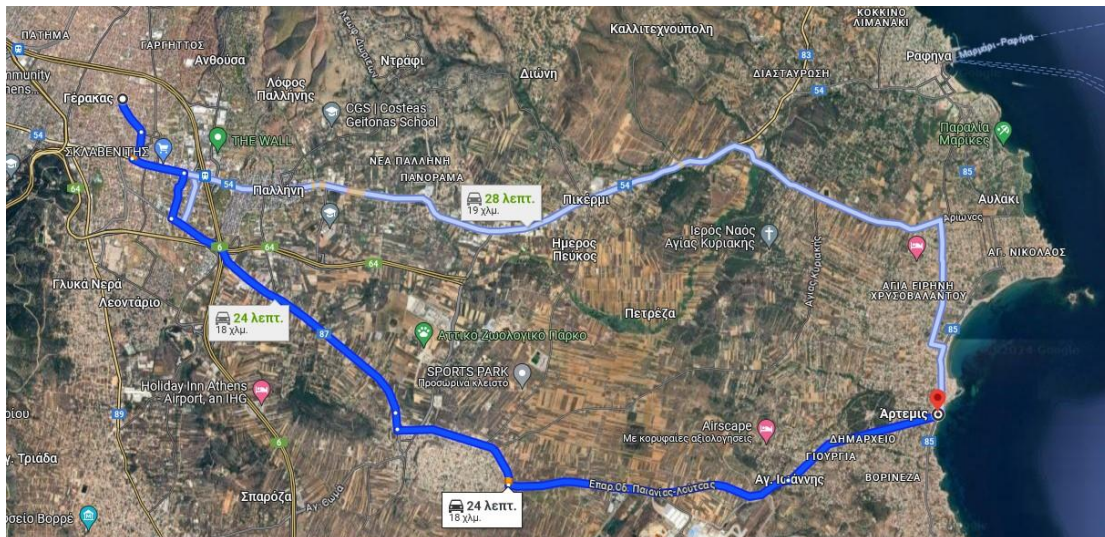


**Σχήμα 4.8: 3<sup>η</sup> Διαδρομή: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Θηβών Αιγάλεω) – Κυψέλη – Γέρακας**



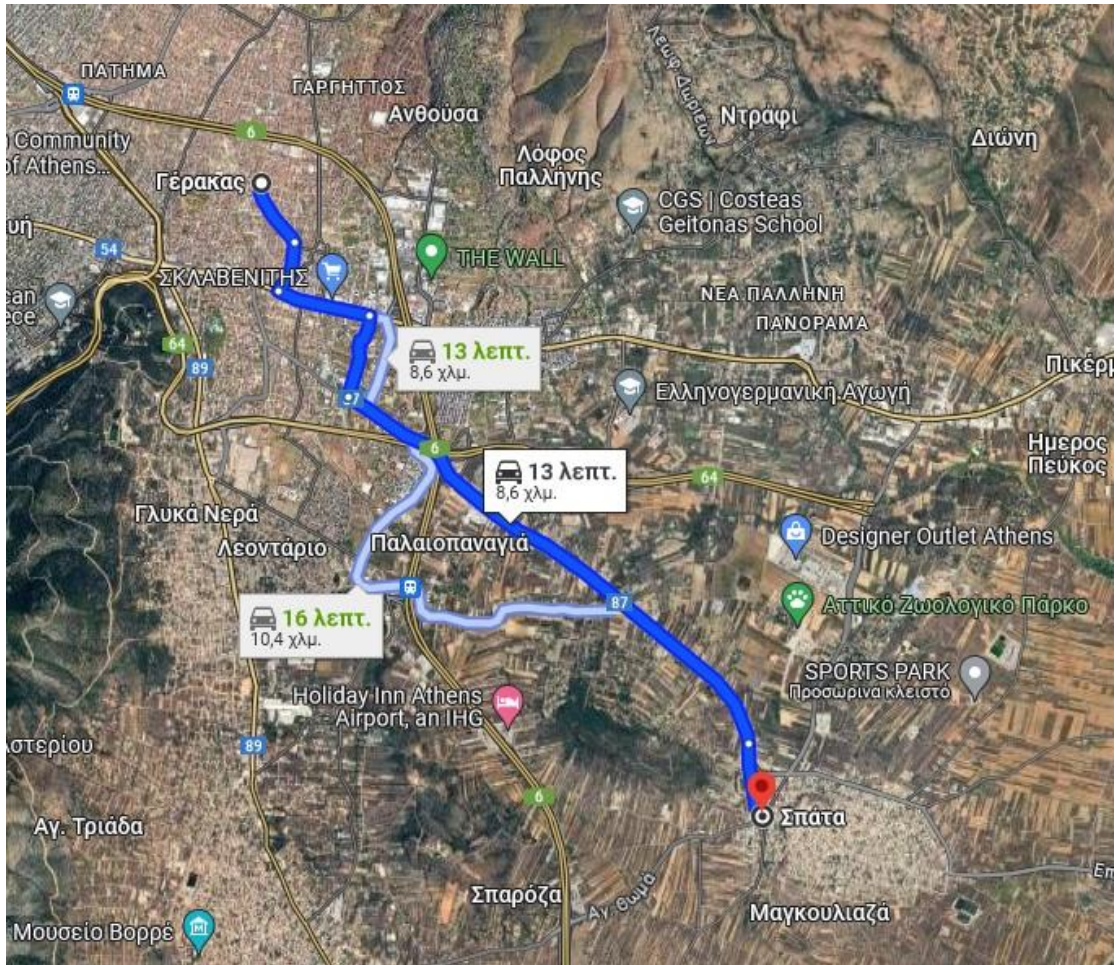


**Σχήμα 4.9: 4<sup>η</sup> Διαδρομή: Γέρακας – Πλάκα**

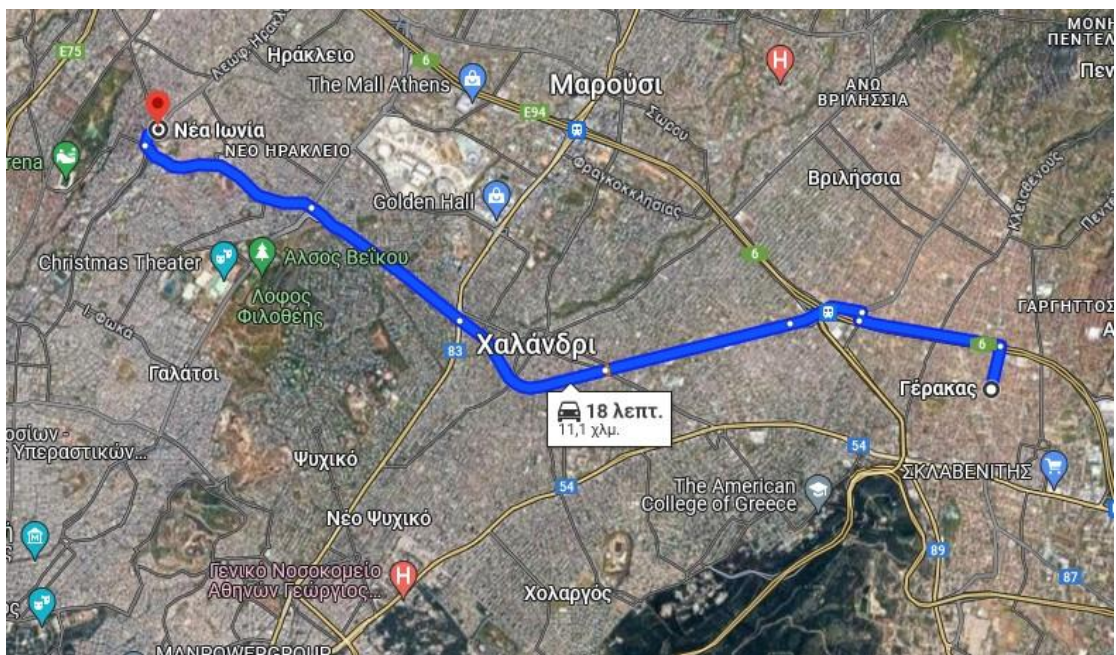


**Σχήμα 4.10: 5<sup>η</sup> Διαδρομή: Γέρακας – Αρτέμιδα**





Σχήμα 4.11: 6<sup>η</sup> Διαδρομή: Γέρακας – Σπάτα



Σχήμα 4.12: 5<sup>η</sup> Διαδρομή: Γέρακας – Ν. Ιωνία



#### 4.2.4. Επεξεργασία Μετρήσεων

Μετά το πέρας της διαδρομής αποσυνδέσαμε τους αισθητήρες από το ρεύμα και αφαιρέσαμε τις κάρτες μνήμης **SD**. Έπειτα, τις εισάγαμε σε Η/Υ με έναν ανάπτορα. Οι κάρτες μνήμης περιείχαν ένα αρχείο **.csv**, το οποίο αντιστοιχούσε σε μία σειρά μετρήσεων συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων **PM<sub>10</sub>** για την κάθε διαδρομή που πραγματοποιήθηκε σε ένα 24ωρο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	UTCDateTime,mac_address,firmware_ver,hardware,current_temp_f,current_humidity,current_dewpoint_f,pressure,adc,mem,rssi,upti												
2	2023/12/21T04:50:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,53,69,43,976.10,nan,3665€												
3	2023/12/21T04:52:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,54,71,45,978.24,0.04,3656€												
4	2023/12/21T04:54:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,56,73,47,980.56,0.04,3656€												
5	2023/12/21T04:56:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,57,74,48,983.77,0.04,3656€												
6	2023/12/21T04:58:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,59,75,51,980.17,0.04,3571€												
7	2023/12/21T05:00:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,61,74,53,984.05,0.04,3590€												
8	2023/12/21T05:02:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,63,74,54,984.71,0.04,3619€												
9	2023/12/21T05:04:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,63,73,54,984.73,0.04,3619€												
10	2023/12/21T05:06:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,66,72,56,986.82,0.04,3619€												
11	2023/12/21T05:08:19z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,68,70,58,988.06,0.04,3619€												
12	2023/12/21T05:10:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,69,68,58,990.66,nan,3665€												
13	2023/12/21T05:12:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,70,66,58,992.45,0.04,3656€												
14	2023/12/21T05:14:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,72,65,59,992.24,0.04,3600€												
15	2023/12/21T05:16:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,73,63,60,991.83,0.04,3619€												
16	2023/12/21T05:18:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,74,62,60,992.95,0.04,3619€												
17	2023/12/21T05:20:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,76,60,61,996.64,0.04,3619€												
18	2023/12/21T05:22:15z,98:cd:ac:f:e0:52,6.01,2.0+OPENLOG+31037 MB+DS3231+BME280+PMSX003-B+PMSX003-A,77,59,61,999.17,0.04,3619€												

Σχήμα 4.13: Αρχική μορφή καταγραφής δεδομένων στο excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	UTCDateTime	Indoor (M.O. 2 Καναλιών)					Outdoor (M.O. 2 Καναλιών)					
2	UTCDateTime	C Indoor	Humidity	Pm1 Indo	Pm 2,5 Inc	Pm 10 Ind	C Outdoor	Humidity	pm1 Outd	pm2_5 Ou	pm10 Outdoor	
3	2024/01/16T13:14:12z	28	33	0	0,09	0,59	20	47	0,01	0,24	0,64	
4	2024/01/16T13:16:12z	28	34	0	0,19	0,765	20	46	1,14	2,65	3,68	
5	2024/01/16T13:18:12z	28	35	0	0,075	0,57	21	45	1,315	3,69	4,175	
6	2024/01/16T13:20:12z	28	36	0	0,5	0,86	21	45	30,935	47,63	49,725	
7	2024/01/16T13:22:12z	28	36	0,255	3,55	5,09	21	44	0,725	2,735	3,64	
8	2024/01/16T13:24:12z	28	37	9,14	16,01	17,965	21	44	4,225	8,91	11,685	
9	2024/01/16T13:26:12z	28	36	4,7	9,44	13,55	21	44	3,69	8,045	9,225	
10	2024/01/16T13:28:12z	28	36	3,825	8,18	12,07	21	43	4,705	9,38	11,035	
11	2024/01/16T13:30:12z	29	37	3,965	7,805	10,665	22	43	0,095	1,525	2,24	
12	2024/01/16T13:32:12z	29	37	3,065	6,635	9,67	22	42	0,61	2,19	2,595	
13	2024/01/16T13:34:09z	29	38	2,515	4,955	6,03	22	42	2,115	4,695	5,435	
14	2024/01/16T13:36:09z	29	39	2,425	5,285	6,48	22	42	6,615	10,63	12,305	
15	2024/01/16T13:38:09z	29	39	1,86	4,95	5,72	22	43	12,085	19,685	21,645	
16	2024/01/16T13:40:09z	29	38	3,115	6,425	8,01	22	42	19,45	35,24	38,41	
17	2024/01/16T13:42:09z	30	39	2,63	5,345	6,455	21	43	26,29	35,68	36,885	
18	2024/01/16T13:44:09z	30	39	4,82	8,455	10,095	21	42	5,93	10,095	10,915	
19	2024/01/16T13:46:09z	30	39	5,61	10,99	14,33	21	43	21,44	27,67	29,18	
20	2024/01/16T13:48:09z	30	39	5,26	9,285	12,22	21	43	10,61	17,82	19,33	
21	2024/01/16T13:50:09z	30	39	7,09	12,9	16,65	20	42	20,475	27,87	29,725	
22	2024/01/16T13:52:09z	29	39	7,315	13,185	15,26	21	43	2,135	4,715	5,285	
23	2024/01/16T13:54:05z	29	39	7,59	14,15	18,41	21	43	28,82	36,335	38,515	
24	2024/01/16T13:56:05z	29	40	6,565	11,35	15,42	21	42	28,515	36,47	38,91	
25	2024/01/16T13:58:05z	29	40	9,76	15,165	17,85	22	42	9,47	19,7	21,86	
26	2024/01/16T14:00:05z	29	39	13,065	19,46	21,225	21	41	2,32	5,835	7,06	
27	2024/01/16T14:02:05z	29	39	9,605	18,72	20,975	21	41	1,025	3,87	4,485	
28	2024/01/16T14:04:05z	30	39	7,06	15,025	17,345	21	41	2,805	5,985	7,475	
29	2024/01/16T14:06:05z	30	39	5,39	9,4	12,37	21	42	4,295	7,975	10,33	
30	2024/01/16T14:08:05z	30	39	4,69	8,27	10,415	21	41	7,09	13,2	16,225	
31	2024/01/16T14:10:05z	29	37	4,665	8,325	10,52	21	42	4,225	8,205	9,62	
32	2024/01/16T14:12:05z	30	37	3,835	7,55	10,87	21	42	20,24	27,39	28,87	
33	2024/01/16T14:14:02z	31	37	3,4	6,75	8,475	21	42	24,88	31,805	33,4	
34	2024/01/16T14:16:02z	31	37	5,275	8,575	10,995	20	44	21,775	29,85	31,65	
35	2024/01/16T14:18:02z	31	36	10,04	16,515	19,92	20	44	4	8,005	8,825	
36	2024/01/16T14:20:02z	31	33	9,345	16,975	20,25	20	44	4,53	8,81	9,95	
37	2024/01/16T14:22:02z	31	34	5,54	13,18	17,725	19	45	6,96	11,76	12,945	
38	2024/01/16T14:24:02z	30	34	5,575	10,39	14,84	19	45	1,35	4,975	6,225	

Σχήμα 4.14: Τελική μορφή καταγραφής δεδομένων στο excel

Για την αλλαγή της παραπάνω μορφής (βλ. Σχήμα 4.13) θα πρέπει να επιλεγθεί η στήλη A και στην συνέχεια το μενού του Excel -> Δεδομένα -> Κείμενο σε στήλες -> Επόμενο -> Επιλέγουμε το κουτάκι που γράφει κόμμα -> Επόμενο -> Τέλος.

Το τελευταίο βήμα είναι η αποθήκευση του αρχείου σε μορφή excel worksheet.

Στην συνέχεια, με τον παρακάτω τύπο μετατρέψαμε τις τιμές της θερμοκρασίας από μονάδες Φαρενάιτ σε μονάδες Κελσίου:

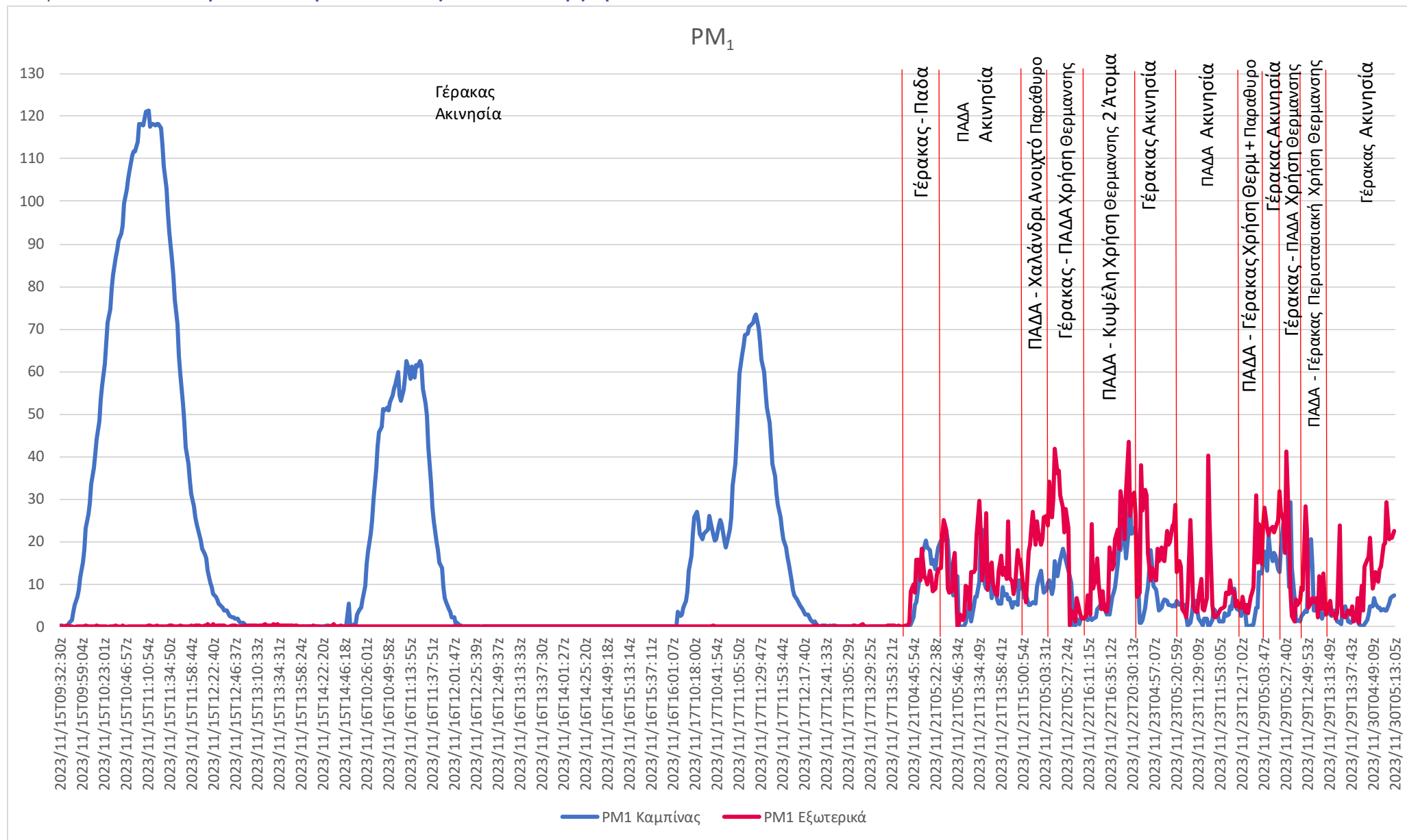
$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{F} - 32 / 1,8$$

Μετά, υπολογίσαμε τον μέσο όρο των μετρήσεων των δύο καναλιών του κάθε αισθητήρα για τα αιωρούμενα σωματίδια  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  και  $\text{PM}_{10}$ .

Και τέλος, δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα του εσωτερικού με του εξωτερικού αισθητήρα τα οποία θα είναι :

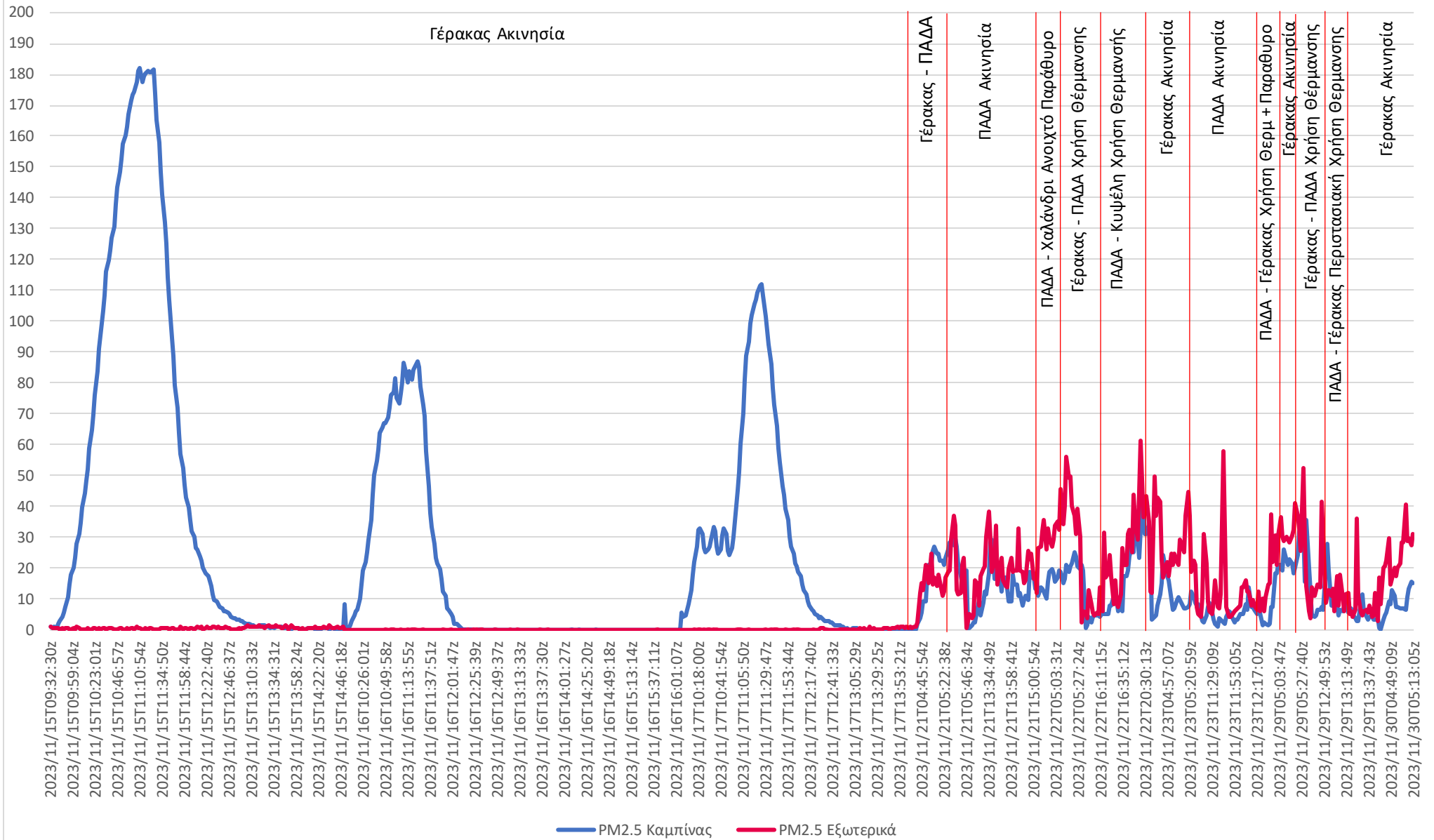
$\text{PM}_{10}$ - Χρόνος	$\text{PM}_{10}$ - Χρόνος	Υγρασίας - Χρόνος
$\text{PM}_{2.5}$ - Χρόνος	Θερμοκρασίας - Χρόνος	

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Παρουσίαση αποτελεσμάτων & ερμηνεία



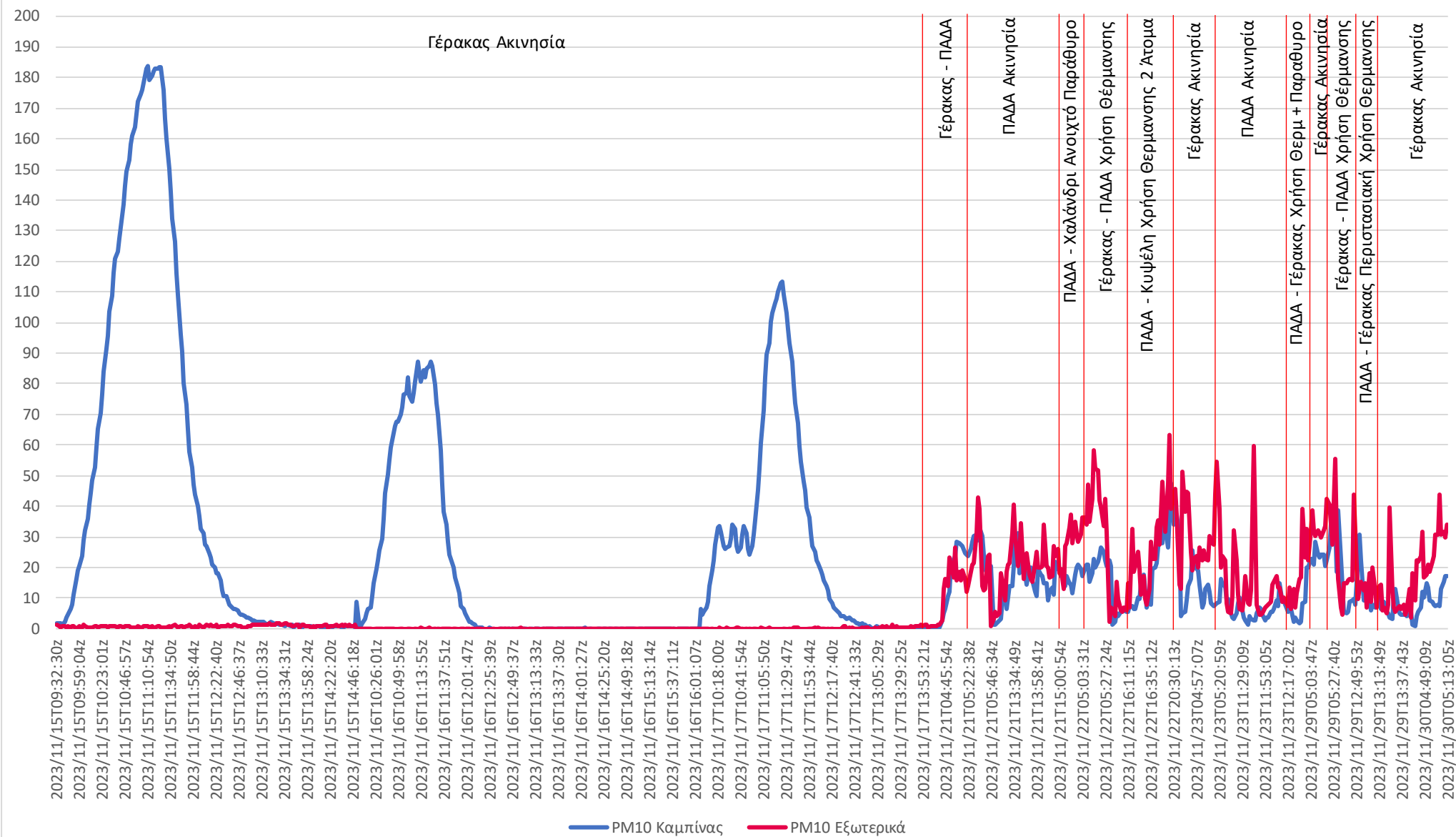
Διάγραμμα 1: Συγκέντρωση PM<sub>1</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Νοέμβριος 2023)

# PM<sub>2.5</sub>



Διάγραμμα 2: Συγκέντρωση PM<sub>2.5</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Νοέμβριος 2023)

# PM<sub>10</sub>



Διάγραμμα 3: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Νοέμβριος 2023)



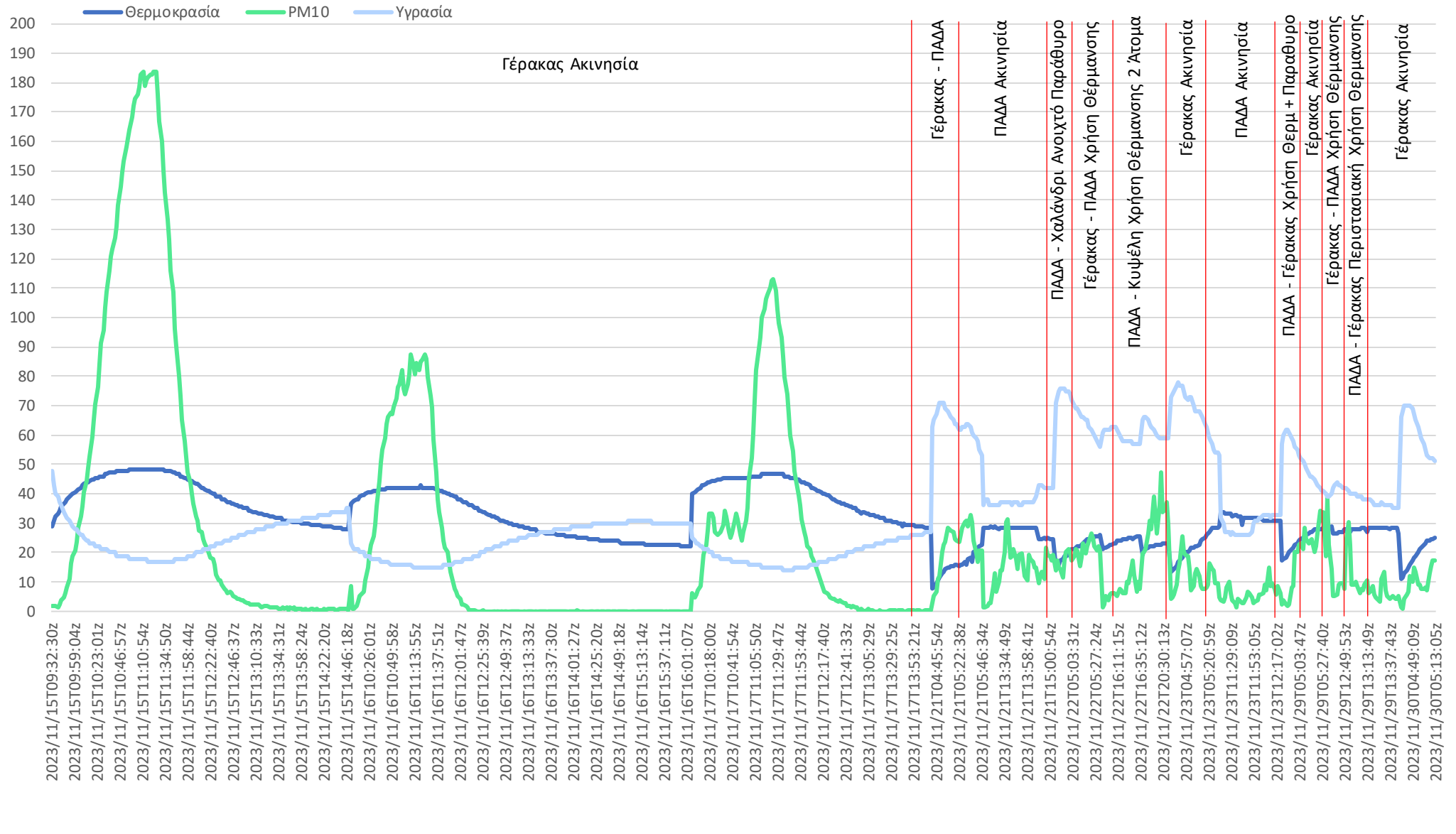
Εφαρμόζοντας τα μεθοδολογικά βήματα του προηγούμενου κεφαλαίου καταλήξαμε στις γραφικές παραστάσεις της παρούσας εργασίας, οι οποίες συγκρίνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων της καμπίνας με τα εξωτερικά.

### **Παρατηρήσεις:**

Οι παραπάνω τρεις γραφικές παραστάσεις συγκρίνουν τα αιωρούμενα σωματίδια της καμπίνας με αυτά που βρίσκονται εξωτερικά του μικρού ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Πρέπει να αναφέρουμε ότι ο εξωτερικός αισθητήρας λόγω κάποιο σφάλματος δεν κατέγραφε αιωρούμενα σωματίδια από τις 15/11/2023 έως και 17/11/2023 οπότε η σύγκριση τους σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι αδύνατη.

- Αρχικά, στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι τα εξωτερικά αιωρούμενα σωματίδια ήταν σε υψηλότερα επίπεδα από ότι στην καμπίνα του αυτοκινήτου.
- Όταν το αυτοκίνητο ήταν ακίνητο τα σωματίδια στην καμπίνα του παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα, εξαιρώντας την περίοδο 15/11/2023 έως και 17/11/2023, όπου ο αισθητήρας της καμπίνας έχει καταγράψει πολύ μεγάλες τιμές.
- Οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν όταν πραγματοποιούταν χρήση θέρμανσης και συγκεκριμένα όταν υπήρχαν δύο επιβάτες εντός του οχήματος, ενώ παρατηρείται ότι σε αυτές τις περιπτώσεις τα σωματίδια εξωτερικά του αυτοκινήτου ήταν επίσης αυξημένα. Συνεπώς, ενδέχεται οι υψηλές συγκεντρώσεις να οφείλονται σε αυτόν τον παράγοντα.
- Όταν το παράθυρο του οχήματος ήταν ανοιχτό -με χρήση θέρμανσης ή χωρίς-, τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν χαμηλότερα από τις άλλες περιπτώσεις.
- Όταν το παράθυρο ήταν κλειστό χωρίς να γίνεται χρήση θέρμανσης, τα αιωρούμενα σωματίδια είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις από όταν το παράθυρο ήταν ανοιχτό.
- Τέλος, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στην περιοχή της Κυψέλης, που βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας και χαρακτηρίζεται από μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

### Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Καμπίνας)



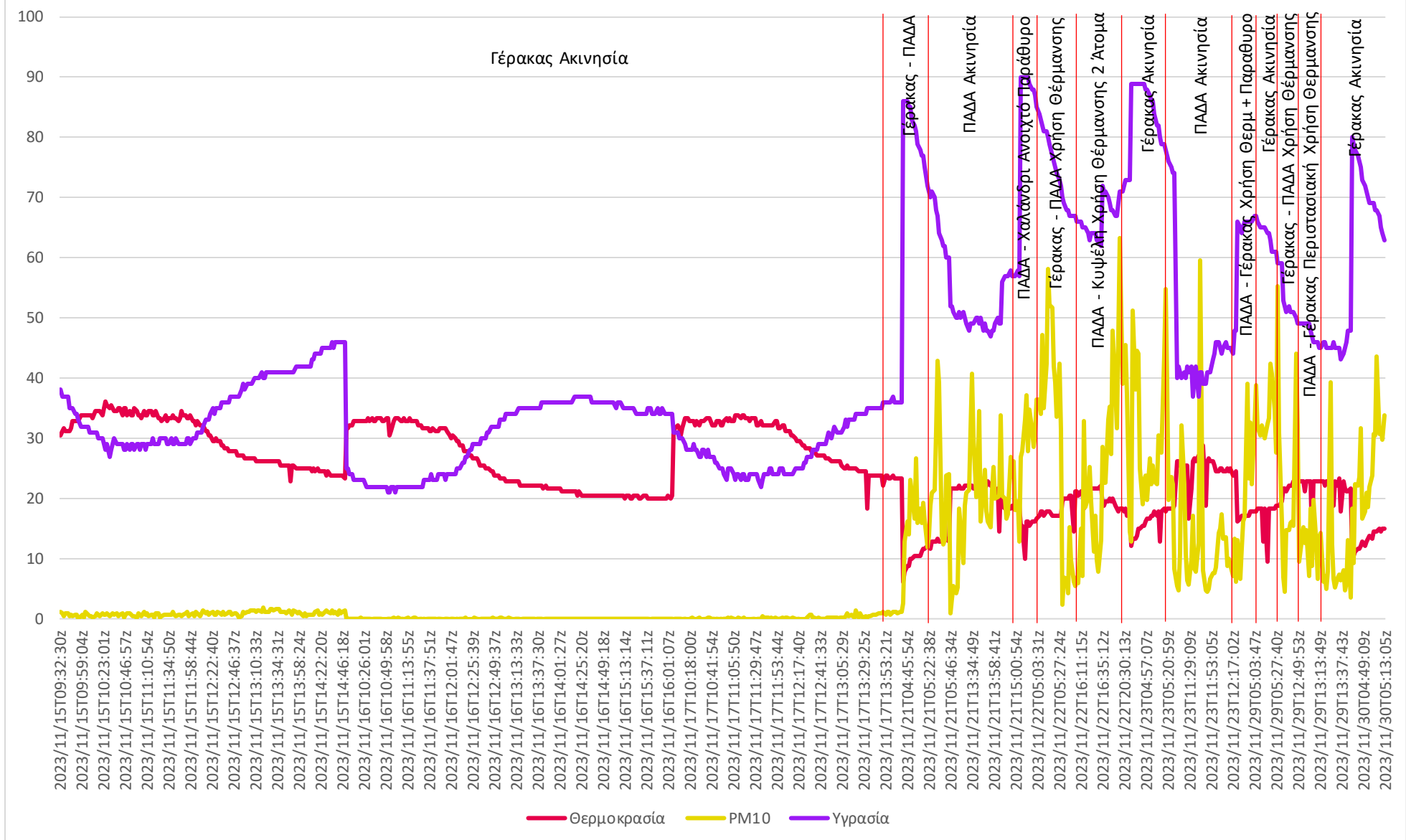
Διάγραμμα 4: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος ,θερμοκρασίας και υγρασίας (Νοέμβριος 2023)

## Παρατηρήσεις:

Η παραπάνω γραφική παράσταση παρουσιάζει τη σχέση των  $PM_{10}$  (τα οποία περιλαμβάνουν τα  $PM_{2.5}$  και τα  $PM_1$ ) με τη θερμοκρασία και την υγρασία της καμπίνας.

- Στο διάστημα 15/11/2023 μέχρι και 17/11/2023 καταγράφηκαν οι μέγιστες συγκεντρώσεις  $PM_{10}$ . Στο διάστημα αυτό το αυτοκίνητο ήταν κλειστό και βρισκόταν σε ακινησία. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια των πολύ υψηλών συγκεντρώσεων η θερμοκρασία στη καμπίνα του αυτοκινήτου ήταν αρκετά υψηλή (από  $40^{\circ}C$  έως  $50^{\circ}C$ ). Ενδεχομένως αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες να επηρέασαν τα υλικά της καμπίνας του αυτοκινήτου ή κάποιο αντικείμενο, που βρισκόταν μέσα σε αυτή και να δημιουργήθηκε απότομη αύξηση της συγκέντρωσης  $PM_{10}$ .
- Από τις 17/11/2023 και έπειτα η θερμοκρασία ήταν μεταξύ  $20^{\circ}C$  και  $30^{\circ}C$  και η υγρασία ήταν σε υψηλά επίπεδα, γεγονός που δεν φαίνεται να επηρέασαν τα αιωρούμενα σωματίδια  $PM_{10}$ .

### Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Εξωτερικά)

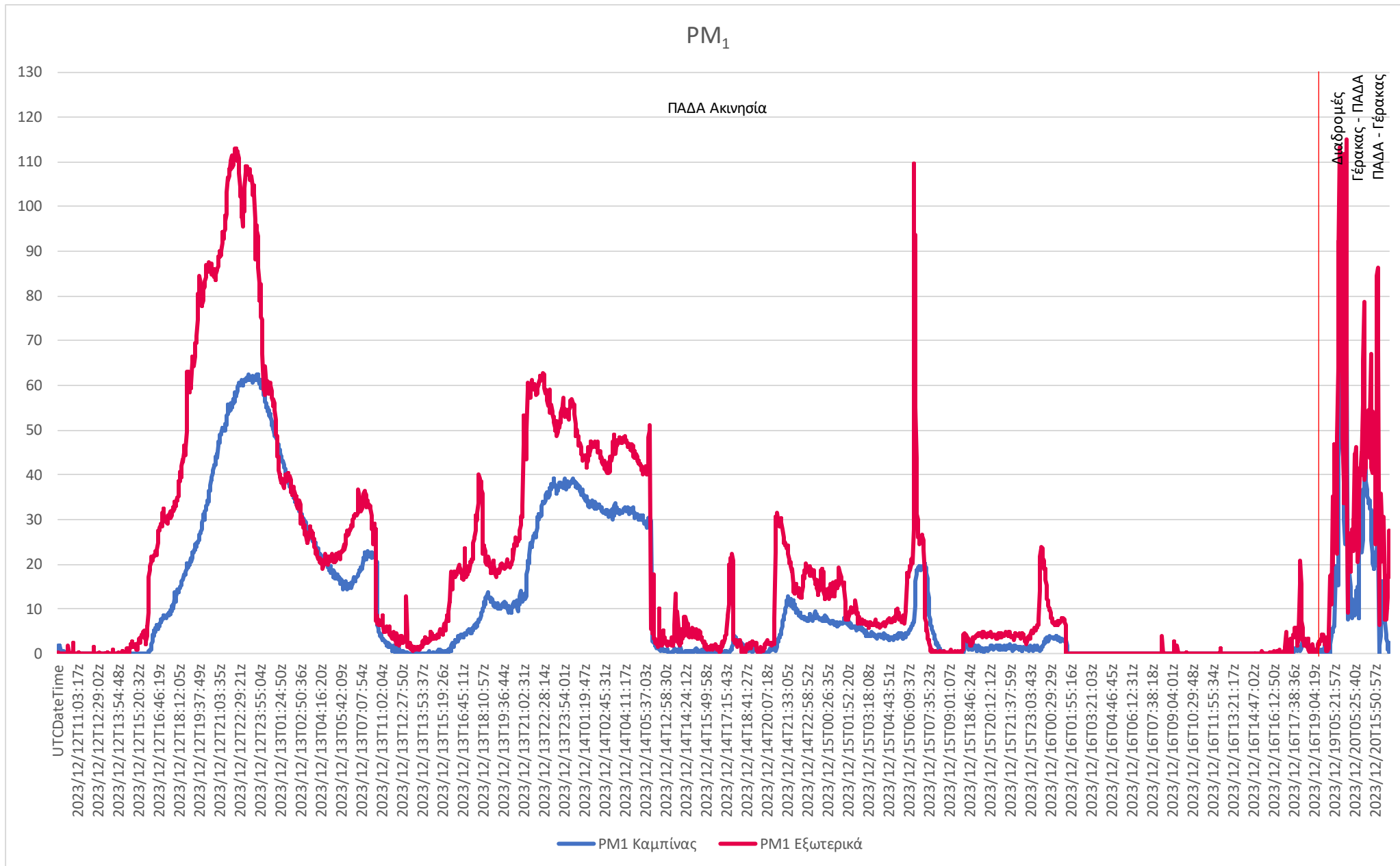


Διάγραμμα 5: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εξωτερικά του οχήματος ,θερμοκρασίας και υγρασίας (Νοέμβριος 2023)

## Παρατηρήσεις:

Η παραπάνω γραφική παράσταση παρουσιάζει την σχέση των  $PM_{10}$  (τα οποία περιλαμβάνουν τα  $PM_{2.5}$  και τα  $PM_1$ ) με την θερμοκρασία και την υγρασία εξωτερικά του αυτοκινήτου.

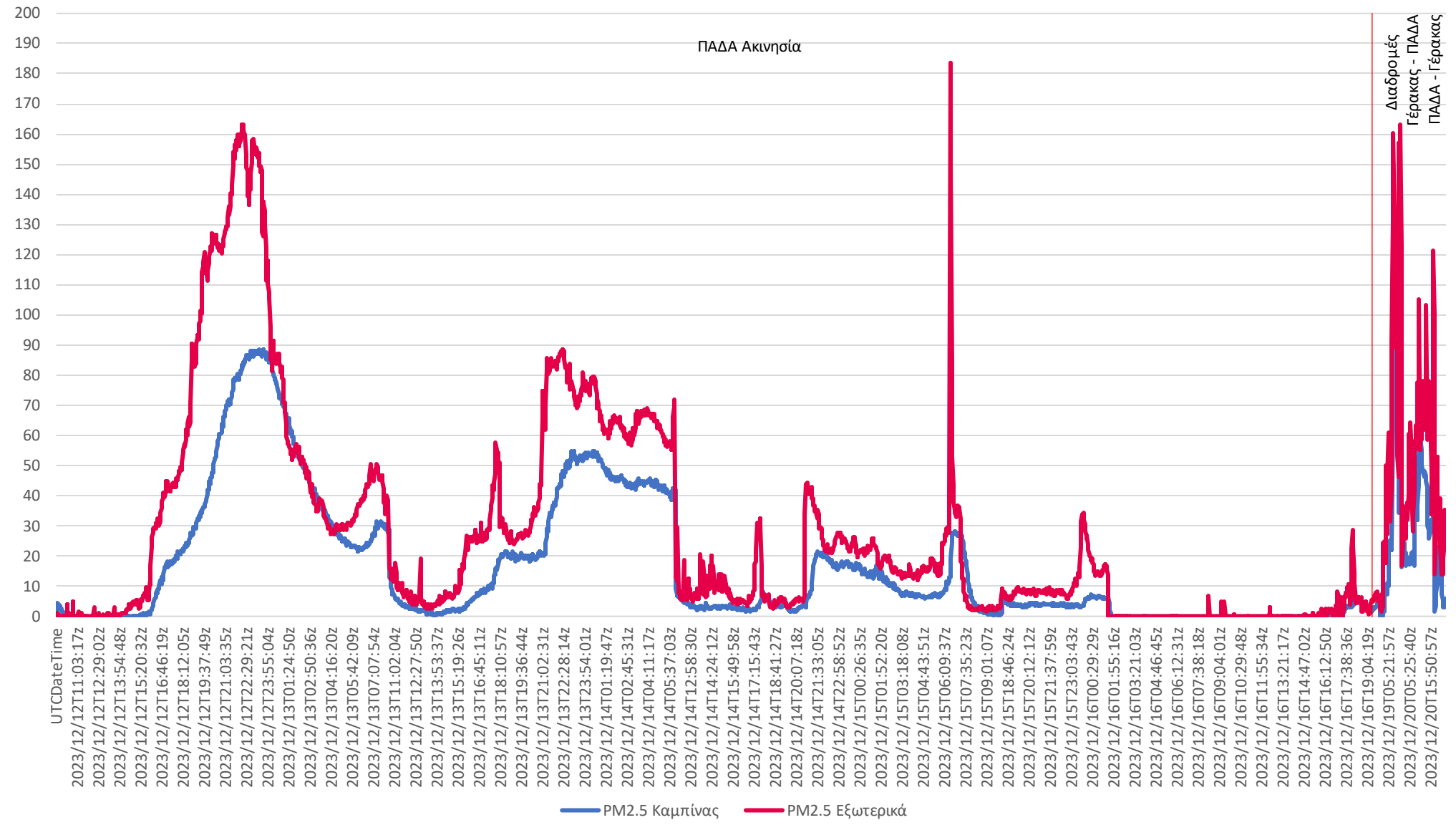
- Η θερμοκρασία δεν φαίνεται να επηρέασε την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις όπου η υγρασία είναι υψηλή τα σωματίδια έχουν υψηλότερη συγκέντρωση από ότι συνήθως.



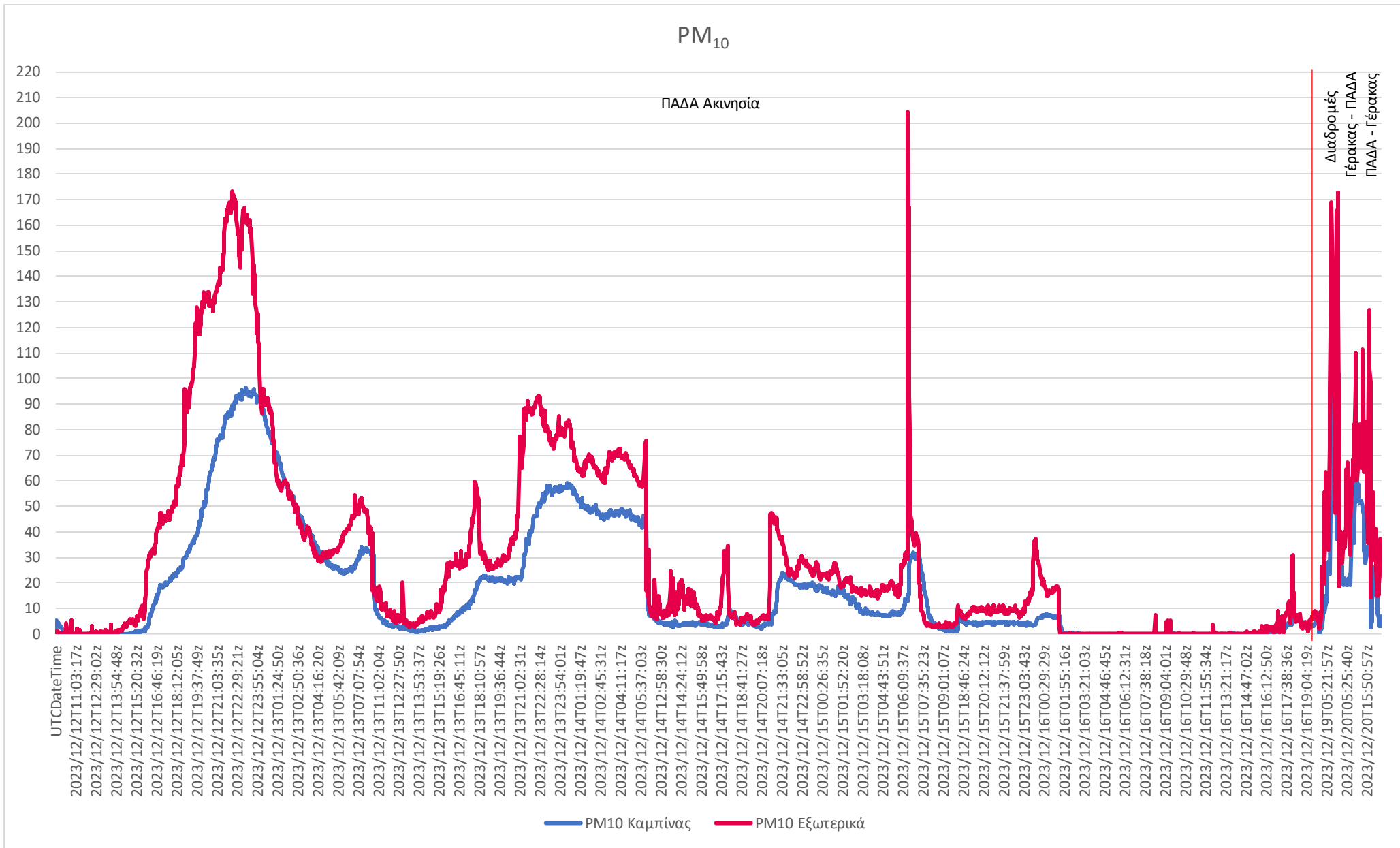
Διάγραμμα 6: Συγκέντρωση PM<sub>1</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Δεκέμβριος 2023)

# PM<sub>2.5</sub>

ΠΑΔΑ Ακινήσια



Διάγραμμα 7: Συγκέντρωση PM<sub>2.5</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Δεκέμβριος 2023)



Διάγραμμα 8: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Δεκέμβριος 2023)



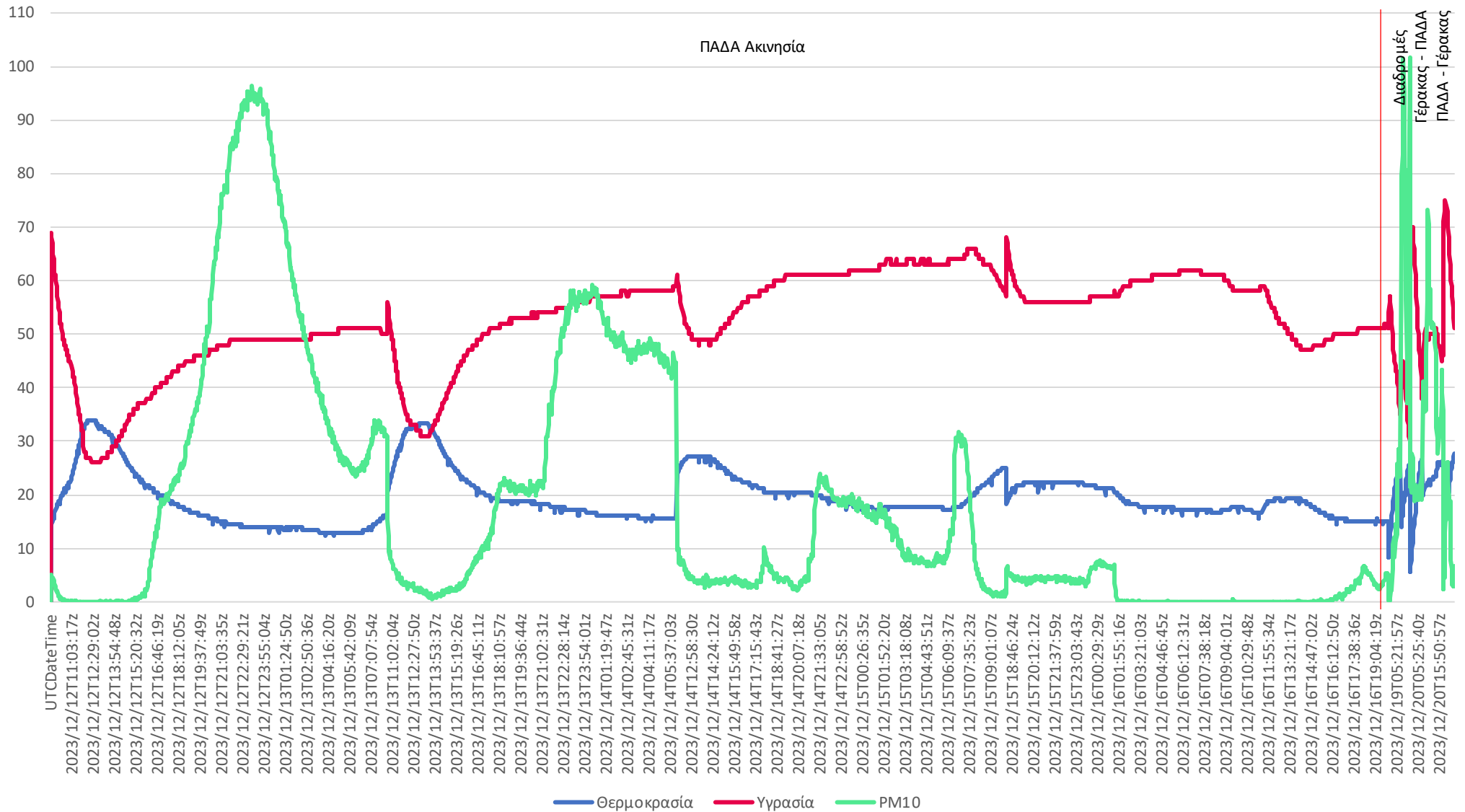
## Παρατηρήσεις:

Οι παραπάνω τρεις γραφικές παραστάσεις συγκρίνουν τα αιωρούμενα σωματίδια της καμπίνας με αυτά που βρίσκονται εξωτερικά του μικρού ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα των παραπάνω γραφικών παραστάσεων το όχημα ήταν σε ακινησία.

- Παρατηρείται αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων στην καμπίνα του οχήματος, παρότι το όχημα ήταν κλειστό. Ενδεχομένως, αυτό να οφείλεται στην διέλευση αιωρούμενων σωματιδίων μέσω των αεραγωγών και της βοήθειας του ανέμου.
- Κατά την διάρκεια των διαδρομών σημειώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των εξωτερικών αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλότερες από τα σωματίδια της καμπίνας.

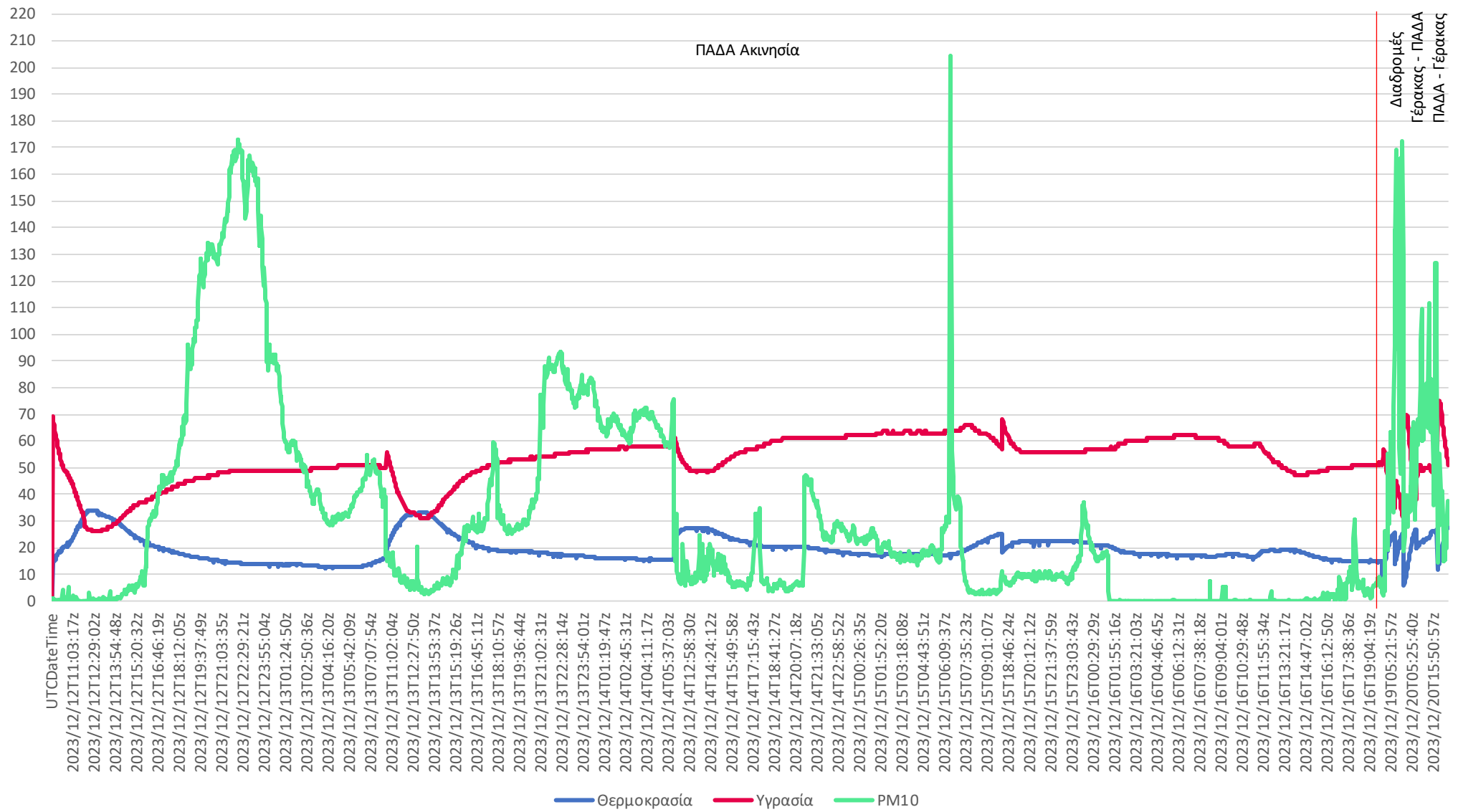
### Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Καμπίνας)

ΠΑΔΑ Ακηνησία



Διάγραμμα 9: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος ,θερμοκρασίας και υγρασίας (Δεκέμβριος 2023)

### Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Εξωτερικά)

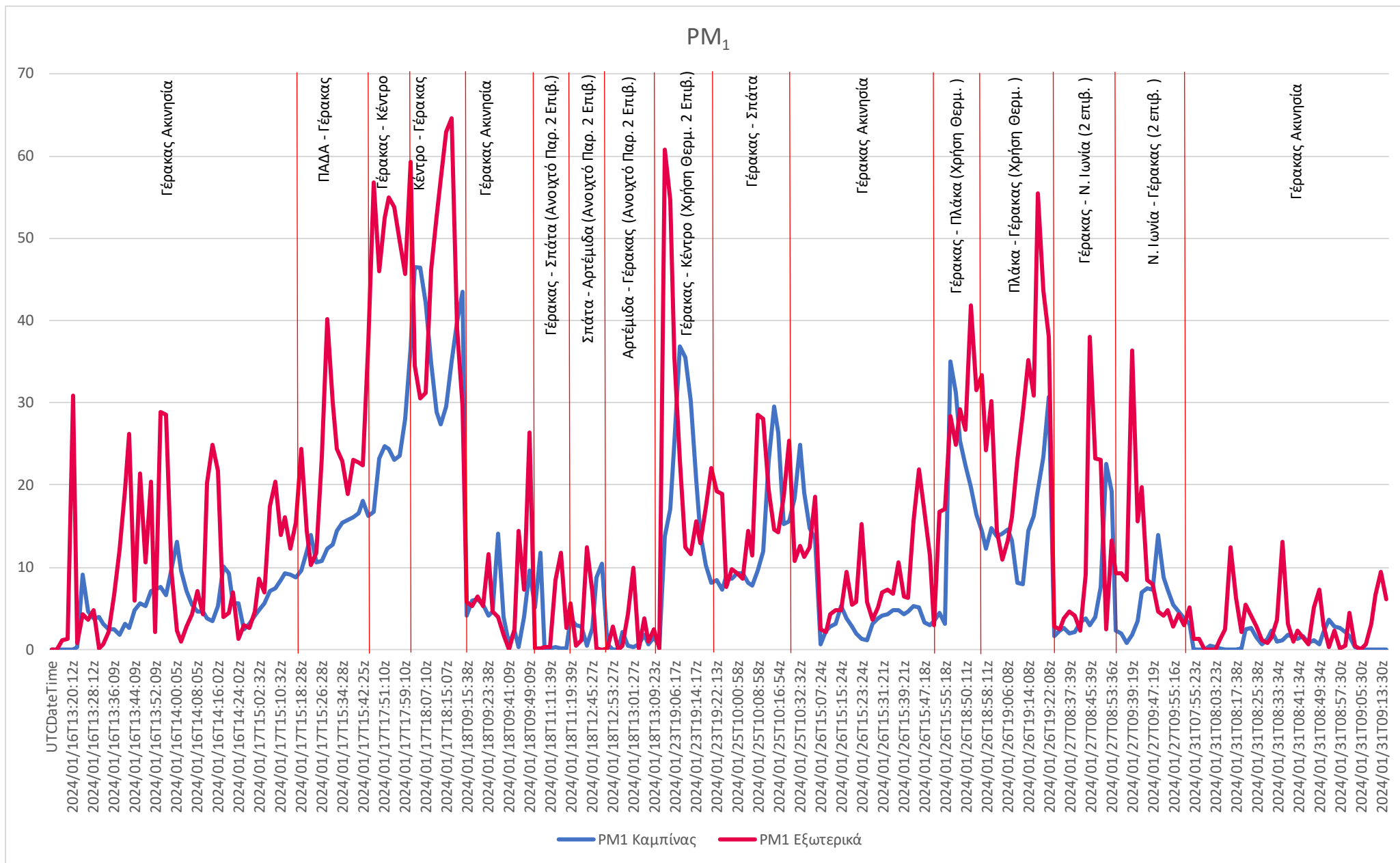


Διάγραμμα 10: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εξωτερικά του οχήματος ,θερμοκρασίας και υγρασίας (Δεκέμβριος 2023)

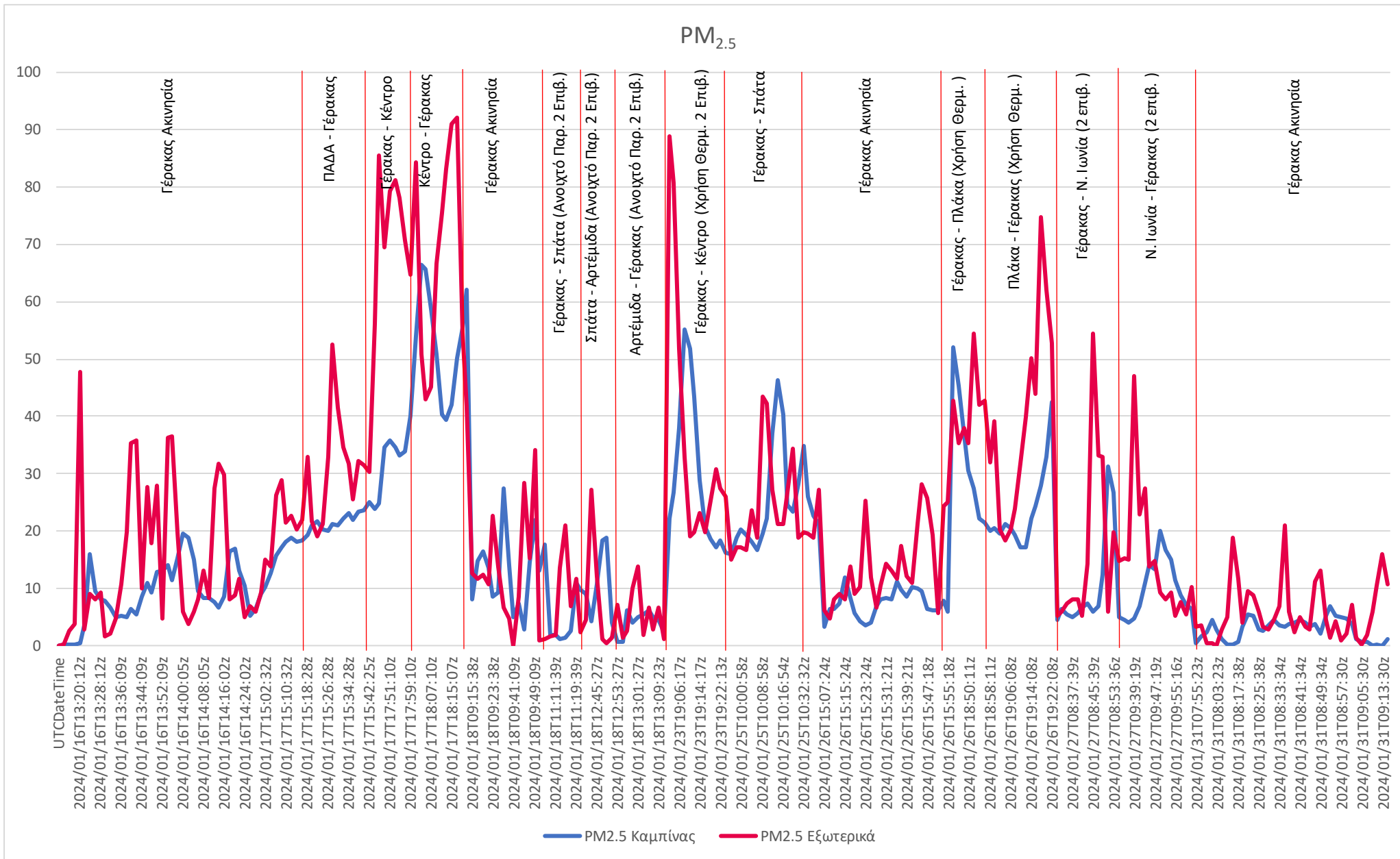
## Παρατηρήσεις:

Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρουσιάζεται η σχέση των  $PM_{10}$  (τα οποία περιλαμβάνουν τα  $PM_{2.5}$  και τα  $PM_1$ ) με την θερμοκρασία και την υγρασία εσωτερικά και εξωτερικά του αυτοκινήτου.

- Δεν παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας και της υγρασίας με την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.

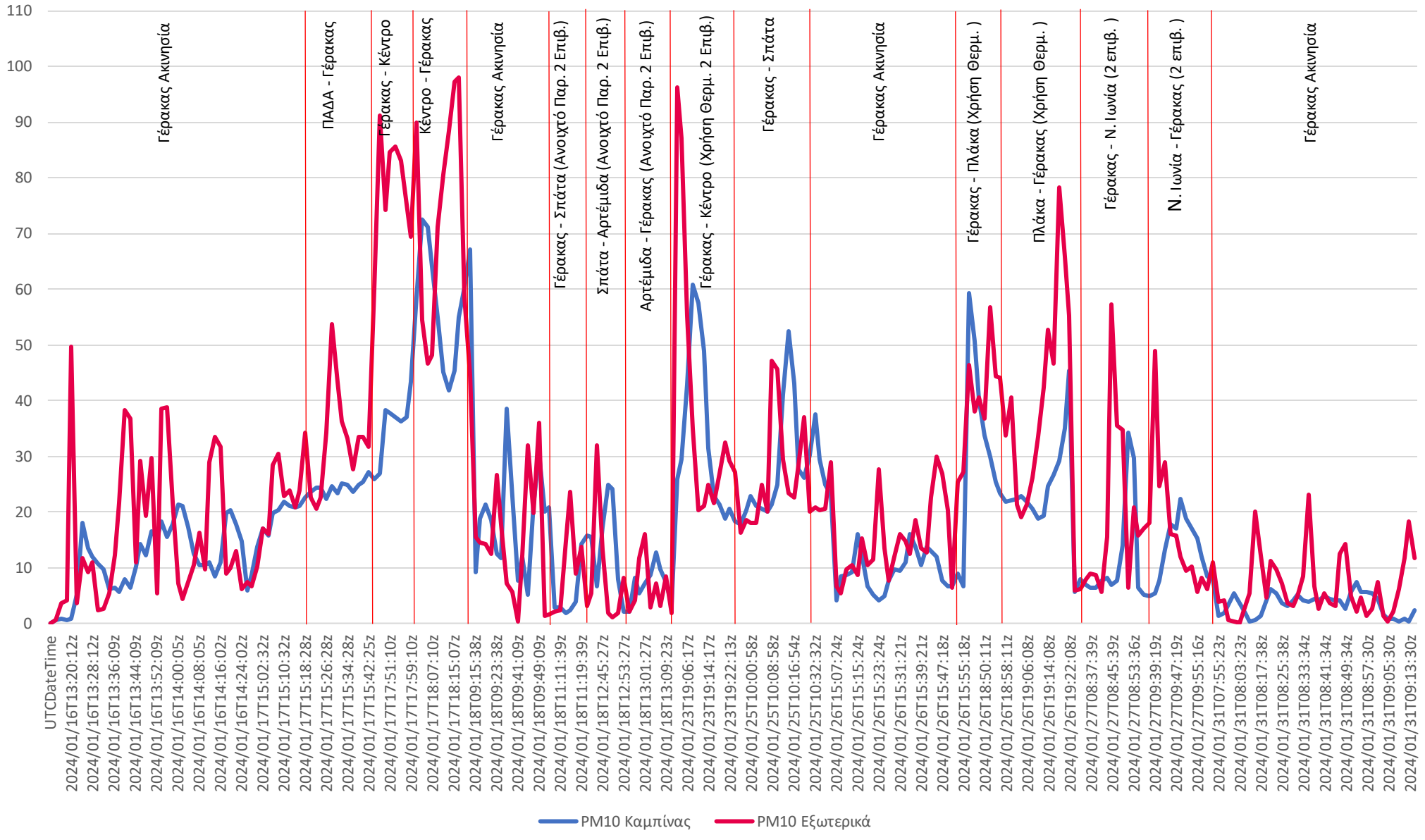


Διάγραμμα 11: Συγκέντρωση PM<sub>1</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Ιανουάριος 2024)



Διάγραμμα 12: Συγκέντρωση PM<sub>2.5</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Ιανουάριος 2024)

PM<sub>10</sub>



Διάγραμμα 13: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος & εξωτερικού ατμοσφαιρικού αέρα (Ιανουάριος 2024)

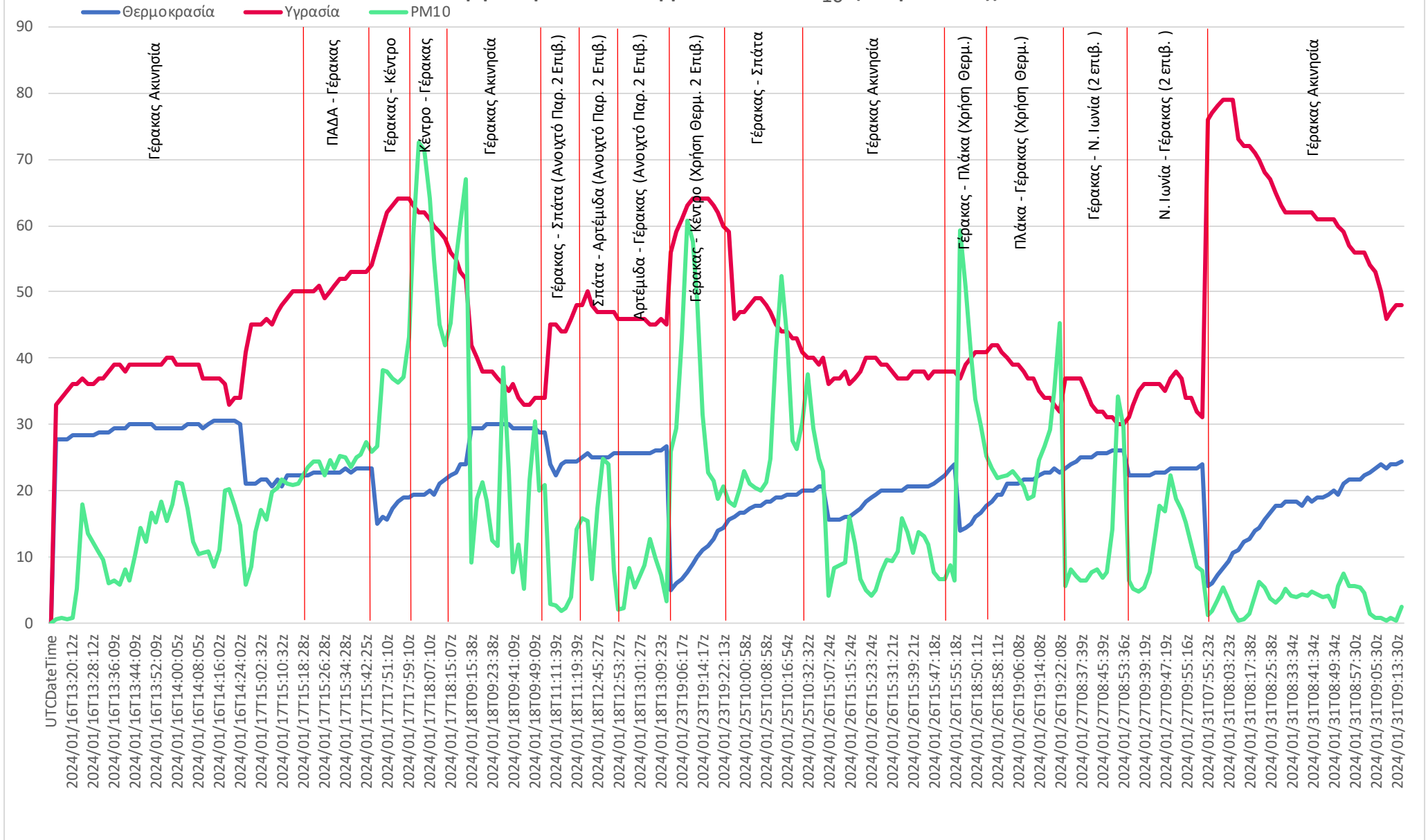
## Παρατηρήσεις:

Οι παραπάνω τρεις γραφικές παραστάσεις συγκρίνουν τα αιωρούμενα σωματίδια της καμπίνας με αυτά που βρίσκονται εξωτερικά του μικρού ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

- Τα εξωτερικά αιωρούμενα σωματίδια ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις σε υψηλότερα επίπεδα από τα εσωτερικά.
- Όταν το αυτοκίνητο πραγματοποιούσε διαδρομές στο κέντρο της πόλης παρουσιάστηκαν σημαντικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, σε επικύνδινα επίπεδα για την υγεία.
- Όταν το παράθυρο ήταν ανοιχτό τα PM της καμπίνας του οχήματος ήταν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα.
- Όταν στο όχημα επέβαιναν 2 άτομα δεν σημειώθηκε επίδραση στην συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο εσωτερικό της καμπίνας.
- Κατα τη χρήση της θέρμανσης τα αιωρούμενα σωματίδια εσωτερικά του αυτοκινήτου αυξήθηκαν σημαντικά.

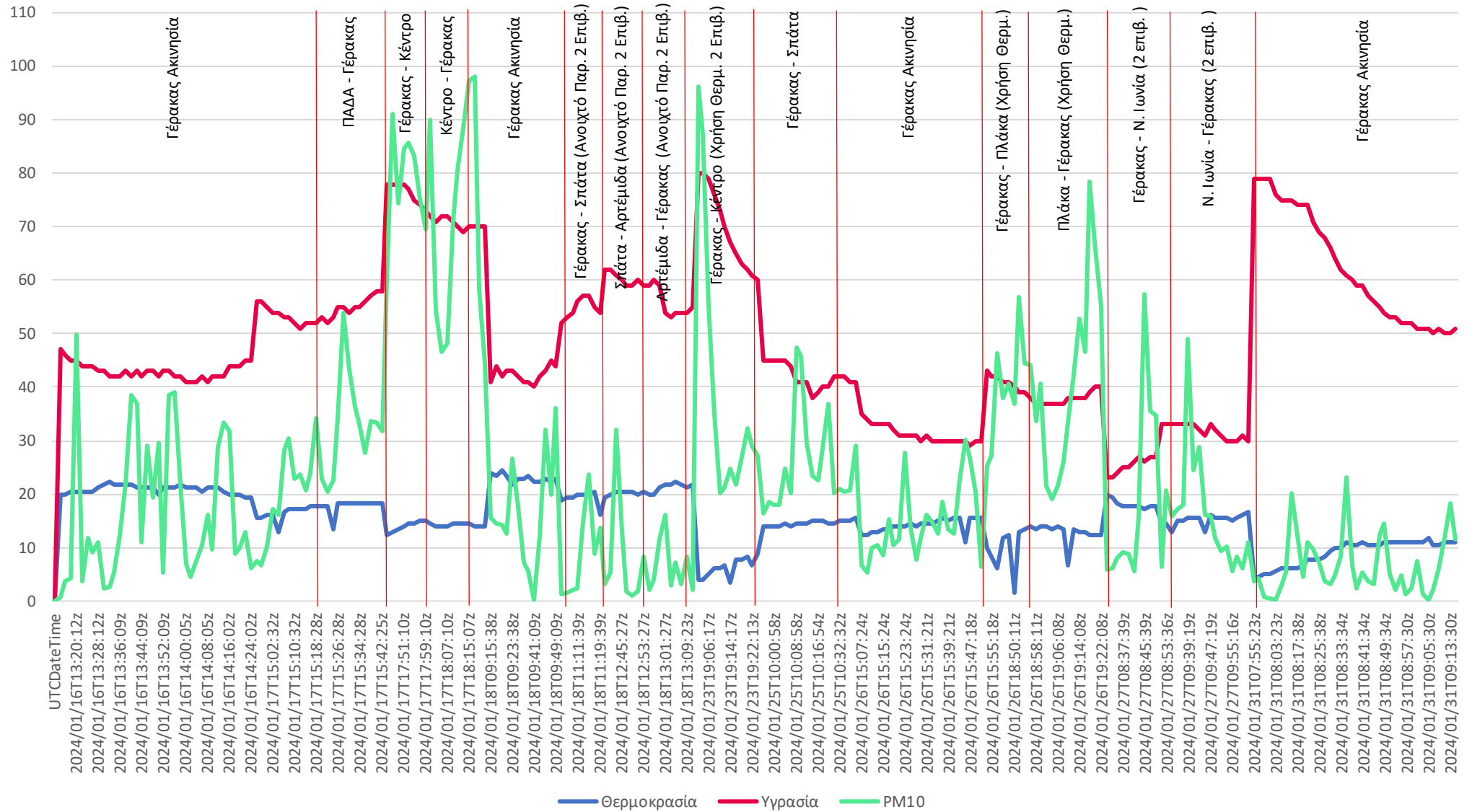


## Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Καμπίνας)



Διάγραμμα 14: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εντός καμπίνας οχήματος, θερμοκρασίας και υγρασίας (Ιανουάριος 2024)

## Θερμοκρασία - Υγρασία - PM<sub>10</sub> (Εξωτερικά)



**Διάγραμμα 15: Συγκέντρωση PM<sub>10</sub> εξωτερικά του οχήματος ,θερμοκρασίας και υγρασίας (Ιανουάριος 2024)**

### **Παρατηρήσεις:**

Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις παρουσιάζεται η σχέση των  $PM_{10}$  (τα οποία περιλαμβάνουν τα  $PM_{2.5}$  και τα  $PM_1$ ) με τη θερμοκρασία και την υγρασία εσωτερικά και εξωτερικά του αυτοκινήτου.

- Η θερμοκρασία δεν παρατηρήθηκε να συσχετίζεται με τις αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Η υψηλή υγρασία σε ορισμένες χρονικές στιγμές επηρέασε τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων, αυξάνοντας την.

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> Συμπεράσματα – Μελλοντική διερεύνηση

### 6.1. Συμπεράσματα

Η μελέτη αυτή ερευνά τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>) και τις μετεωρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία και υγρασία) τόσο εντός όσο και εκτός της καμπίνας ενός μικρού ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου. Χρησιμοποιώντας δύο σύγχρονους αισθητήρες, έγινε καταγραφή δεδομένων σε διάφορα σενάρια διαδρομών αλλά και στάθμευσης. Η μελέτη έδειξε ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν σημαντικά υψηλότερες στο εξωτερικό του αυτοκινήτου συγκριτικά με την καμπίνα. Η χρήση θέρμανσης επηρεάζει αρνητικά την συγκέντρωση των σωματιδίων στην καμπίνα του αυτοκινήτου. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι όταν το παράθυρο ήταν ανοιχτό η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν χαμηλότερη.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των συστημάτων φιλτραρίσματος αέρα στα αυτοκίνητα, αλλά και για την ενημέρωση των οδηγών και επιβατών σχετικά με την ποιότητα του αέρα εντός του οχήματος. Ακόμη, μπορούν να συμβάλουν και στην βελτίωση της δημόσιας υγείας.

### 6.2. Μελλοντική διερεύνηση

Για την εξέλιξη της μελέτης προτείνεται η επέκταση της σε διάφορους τύπους οχημάτων και συνθηκών οδήγησης, καθώς και η δοκιμή νέων συστημάτων φιλτραρίσματος αέρα στις καμπίνες των οχημάτων και η εξέταση της επίδρασης άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων (όπως η βροχόπτωση ή ο καύσωνας). Τέλος, συστήνεται η εκπόνηση μελετών σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές για να διαπιστωθεί η επίδραση των τοπικών συνθηκών στην ποιότητα του αέρα εντός των οχημάτων.

## Βιβλιογραφία-Αναφορές-Διαδικτυακές Πηγές

- [1]. **European Commission.** *Greece - Environmental Implementation Review 2022 (EL)*. September 2022. <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-09/Greece%20-%20EIR%20Country%20Report%202022%20%28EL%29.PDF>.
- [2]. **Kusaka, Hirofumi.** Air Quality in a Cleaner Energy World. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0009-x>.
- [3]. **Council of the European Union.** Air Pollution in the EU. 2023. <https://www.consilium.europa.eu/el/infographics/air-pollution-in-the-eu/#sources>.
- [4]. "Aquality." *Meteo Vyronas*. <https://meteovyronas.gr/aquality.html>.
- [5]. "World Air Quality Index (WAQI)." *WAQI Info*. <https://waqi.info/el/>.
- [6]. **Μπεργελές, Γεώργιος.** «Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης». Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2006. ISBN 9789602546604.
- [7]. **Λαζαρίδης Μιχάλης.** «Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας 2<sup>η</sup> έκδοση». Εκδόσεις Τζιόλα. ISBN 9789604182466.
- [8]. **Chandrappa, Ramesha, and Umesh Chandra Kulshrestha.** *Sustainable Air Pollution Management: Theory and Practice*. Springer, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21596-9>.
- [9]. **Manolas, Evangelos I.** «Το Φυσικό Περιβάλλον στην Αρχαία Ελλάδα». University of Thrace, 2010. ISBN: 978-960-89345-9-7.
- [10]. **Encyclopaedia Britannica.** Great Smog of London. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/event/Great-Smog-of-London>.
- [11]. **Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.** «Η Αιθαλομίχλη: Ιστορική Αναδρομή και Μέτρα Αντιμετώπισης.» 2013. [https://www.lsbtp.mech.ntua.gr/th\\_cost\\_intercomparison](https://www.lsbtp.mech.ntua.gr/th_cost_intercomparison).
- [12]. **Abi Esber, L., M. El-Fadel, I. Nuwayhid, and N. Saliba.** The Effect of Different Ventilation Modes on In-Vehicle Carbon Monoxide Exposure. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.036>.
- [13]. **Titos, G., H. Lyamani, M. Pandolfi, A. Alastuey, and L. Alados-Arboledas.** Identification of Fine (PM<sub>1</sub>) and Coarse (PM<sub>10</sub>) Sources of Particulate Matter in an Urban Environment. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.001>.
- [14]. **Li, Yang, Quanliang Chen, Hujia Zhao, Lin Wang, and Ran Tao.** Variations in PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1.0</sub> in an Urban Area of the Sichuan Basin and Their Relation to Meteorological Factors. <https://doi.org/10.3390/atmos6010150>.

- [15]. **Polichetti, Giuliano, Stefania Cocco, Alessandra Spinali, Valentina Trimarco, and Alfredo Nunziata.** 2009.Effects of Particulate Matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub>) on the Cardiovascular System. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>.
- [16]. **Millán-Martínez, María, Daniel Sánchez-Rodas, Ana M. Sánchez de la Campa, and Jesús de la Rosa.** 2022.Impact of the SARS-CoV-2 Lockdown Measures in Southern Spain on PM<sub>10</sub> Trace Element and Gaseous Pollutant Concentrations. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134853>.
- [17]. **Sanchis-Marco, Lidia, José-María Montero, and Gema Fernández-Avilés.** An Extended CAViaR Model for Early-Warning of Exceedances of the Air Pollution Standards. The Case of PM<sub>10</sub> in the City of Madrid February 22, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101355>.
- [18]. **Ponzano, Marta, and Irene Schiavetti.** The Impact of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> on Covid-19 Severity in a Sample of Patients with Multiple Sclerosis: A Case-Control Study. published online October 22, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.104243>.
- [19]. **Geiss, Otmar, Josefa Barrero-Moreno, Salvatore Tirendi, Dimitrios Kotzias.** Exposure to Particulate Matter in Vehicle Cabins of Private Cars. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2010.07.0054>.
- [20]. **Zhaowen Qiu, Wenyue Liu, H Oliver Gao & Jianghao Li.**(2019) Variations in exposure to in-vehicle particle mass and number concentrations in different road environments, Journal of the Air & Waste Management Association DOI: 10.1080/10962247.2019.1629357.
- [21]. **Tran, Phuong T.M., Mano Kalairasan, Peter F.R. Beshay, και Rajasekhar Balasubramanian.** In-Car Occupants' Exposure to Airborne Fine Particles under Different Ventilation Settings: Practical Implications. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120271>.
- [22]. **Molden, Nick, Carl Hemming, Felix Leach, James G. Levine, Karl Ropkins, και William Bloss.** Exposures to Particles and Volatile Organic Compounds across Multiple Transportation Modes. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15054005>.
- [23]. **Γεντεκάκης, Ιωάννης.** «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες 2η έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Οκτώβριος 2010.
- [24]. **Δρ. Μουστρής Κωνσταντίνος & Δρ. Γεώργιος Σπυρόπουλος.** «Ατμοσφαιρική Ρύπανση.» Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. <https://eclass.uniwa.gr/courses/MECH124/>.
- [25] **Johnson, Natalie M.** Air Pollution and Children's Health—A Review of Adverse Effects Associated with Prenatal Exposure from Fine to Ultrafine Particulate Matter. 2021. <https://doi.org/10.1186/s12199-021-00995-5>.

- [26] **Wan Mahiyuddin, Wan Rozita.** Cardiovascular and Respiratory Health Effects of Fine Particulate Matters (PM2.5): A Review on Time Series Studies. 2023 <https://doi.org/10.3390/atmos14050856>.
- [27] **"Isobar (Cartography)."** Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/isobar-cartography>.
- [28]. **National Weather Service.** Flight Environment. Last modified October 22, 2012. [https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU\\_Training\\_Page/winds/Wx\\_Terms/Flight\\_Environment.htm](https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/winds/Wx_Terms/Flight_Environment.htm).
- [29]. **Βραχόπουλος, Μιχάλης Γρ., και Δήμητρα Παπαδάκη.** «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων: Σκοπός, Πεδίο Εφαρμογής», Energy and Environmental Research Laboratory, N.K.U.A. – Department of Science, 16 Δεκεμβρίου 2022.
- [30]. **Σαρηγιάννης, Δημοσθένης** «Α. Διασπορά Ατμοσφαιρικών Ρύπων: Βασικές Ατμοσφαιρικές Διεργασίες και Μοντελοποίηση Ρύπανσης». Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [31]. **Kalume, Aimable, Chuji Wang, και Yong-Le Pan.** Optical-Trapping Laser Techniques for Characterizing Airborne Aerosol Particles and Its Application in Chemical Aerosol Study. 2021: <https://www.mdpi.com/2072-666X/12/4/466>.
- [32]. **Environmental Protection Agency.** Overview of Greenhouse Gases. Ιούλιος 2020. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/cs6ch2.pdf>.
- [33]. **Rastmanesh, Afagh, Jayanta S. Boruah, Min-Seok Lee, και Seungkyung Park.** On-Site Bioaerosol Sampling and Airborne Microorganism Detection Technologies. <https://doi.org/10.3390/bios14030122>.
- [34]. **Whalley, Jacqueline, Sara Zandi.** Particulate Matter Sampling Techniques and Data Modelling Methods., Philip John Sallis. IntechOpen, 2016. <https://doi.org/10.5772/65054>.
- [35]. **Αισθητήρες, Purple Air.** <https://www2.purpleair.com/products/purpleair-flex>
- [36]. **Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο.** <https://ecocar.city/wp-content/uploads/2023/06/ECOCAR-CITY-ENTYPO-ME-KSAKRISMA-LR.pdf>