

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη της προσωπικής έκθεσης και δόσης από αιωρούμενα
σωματίδια και των πηγών τους στο αστικό περιβάλλον»**

ΣΠΑΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή:

Μιχάλης Λαζαρίδης (επιβλέπων)

Νικόλαος Καλογεράκης

Διονυσία Κολοκοτσά

Χανιά

Μάρτιος 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Μιχάλη Λαζαρίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος της εργασίας, για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε, καθώς και για αυτά που διδάχθηκα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου από αυτόν.

Επίσης, ευχαριστώ την υποψήφια Διδάκτορα Ελένη Μαμμή-Γαλάνη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα, επιπλέον, να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής που δέχθηκαν να συμμετέχουν σε αυτήν και να αξιολογήσουν την παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τον Λάμπρο, τον Δημήτρη και τα υπόλοιπα άτομα γύρω μου με τα οποία έχουμε μοιραστεί σημαντικές στιγμές.

Θέλω, επίσης, να ευχαριστήσω τη Βάσια για την παρότρυνση και την υπομονή που έδειξε μέχρι να ολοκληρωθεί η εργασία. Έκανε ότι μπορούσε για να πετύχω το στόχο μου και εύχομαι να της το ανταποδώσω.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου και την αδερφή μου για την εμπιστοσύνη, τη στήριξη και την υπομονή που έχουν δείξει όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα αποτελούν την πιο πολύπλοκη και ίσως πιο σημαντική κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων λόγω των πολλαπλών βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεών τους στο κλίμα, στη δημόσια υγεία και στη βιωσιμότητα των οικολογικών συστημάτων και των ιστορικών μνημείων. Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη της έκθεσης του ανθρώπου σε αιωρούμενα σωματίδια και την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία. Ένα πλήθος επιδημιολογικών μελετών έχει καταδείξει ότι τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και έχουν συνδεθεί με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα του ανθρώπινου πληθυσμού.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της προσωπικής έκθεσης ενός φοιτητή του Πολυτεχνείου Κρήτης σε αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μm (PM_{10}) καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και τον υπολογισμό της δόσης στο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης, γίνεται συσχέτιση μεταξύ των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων και των πηγών τους στα διάφορα μικροπεριβάλλοντα. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν συνεχείς και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις με τη χρήση ενός προσωπικού μετρητή έκθεσης, τον οποίο έφερε μαζί του ο φοιτητής. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ο φοιτητής ακολουθούσε το καθημερινό του πρόγραμμα, ενώ παράλληλα κρατούσε λεπτομερές ημερολόγιο των δραστηριοτήτων του. Η δειγματοληψία οδήγησε στην καταγραφή της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για δεκαπέντε ημέρες και στη συνέχεια έγινε ανάλυση των αποτελεσμάτων. Έπειτα, ακολούθησε ο καθορισμός της δόσης και συσσώρευσης των σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό και γαστρεντερικό σύστημα και στο αίμα, με τη βοήθεια του υπολογιστικού μοντέλου ExDoM, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων δεν ξεπέρασαν το όριο των $50 \mu\text{g m}^{-3}$, που έχει θεσμοθετηθεί από την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Πολλές φορές, ωστόσο, καταγράφηκαν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα σε καφετέριες και μπαρ με ενεργούς καπνιστές καθώς και στο σπίτι κατά τη διαδικασία του μαγειρέματος. Υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε συνδυασμό με αυξημένα επίπεδα δραστηριότητας του φοιτητή είχαν ως αποτέλεσμα υψηλή δόση στο αναπνευστικό του σύστημα. Τα σωματίδια αποτέθηκαν, κατά κύριο λόγο, στο ανώτερο

τμήμα του αναπνευστικού συστήματος, αν και ένα σημαντικό ποσοστό έφθασε μέχρι και την κυψελιδική περιοχή των πνευμόνων.

Abstract

Atmospheric particulate matter is the most complex and perhaps the most important category of air pollutants due to its multiple short- and long-term effects on climate, public health and sustainability of ecosystems and historic monuments. Over the last decades, there has been a considerable interest in studying human exposure to particulate matter and its impact on human health. Numerous epidemiological studies have shown that particulate matter has negative effects on health and has been associated with increased morbidity and mortality rates in human population.

The object of this diploma thesis is to study the personal exposure of a student of the Technical University of Crete to particulate matter with a maximum aerodynamic diameter of $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) throughout the day and estimate the dose to the respiratory tract. In addition, a correlation of the observed concentrations of particulate matter with their sources in various microenvironments has been established. For these purposes, continuous and repeated measurements were realized with the use of a personal exposure monitor carried by the student. During the measurements, the student followed his schedule, while at the same time he kept detailed time-activity diaries. Particulate matter concentrations were recorded during a fifteen-day period, followed by an analysis of the results. Subsequently, the dose and concentration of particulate matter in the human respiratory tract, the GI tract and the blood was determined with the use of the ExDoM (Exposure Dose Model), which has been developed in the Atmospheric Aerosols Laboratory of the Technical University of Crete.

Analysis of the results showed that particulate matter concentrations did not exceed the limit of $50\mu\text{g m}^{-3}$ per day, which has been established by the European legislation. In many cases, however, much higher concentrations were recorded throughout the day, especially in cafés and bars with active smokers, as well as inside the house during the cooking process. High concentrations of particulate matter in combination with increased exertion levels of the student led to a high dose to his respiratory tract. The particulate matter was primarily deposited in the upper respiratory tract, although a considerable amount reached the alveolar region of the lungs.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1°	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Ατμοσφαιρικά αεροζόλ	11
1.3 Αεροζόλ εσωτερικών χώρων	13
1.3.1 Εκπομπές	13
1.3.2 Χημική σύσταση	16
1.3.3 Βιοαεροζόλ	19
1.4 Μέτρηση αεροζόλ	20
1.5 Έκθεση των ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια	25
1.5.1 Το Αναπνευστικό Σύστημα	25
1.5.2 Παράμετροι Φυσιολογίας	26
1.5.3 Εναπόθεση σωματιδίων στο ΑΑΣ	27
Κεφάλαιο 2°	29
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία και σκοπός του πειράματος	29
2.2 Πειραματική διαδικασία	30
2.2.1 Προσωπικός μετρητής έκθεσης	30
2.2.2 SidePak AM510	30
2.2.3 Διεξαγωγή μετρήσεων με το SidePak	31
2.2.4 Βασικές τοποθεσίες(μικροπεριβάλλοντα) δειγματοληψίας	32
2.2.5 Τοποθέτηση του SidePak σε κλειστούς χώρους	36
2.2.6 Χρήση του SidePak σε ανοικτούς χώρους	37
2.2.7 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του SidePak	38
2.2.8 Προσκρουστήρας διαχωρισμού Andersen C.I.	38
2.2.9 Διεξαγωγή μετρήσεων με τον Andersen C.I.	39
2.2.10 Δειγματοληψία με τον Andersen C.I.	40
2.2.11 Το μοντέλο ExDoM	42
Κεφάλαιο 3°	43
3.1 Αποτελέσματα των μετρήσεων με το όργανο Sidepak	43
3.1.1 Εξίσωση διόρθωσης	43
3.1.2 Συνδυασμός δειγματοληψιών	44

3.1.3 Ημερολόγια καθημερινής δραστηριότητας και γραφήματα συγκέντρωσης	44
3.1.4 Αποτελέσματα και ανάλυση	49
3.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων με το όργανο Andersen C.I.	68
3.3 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον Andersen C.I.	69
3.4 Αποτελέσματα υπολογισμού δόσης με το μοντέλο ExDoM	72
Κεφάλαιο 4°	74
4.1 Συμπεράσματα	74
4.2 Προτάσεις	75
Βιβλιογραφία	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	105

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1. 1: Στατιστική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2008).	10
Σχήμα 1. 2: Προσωπική έκθεση ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων σε εσωτερικούς χώρους (Αναπροσαρμοσμένο από Ferro κ.ά., 2002).	14
Σχήμα 1. 3: Διεργασίες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους.....	16
Σχήμα 1. 4: Σύγκριση διαφορετικών ορισμών για το διαχωρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων.	20
Σχήμα 1. 5: Αρχή λειτουργίας οργάνου μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.	23
Σχήμα 1. 6: Σχέδιο ενός προσκρουστήρα διαχωρισμού.	25
Σχήμα 1. 7: Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος (ICRP, 1994)	26
Σχήμα 1. 8: Μηχανισμοί εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.....	28
Σχήμα 2.1 Ο προσωπικός μετρητής έκθεσης SidePak Model AM510	31
Σχήμα 2. 1: Το σπίτι, η Πολυτεχνειούπολη του ΠΚ και το κέντρο της πόλης των Χανίων (Πηγή: Google Maps, 2018).....	35
Σχήμα 2. 2: Η διαδρομή από το σπίτι στην Πανεπιστημιούπολη όπως καταγράφηκε από την εφαρμογή MapMyWalk για smartphones.	36
Σχήμα 2. 3: Andersen Cascade Impactor και εύρος τιμών κάθε σταδίου.....	39
Σχήμα 2. 4: Ζυγός ακριβείας Sartorius CP 225D	41
Σχήμα 3. 2: Χρονική κατανομή του κάθε μικροπεριβάλλοντος κατά μέσο όρο στη διάρκεια μίας ημέρας.....	49
Σχήμα 3. 3: Διάκριση των ποσοστών παραμονής σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Ένα μικρό ποσοστό αντιστοιχεί στα μέσα μεταφοράς	50
Σχήμα 3. 4: Γραφική απεικόνιση του συνόλου της δειγματοληψίας	51
Σχήμα 3. 5: Ένα εικοσιτετράωρο με τις μέσες τιμές συγκέντρωσης ανά λεπτό	52
Σχήμα 3. 6: Μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης PM ₁₀ συγκρινόμενες με το επιτρεπτό όριο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας.....	53
Σχήμα 3. 7: Διάγραμμα εύρους τιμών για το κάθε μικροπεριβάλλον στο σύνολο της δειγματοληψίας. Η μαύρη κουκκίδα καταδεικνύει τη μέση τιμή συγκέντρωσης, οι μεγάλες παύλες τις ακρότατες τιμές ενώ οι μικρές την τυπική απόκλιση.	54
Σχήμα 3. 8: Λεπτομέρεια του Σχήματος 3.7, όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι 400 μg m ⁻³	54
Σχήμα 3. 9: Συχνότητα (%) των μετρήσεων συγκέντρωσης PM ₁₀ . Κάθε σημείο αναφέρεται στη συχνότητα των συγκεντρώσεων που είναι μικρότερες ή ίσες με την αντίστοιχη τιμή του άξονα x.	56
Σχήμα 3. 10: Διάγραμμα εύρους τιμών για το μικροπεριβάλλον του σπιτιού και των βασικών δραστηριοτήτων σε αυτό. Η μαύρη κουκκίδα καταδεικνύει τη μέση τιμή συγκέντρωσης, οι μεγάλες παύλες τις ακρότατες τιμές ενώ οι μικρές την τυπική απόκλιση.	57
Σχήμα 3. 11: Λεπτομέρεια του Σχήματος 3.10, όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι 200 μg m ⁻³	58
Σχήμα 3. 12: Διάγραμμα εύρους τιμών σε εσωτερικούς χώρους με και χωρίς την παρουσία καπνιστών.....	59

Σχήμα 3. 13: Διάγραμμα εύρους τιμών στις αίθουσες διδασκαλίας και στο Μηχανογραφικό Κέντρο.....	60
Σχήμα 3. 4: Συχνότητα (%) των μετρήσεων συγκέντρωσης PM ₁₀ σε λεωφορεία και αυτοκίνητο. Κάθε σημείο αναφέρεται στη συχνότητα των συγκεντρώσεων που είναι μικρότερες ή ίσες με την αντίστοιχη τιμή του άξονα x.....	62
Σχήμα 3. 15: Χάρτης πρόγνωσης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων λόγω μεταφοράς σκόνης για τις 23.3.2016 από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.	65
Σχήμα 3.17: Φωτογραφία μέρους της πόλης των Χανίων στις 23.3.2016 με εμφανές το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης.	65
Σχήμα 3. 16: Δορυφορική φωτογραφία από τη NASA όπου φαίνεται η μεταφορά σκόνης στις 23.3.2016	65
Σχήμα 3. 18: Συγκέντρωση PM ₁₀ στις 23.3.2016 στην περιοχή του Ακρωτηρίου όπως καταγράφηκε από το σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης.....	66
Σχήμα 3. 19: Ανάδρομες τροχιές αερίων μαζών κατά τις 23.3.2016 στα Χανιά.....	67
Σχήμα 3.20: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από 24-ωρη μέτρηση στην Πλατεία Δικαστηρίων.	68
Σχήμα 3. 21: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από 24-ωρη μέτρηση στο σπίτι.....	68
Σχήμα 3. 22: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από τη δεύτερη 24-ωρη μέτρηση στο σπίτι. (Τα αποτελέσματα δεν χρησιμοποιήθηκαν)....	69
Σχήμα 3. 23: Η καθημερινή μεταβολή της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης PM ₁₀ και της αθροιστικής δόσης στο ΑΑΣ.....	72
Σχήμα 3. 24: Σχέση μεταξύ έκθεσης και δόσης αιωρούμενων σωματιδίων	72
Σχήμα 3. 25: Αθροιστική έκθεση και εφαρμοσμένη δόση PM ₁₀ στο ΑΑΣ την περίοδο της δειγματοληψίας.	73
Σχήμα 3. 26: Η εφαρμοσμένη δόση PM ₁₀ στα διάφορα μέρη του ΑΑΣ έπειτα από τις δεκαπέντε ημέρες έκθεσης.....	73

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. 1: Πηγές και εκπομπές ατμοσφαιρικών αεροζόλ σε παγκόσμιο επίπεδο. (Αναπροσαρμοσμένο από Hinds, 1999).....	12
Πίνακας 1. 2: Οργανολογία και μέθοδοι δειγματοληψίας σωματιδιακής ύλης. (Αναπροσαρμοσμένο από Nagda και Rector, 2001).....	21
Πίνακας 3. 1: Δραστηριότητα 2ης ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM ₁₀	48
Πίνακας 3. 2: Ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές συγκέντρωσης PM ₁₀ σε κάθε μικροπεριβάλλον.....	53
Πίνακας 3. 3: Ένταση της έκθεσης για κάθε μικροπεριβάλλον καθημερινά. Με έντονο χρώμα φαίνονται οι μέγιστες τιμές κάθε μικροπεριβάλλοντος στη διάρκεια των 15 ημερών	56
Πίνακας 3. 4: Ένταση της έκθεσης κάθε μικροπεριβάλλοντος από το σύνολο της δειγματοληψίας	56
Πίνακας 3. 5: Ένταση της έκθεσης κάθε μικροπεριβάλλοντος ή δραστηριότητας από το σύνολο της δειγματοληψίας	57

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Ως αεροζόλ ορίζεται ένα σταθερό αιώρημα στερεών ή υγρών σωματιδίων σε ένα ρευστό μέσο, που συνήθως είναι ο αέρας. Το ατμοσφαιρικό αεροζόλ περιλαμβάνει και το μέσο στο οποίο τα σωματίδια αιωρούνται, που είναι ο αέρας. Πολλές φορές η έννοια του αεροζόλ και των αιωρούμενων σωματιδίων ταυτίζεται στη βιβλιογραφία (Λαζαρίδης, 2015). Το μέγεθος των σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 1nm και 100μm. Τα αεροζόλ αποτελούν την πιο πολύπλοκη και ίσως πιο σημαντική κατηγορία ατμοσφαιρικών ρύπων, λόγω των πολλαπλών βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεών τους στο κλίμα, στη δημόσια υγεία και στη βιωσιμότητα των οικολογικών συστημάτων και των ιστορικών μνημείων.

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη μελέτη της έκθεσης του ανθρώπου σε αιωρούμενα σωματίδια και την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία. Μια σειρά επιδημιολογικών μελετών (Pope και Dockery, 2006; Krewski κ.ά., 2000; Dab κ.ά., 2001; Katsouyanni κ.ά., 2001) έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων και αυξημένης νοσηρότητας και θνησιμότητας του ανθρώπινου πληθυσμού. Τα εισπνεόμενα σωματίδια μπορούν επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως μειωμένη πνευμονική λειτουργία, αναπνευστικά προβλήματα και νευρολογικές διαταραχές (US EPA, 2004).

Η σωματιδιακή ύλη στην ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα μίγμα στερεών σωματιδίων και σταγόνων. Τα σωματίδια ποικίλουν τόσο στη συγκέντρωση όσο και στα φυσικά, χημικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Τα αιωρούμενα σωματίδια είτε εκπέμπονται και αιωρούνται άμεσα στην ατμόσφαιρα σε σωματιδιακή μορφή (μέσω ανθρωπογενών διεργασιών, διάβρωσης του εδάφους και στη συνέχεια αιώρησης λόγω ανέμου, σταγονιδίων της θάλασσας), είτε παράγονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα (συμπύκνωση, πυρηνοποίηση, χημική μετατροπή) (Λαζαρίδης, 2008). Μελετώντας τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι πάνω τους απορροφώνται ή προσκολλώνται διάφορα χημικά στοιχεία, ενώσεις καθώς και βιολογικοί ρυπαντές, τα οποία με αυτό τον τρόπο μετακινούνται σε τοπική έως και σε παγκόσμια κλίμακα.

Το μέγεθος του σωματιδίου αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς του, μαζί με τη χημική του σύσταση και τη μορφολογία. Και αυτό διότι

είναι καθοριστική παράμετρος για τη σύσταση, τις οπτικές ιδιότητες και τους μηχανισμούς εναπόθεσης του σωματιδίου. Το μέγεθος χαρακτηρισμού των αεροζόλ είναι η διάμετρος. Καθώς τα αεροζόλ διαθέτουν συνήθως περίπλοκα σχήματα, που ποικίλουν από εντελώς ακανόνιστα έως γεωμετρικά, έχει εισαχθεί η έννοια της ισοδύναμης διαμέτρου. Ως ισοδύναμη διάμετρος ορίζεται η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει τις ίδιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά με ένα μη σφαιρικό σωματίδιο ίδιου όγκου. Η ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος είναι μια πολύ χρήσιμη παράμετρος που αποτελεί τη διάμετρο μίας σφαίρας με πυκνότητα 1 g cm^{-3} που έχει την ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο.

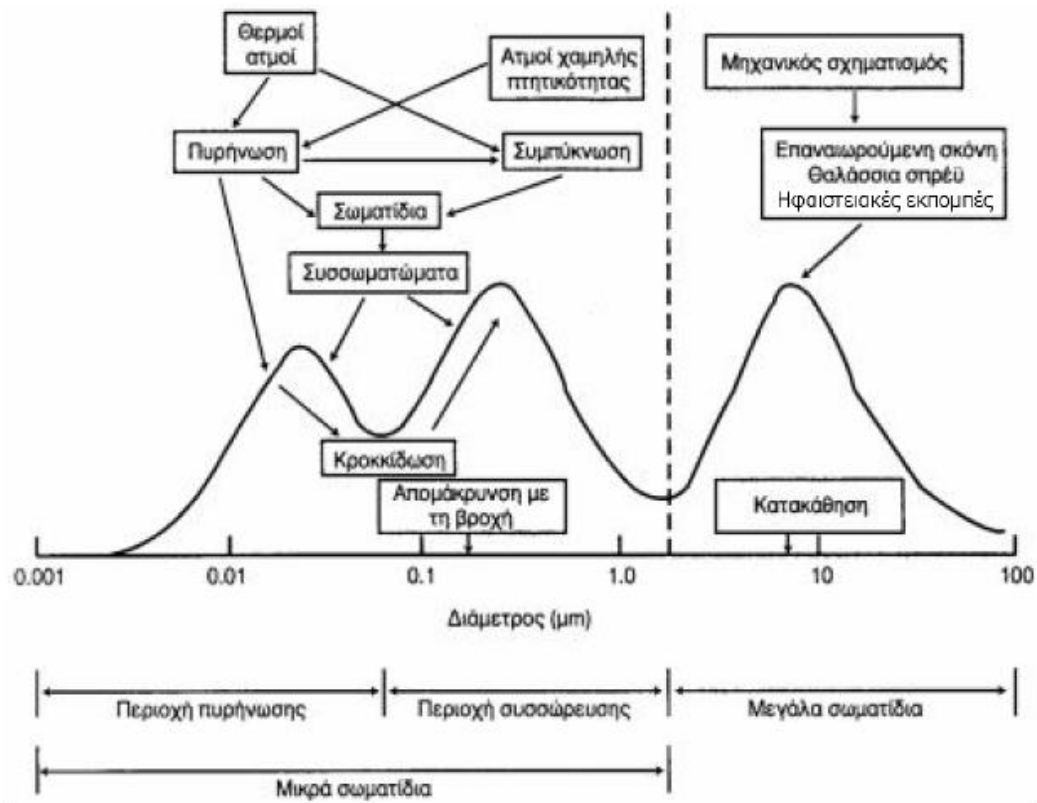
Ο συνηθέστερος διαχωρισμός είναι σε $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} , όπου ο δείκτης αναφέρεται στη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο (μm) των σωματιδίων της κατηγορίας. Ο διαχωρισμός συνδέεται με τη δυνατότητα των $\text{PM}_{2,5}$ να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα.

Γενικότερα, βάσει των παρατηρούμενων κατανομών, διακρίνονται οι κατηγορίες:

- *Μικροί πυρήνες (nucleation mode)* : Σωματίδια διαμέτρου $< 10 \text{ nm}$, τα οποία έχουν πολύ πρόσφατα σχηματιστεί μέσω διεργασιών πυρηνοποίησης. Τα κατώτερα όρια της κατηγορίας αυτής δεν είναι σαφώς διαχωρισμένα, συνήθως όμως θεωρούνται $> 3 \text{ nm}$.
- *Σωματίδια Άιτκεν (Aitkin mode)* : Σωματίδια διαμέτρου $10 \text{ nm} < d < 100 \text{ nm}$. Προέρχονται από την πυρηνοποίηση αερίων ή από σωματίδια πυρήνων ως αποτέλεσμα της αύξησης του μεγέθους τους.
- *Σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode)* : Σωματίδια διαμέτρου $0,1 \mu\text{m} < d < 1 \text{ έως } 3 \mu\text{m}$. Το άνω όριο συμπίπτει με το ελάχιστο στην κατανομή των ολικών σωματιδίων. Δημιουργούνται κατά τη συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων ή τη συμπύκνωση αερίων συστατικών. Το μέγεθος των σωματιδίων δεν αυξάνεται πέρα από την κατηγορία αυτή. Παράλληλα, οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των σωματιδίων στα μεγέθη αυτά είναι πολύ αργοί, με αποτέλεσμα τη συσσώρευσή τους στην περιοχή αυτή.
- *Υπέρλεπτα σωματίδια (ultrafine particles)* : Περιλαμβάνει τις κατηγορίες Aitkin mode και nucleation mode.
- *Λεπτά σωματίδια (fine particles)* : Περιλαμβάνει τις κατηγορίες πυρηνοποίησης (nucleation) Aitkin και περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode).

- *Χονδρά σωματίδια (coarse particles/mode)* : Σωματίδια διαμέτρων μεγαλύτερων από την ελάχιστη τιμή στην κατανομή των ολικών σωματιδίων (συνήθως $d > 1-3 \mu\text{m}$). (Λαζαρίδης, 2008)

Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζουμε επίσης την κατανομή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθός τους.



Σχήμα 1. 1: Στατιστική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων (Λαζαρίδης, 2008).

Η αρχική διάκριση των αιωρούμενων σωματιδίων σε λεπτά και χονδρά είναι καθοριστική καθώς τα σωματίδια αυτά διαφέρουν ως προς την προέλευση, τη χημική σύσταση, το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, τις διεργασίες απομάκρυνσης από την ατμόσφαιρα αλλά και τις οπτικές ιδιότητες και τις επιδράσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Το μεγαλύτερο χρόνο παραμονής έχουν τα σωματίδια με μέγεθος 0,1-2μm που βρίσκονται στην κατηγορία συσσώρευσης.. Οι πυρήνες Aitken έχουν σχετικά μικρό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα λόγω ταχύτατης συσσώματωσης σε σωματίδια της περιοχής συσσώρευσης. Επίσης, τα χονδρά σωματίδια απομακρύνονται σχετικά γρήγορα από την

ατμόσφαιρα καθώς χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες βαρυτικής καθίζησης (Seinfeld και Pandis, 1998). Τα λεπτά σωματίδια υπερισχύουν αριθμητικά έναντι των χονδρών σωματιδίων, λόγω όμως της πολύ μικρής μάζας τους αντιστοιχούν σε πολύ μικρό ποσοστό της ολικής μάζας των αεροζόλ. Αντίθετα, τα χονδρά σωματίδια αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα της επιφάνειας και της μάζας των αεροζόλ.

1.2 Ατμοσφαιρικά αεροζόλ

Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός, τόσο στη δυναμική της, όσο και στην επίδρασή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές οι ποσότητες της σωματιδιακής ρύπανσης είναι σημαντικές και η αριθμητική συγκέντρωσή τους φτάνει τα 10^7 με 10^8 σωματίδια/cm³.

Οι πηγές των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να είναι φυσικές ή ανθρωπογενείς. Σημαντικές φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα ηφαίστεια, το έδαφος, οι ωκεανοί και η καύση βιομάζας. Οι φυσικές εκπομπές υπερβαίνουν τις ανθρωπογενείς και επηρεάζουν τις ολικές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε παγκόσμια κλίμακα. Οι ανθρωπογενείς πηγές εντοπίζονται στις βιομηχανικές διεργασίες, στις διαφεύγουσες εκπομπές, στις μη βιομηχανικές καύσεις και στις εκπομπές από τα μέσα μεταφοράς (Λαζαρίδης, 2008).

Οι διαφεύγουσες εκπομπές περιλαμβάνουν ανθρωπογενείς εκπομπές σωματιδίων η προέλευση των οποίων δεν μπορεί να καθοριστεί επακριβώς (Seinfeld and Pandis, 1998), σχετίζεται όμως με την παραγωγή και επεξεργασία μεταλλικών προϊόντων, με εκπομπές σκόνης από τους δρόμους καθώς και με κατασκευαστικές και αγροτικές δραστηριότητες. Σε τοπικό επίπεδο οι διαφεύγουσες εκπομπές συχνά υπερβαίνουν των υπολοίπων, όμως η επίδρασή τους δε θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τα σωματίδια χαρακτηρίζονται από γρήγορη βαρυτική κατακρήμνιση.

Η προέλευση των λεπτών σωματιδίων σχετίζεται κυρίως με ανθρωπογενείς δραστηριότητες (καύσεις, φωτοχημικώς παραγόμενα σωματίδια). Τα χονδρά σωματίδια παράγονται στην πλειοψηφία τους από μηχανικές διεργασίες και αποτελούνται τόσο από ανθρωπογενή όσο και από φυσικά αεροζόλ (σωματίδια σκόνης, θαλάσσια υδροσταγονίδια). Στον Πίνακα 1.1 δίνονται οι παγκόσμιες εκπομπές αεροζόλ, όπου παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών είναι χονδρά σωματίδια ενώ η πλειοψηφία των εκπομπών προέρχονται από φυσικές πηγές, οι οποίες είναι περίπου εφταπλάσιες των ανθρωπογενών.

**Πίνακας 1. 1: Πηγές και εκπομπές ατμοσφαιρικών αεροζόλ σε παγκόσμιο επίπεδο.
(Αναπροσαρμοσμένο από Hinds, 1999)**

Υπολογισμένη Εκπομπή (Tg/yr)				
Πηγή	Χαμηλή	Υψηλή	Βέλτιστη	Κατηγορία Σωματιδίων
Φυσικές Πηγές				
<u>Πρωτογενείς Εκπομπές</u>				
Σκόνη εδάφους	1000	3000	1500	Κυρίως χοντρά
Θαλάσσιο αλάτι	1000	10000	1300	χοντρά
Ηφαιστειακή σκόνη	4	10000	30	χοντρά
Βιολογικό υλικό	26	80	50	χοντρά
<u>Δευτερογενείς Εκπομπές</u>				
Θειικά από βιογενή αέρια	80	150	130	λεπτά
Θειικά από εκπομπές SO ₂ από ηφαίστεια	5	60	20	λεπτά
Οργανικά από εκπομπές βιογενών Οργανικών Πτητικών Ενώσεων	40	200	60	λεπτά
Νιτρικά από NO _x	15	50	30	Λεπτά και χοντρά
Ολικά Φυσικών Πηγών	2200	23500	3100	
Ανθρωπογενή				
<u>Πρωτογενή αεροζόλ</u>				
Βιομηχανική σκόνη (εκτός στοιχειακού άνθρακα)	40	130	100	Λεπτά και χοντρά
Στοιχειακός άνθρακας	5	20	10	Κυρίως λεπτά
<u>Δευτερογενή αεροζόλ</u>				
Θειικά από εκπομπές SO ₂	170	250	190	λεπτά
Καύση βιομάζας	60	150	90	λεπτά
Νιτρικά από εκπομπές NO _x	25	65	50	Κυρίως χοντρά
Οργανικά από εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων	5	25	10	λεπτά

Ολικά Ανθρωπογενών Πηγών	300	650	450	
--------------------------------	-----	-----	-----	--

Τα αερολύματα ως προς τη χημική τους σύσταση αποτελούν έναν περίπλοκο συνδυασμό οργανικών και ανόργανων υλικών. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το είδος και η ένταση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και οι μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά τη σύσταση των αερολυμάτων.

Πιο αναλυτικά, τα λεπτά σωματίδια ως προς τη χημική τους σύσταση, αποτελούνται κυρίως από θειικά (SO_4^{2-}), νιτρικά (NO_3^-) και αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+), μεταβατικά στοιχεία (Cu, Mn, Zn, As, Ni, Pb), στοιχειακό άνθρακα (αιθάλη) και οργανικές ενώσεις που προέρχονται από διαδικασίες καύσης, από οχήματα και βιομηχανικές δραστηριότητες (Seinfeld και Pandis, 1998; IPCC, 2007; Wilson κ.ά., 1996; Tucker, 2000). Τα χονδρά αιωρούμενα σωματίδια περιέχουν κυρίως οξείδια μετάλλων που αποτελούν συστατικά του χώματος, άλατα και οργανικές ενώσεις βιογενούς προέλευσης Al, Si, Ca, Fe, K, Mn, Sr, Na, Cl, S σε κρυσταλλική και ιοντική μορφή. Τα αεροζόλ σε θαλάσσιες και παραθαλάσσιες περιοχές, όπως η περιοχή μελέτης αυτής της εργασίας εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων χλωριούχου νατρίου (NaCl).

1.3 Αεροζόλ εσωτερικών χώρων

1.3.1 Εκπομπές

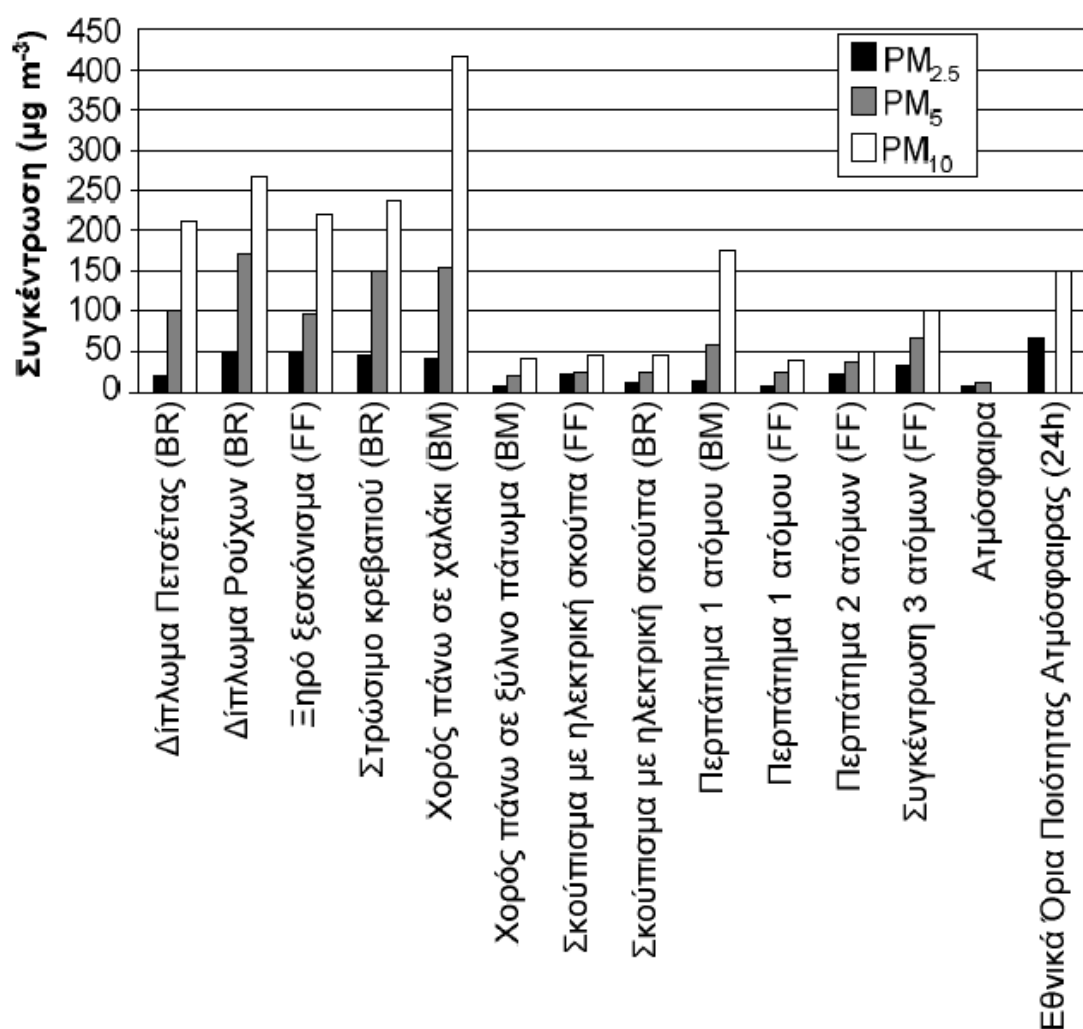
Τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους κατοικιών επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως από τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων εξωτερικού χώρου, το ρυθμό ανανέωσης του αέρα και κυρίως από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός των κατοικιών (He κ.ά., 2004).

Γενικά, αν δεν υπάρχουν πηγές σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους, τα επίπεδα ΑΣ τείνουν να απεικονίζουν αυτά των εξωτερικών χώρων. Για παράδειγμα οι Koutrakis κ.ά. (1992) αναφέρουν ότι το 60% της μάζας των σωματιδίων σε εσωτερικό χώρο κατοικιών που βρίσκονται σε δύο επαρχίες της Νέας Υόρκης προέρχονται από εξωτερικές πηγές.

Στην περίπτωση όμως που υπάρχουν εσωτερικές πηγές, η συμβολή τους στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις είναι σημαντική. Μερικές από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται εντός της κατοικίας συνεργούν κατά πολύ στην αύξηση των επιπέδων των ΑΣ. Τέτοιες είναι:

το κάπνισμα, το μαγείρεμα και η θέρμανση με σόμπες κηροζίνης μεταξύ άλλων (Tuckett κ.ά., 1998; Long κ.ά.,2000). Άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες που συνεισφέρουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των ΑΣ σε εσωτερικούς χώρους είναι η επαναιώρηση ΑΣ από την κίνηση ανθρώπων και κατοικίδιων, το ξεσκόνισμα, τη χρήση ηλεκτρικής σκούπας, τη χρήση υγραντήρων κ.α. (Monn κ.ά.,1995; Tucker, 2000)

Όπως αναφέρει και ο Λαζαρίδης (2008) , στο εσωτερικό περιβάλλον υπάρχουν πρωτογενείς εκπομπές σωματιδίων από διάφορες δραστηριότητες όπως εργασίες στην κουζίνα, κάπνισμα, επαναιώρηση σωματιδίων από σκούπισμα ή από την κίνηση των ανθρώπων μέσα στο σπίτι αλλά και εκπομπές σωματιδίων από υλικά του σπιτιού. Σημαντική συνεισφορά στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και αερίων ρύπων μέσα σε εσωτερικούς χώρους έχουμε και από τη διείδυση ρύπων από το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 1. 2: Προσωπική έκθεση ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων σε εσωτερικούς χώρους (Αναπροσαρμοσμένο από Ferro κ.ά., 2002).

Δραστηριότητες σε εσωτερικούς χώρους οδηγούν σε αύξηση της συγκέντρωσης ΑΣ όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Ακόμα και το στρώσιμο του κρεβατιού ή το δίπλωμα των ρούχων οδηγεί σε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων.

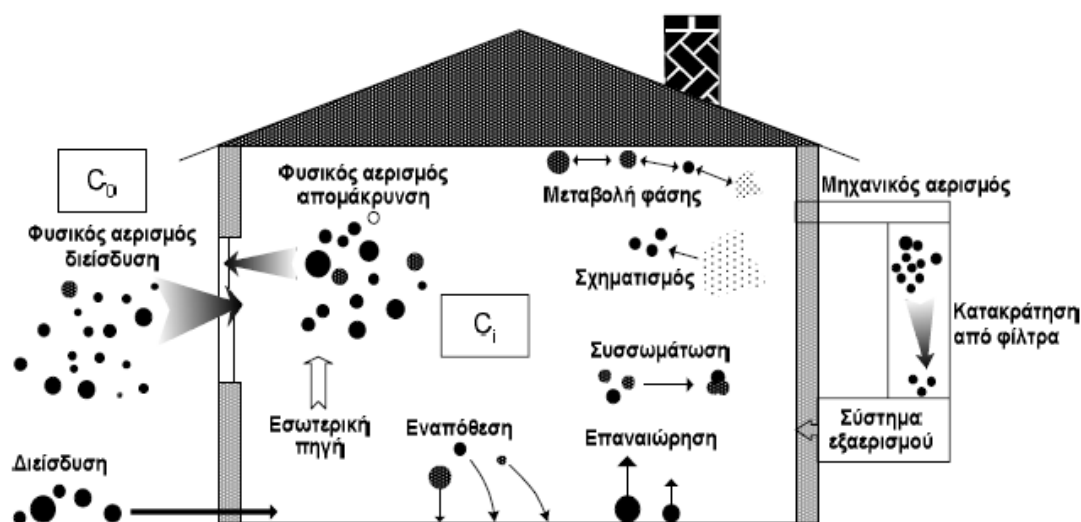
Όπως συμβαίνει και στους εξωτερικούς χώρους, έτσι και στους εσωτερικούς χώρους είναι γνωστό ότι, από τις δραστηριότητες που δρουν ως πηγές, οι διαδικασίες καύσης είναι οι κύριες πηγές λεπτών σωματιδίων, ενώ μηχανικές διεργασίες, όπως η επαναιώρηση σωματιδίων από την κίνηση των ανθρώπων, συμβάλλουν στην αύξηση των χονδρών σωματιδίων.

Πέρα από την πρωτογενή παραγωγή σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο, υπάρχει και η δευτερογενής παραγωγή. Αυτή είναι δυνατόν να συμβεί κατά τις χημικές αντιδράσεις ελεύθερων, απορροφημένων ή διαλυμένων αερίων (για παράδειγμα O_2 , H_2O , O_3 , ρίζες όπως $\cdot OH$ και $\cdot NO_3$, SO_2 , NO_x και βιογενών ή ανθρωπογενών υδρογονανθράκων). Οι διεργασίες δευτερογενούς παραγωγής σωματιδίων μπορούν να οδηγήσουν είτε στο σχηματισμό νέων σωματιδίων, είτε στην προσθήκη σωματιδιακής ύλης σε προϋπάρχοντα σωματίδια. Τέτοιες διεργασίες είναι η συμπύκνωση πρόδρομων αερίων ενώσεων (η οποία ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής), η πυρηνοποίηση αερίων χαμηλής πτητικότητας και η συσσωμάτωση. (Λαζαρίδης 2008).

Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης και το μέγεθος ενός αιωρούμενου σωματιδίου στην ατμόσφαιρα εσωτερικών χώρων επηρεάζονται από πληθώρα παραμέτρων, όπως οι συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, η εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον, χημικές αντιδράσεις, συμπύκνωση, εξάτμιση, συσσωμάτωση (coagulation), πυρηνοποίηση (nucleation), εκπομπές από εσωτερικές πηγές, βαρυτική καθίζηση, εναπόθεση και επαναιώρηση. (Λαζαρίδης, 2008)

Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές διεργασίες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους. Σωματίδια εισέρχονται στον εσωτερικό χώρο μέσω της διείσδυσης του αέρα με τον φυσικό αερισμό (πόρτες, παράθυρα) καθώς και μέσω της εισόδου ανθρώπων στο χώρο (παπούτσια, ρούχα). Η παραγωγή νέων σωματιδίων μπορεί να γίνει λόγω εσωτερικών πηγών καθώς και μέσω της πυρηνοποίησης πρόδρομων αερίων. Επίσης χημικές ενώσεις υπόκεινται σε μεταβολή φάσης μέσω των μηχανισμών της συμπύκνωσης ή εξάτμισης, ενώ το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να αλλάξει μέσω του μηχανισμού της συσσωμάτωσης. Η απομάκρυνση των ΑΣ από την ατμόσφαιρα ενός εσωτερικού χώρου πραγματοποιείται με την εναπόθεσή

τους σε επιφάνειες, με τον φυσικό αερισμό του χώρου ή και με την κατακράτηση στα φίλτρα από ένα σύστημα εξαερισμού.



Σχήμα 1. 3: Διεργασίες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς χώρους

1.3.2 Χημική σύσταση

Πριν εξετάσουμε τη χημική σύσταση των ΑΣ στο εσωτερικό περιβάλλον αξίζει να σημειωθούν δύο διαφορές μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Την πρώτη διαφορά συνιστά η ύπαρξη χαμηλότερων επιπέδων υπεριώδους ακτινοβολίας στο εσωτερικό περιβάλλον που καθιστούν την φωτοχημεία λιγότερο σημαντική. Τη θέση των φωτοχημικών αντιδράσεων παίρνουν ετερογενείς διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε σκοτεινούς χώρους. Η δεύτερη διαφορά είναι η ύπαρξη μεγάλων επιφανειών στο εσωτερικό περιβάλλον (τοίχοι, έπιπλα) που απορροφούν και εκπέμπουν χημικές ενώσεις που είναι χημικά ενεργές.

Οξειδία του Αζώτου

Η παρουσία οξειδίων του αζώτου στους εσωτερικούς χώρους είναι άμεσα συνδεδεμένη με πηγές καύσης. Συσκευές θέρμανσης καθώς και ο καπνός του τσιγάρου είναι οι πιο συνηθισμένες πηγές διοξειδίου του αζώτου. Όταν δεν υπάρχουν πηγές NOx στον εσωτερικό χώρο οι εσωτερικές και οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι παρόμοιες μιας και η απομάκρυνσή τους από επιφάνειες των εσωτερικών χώρων είναι μικρή.

Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (Volatile Organic Compounds-VOCs)

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις στους εσωτερικούς χώρους προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και εκπομπές από τα υλικά του κτιρίου. Πηγές τέτοιων ενώσεων είναι η μόνωση, χρωστικές και συγκολλητικές ουσίες, υφάσματα, πλαστικά, βερνίκια, γυαλιστικές ουσίες, αποσμητικά χώρου, καθαριστικά και φυσικά το τσιγάρο. Εξωτερικές πηγές μπορούν να αυξήσουν τη συγκέντρωση των VOCs σε έναν εσωτερικό χώρο, όπως για παράδειγμα τα αυτοκίνητα, κυρίως αν υπάρχει εσωτερικό γκαράζ στο σπίτι.

Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ) βρίσκονται στην ατμόσφαιρα προσροφημένοι στα σωματίδια σκόνης και αιθάλης ή ως συσσωματώματα με αυτά, ενώ, καθώς ανήκουν στην κατηγορία των ημιπτητικών οργανικών ενώσεων, μπορούν εύκολα να εξατμιστούν από στερεά ή από επιφάνειες υγρών προς την αέρια φάση(Λαζαρίδης, 2008). Οι ΠΑΥ είναι συνδεδεμένοι με τα λεπτά σωματίδια, που ανήκουν στο αναπνεύσιμο κλάσμα της σωματιδιακής ύλης, και επομένως υπάρχει η πιθανότητα να περάσουν διαμέσου της ρινικής κοιλότητας του αναπνευστικού συστήματος και να εισχωρήσουν βαθύτερα στους αεραγωγούς και τις κυψελίδες. Συνήθως σχηματίζονται κατά την ατελή καύση κάρβουνου, πετρελαίου, φυσικού αερίου καθώς και με τη θερμική επεξεργασία άλλων οργανικών υλικών (πχ. καπνός τσιγάρου, κρέας).

Η μεγάλη ποικιλία των χημικών αντιδράσεων που γίνονται με τη συμμετοχή οργανικών ενώσεων στον εσωτερικό χώρο μπορούν να διακριθούν σε ομογενείς και ετερογενείς. Οι ομογενείς χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν ανάμεσα σε μόρια που βρίσκονται στην αέρια φάση, μέσα στα στερεά αλλά και στα λεπτά στρώματα νερού που υπάρχουν στις επιφάνειες. Οι ετερογενείς χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν στις επιφάνειες του σπιτιού ή πάνω στα αιωρούμενα σωματίδια.

Ραδόνιο

Το ραδόνιο είναι ένα φυσικό ραδιενεργό στοιχείο σε μορφή αερίου που εκλύεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα. Το ραδόνιο μεταφέρεται στο εσωτερικό περιβάλλον με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος αφορά κυρίως εσωτερικούς χώρους που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, όπως υπόγεια σπιτιών, όπου το ραδόνιο εκλύεται από τα πετρώματα και εισέρχεται στους χώρους αυτούς. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω του νερού της βρύσης στο μπάνιο και ο τρίτος λόγω της παρουσίας ραδιενεργών υλικών στα δομικά υλικά κατασκευής του σπιτιού.

Η εισπνοή ραδονίου σε αέρια μορφή δεν είναι επικίνδυνη καθώς δεν απορροφάται από το σώμα και εκπνέεται. Όμως όταν διασπάται σε άλλα στερεά ραδιενεργά στοιχεία που

προσκολλώνται σε σωματίδια αεροζόλ, αυτά με την εισπνοή επικάθονται στο πνευμονικό επιθήλιο, διασπώνται και μπορεί να προκαλέσουν γενετικές βλάβες και καταστροφή στον ιστό των πνευμόνων.

Αμίαντος

Ο αμίαντος είναι μια ορυκτή ίνα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στην κατασκευή διαφόρων δομικών μονωτικών υλικών και άλλων προϊόντων ανθεκτικών σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι ίνες του αμιάντου αποτελούνται από μακρόστενα, λεπτά και εύκαμπτα ινίδια, ενώ το μέγεθός τους ποικίλει από 1 έως 12μm (Health Effects Institute, 1991). Η μικρή διάμετρος των ινών, η ανθεκτικότητα της δομής τους και κυρίως το πλήθος τους είναι μερικές ιδιότητες που συμβάλλουν στην επικινδυνότητα του αμιάντου για την ανθρώπινη υγεία.

Βαρέα Μέταλλα

Όταν μιλάμε για βαρέα μέταλλα συνήθως αναφερόμαστε σε ένα από τα παρακάτω: μόλυβδος (Pb), κάδμιο(Cd), υδράργυρος(Hg), χρώμιο(Cr), σίδηρος(Fe), χαλκός(Cu), μαγγάνιο (Mn), ασβέστιο (Ca), αρσενικό(As), νικέλιο(Ni), αλουμίνιο(Al) και βηρύλλιο(Be). Μέταλλα ανιχνεύονται τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα χονδρόκοκκα σωματίδια της ατμόσφαιρας, με τα λεπτόκοκκα να περιέχουν τα βαρέα και πιο επικίνδυνα μέταλλα που έχουν μάλιστα μεγάλο χρόνο αιώρησης. Πολλά εκ των βαρέων μετάλλων έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και μπορούν να επιφέρουν τοξικά αποτελέσματα ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις.

Φορμαλδεΐδη

Η φορμαλδεΐδη είναι μια πτητική οργανική ένωση (HCHO) που χρησιμοποιείται ευρέως ως μονωτικό, κόλλα και προστατευτικό για ξύλινα υλικά. Η είσοδός της στους εσωτερικούς χώρους σπιτιών γίνεται από τις ενώσεις των τοίχων με το πάτωμα, τα παράθυρα, τις πόρτες αλλά και από τις ηλεκτρικές πρίζες. Σημαντική πηγή είναι και ο καπνός του τσιγάρου που μπορεί να περιέχει μέχρι και 40ppm φορμαλδεΐδης. Η έκθεση στην ουσία αυτή γίνεται μέσω της εισπνοής. Σε περίπτωση που η φορμαλδεΐδη απορροφηθεί σε αιωρούμενα σωματίδια τότε μπορεί να εισέλθει σε κατώτερα τμήματα της αναπνευστικής οδού όπως οι πνεύμονες.

Φυτοφάρμακα

Τα φυτοφάρμακα καθώς και τα παρασιτοκτόνα (εντομοκτόνα και απολυμαντικά) αποτελούν πολύ συνηθισμένους ρύπους στο εσωτερικό περιβάλλον κατοικιών. Τα περισσότερα από αυτά είναι συνθετικές χημικές ουσίες είτε ανόργανης είτε οργανικής σύστασης. Χρήση τους μπορεί να γίνει είτε μέσα στο σπίτι, οπότε η έκλυσή τους είναι άμεση, είτε και στους χώρους γύρω από το σπίτι από όπου και εισέρχονται μέσω των σωματιδίων αιωρούμενης σκόνης καθώς και μέσω την ενδυμασίας και των υποδημάτων.

Καπνός του τσιγάρου

Ο καπνός του τσιγάρου αποτελείται από ένα μίγμα αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων. Τα αέρια είναι προϊόντα της καύσης ενώ τα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από πίσσα, νικοτίνη και οργανικές χημικές ενώσεις που έχουν χαμηλή πτητικότητα και εναποτίθενται στα προϋπάρχοντα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η πίσσα, η νικοτίνη καθώς και άλλες επικίνδυνες ουσίες όπως η ακρολεΐνη, το υδροχλώριο και η φορμαλδεΰδη με την εναπόθεσή τους στα σωματίδια μικρού μεγέθους από τον καπνό του τσιγάρου εισέρχονται και εναποτίθενται στο ΑΑΣ. Ο καπνός του τσιγάρου μπορεί να διακριθεί σε δύο ρεύματα. Το κυρίως ρεύμα περνάει μέσα από το άκαυτο τμήμα του τσιγάρου και το φίλτρο με αποτέλεσμα την κατακράτηση μέρους των χημικών ενώσεων ενώ χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία. Το δευτερεύον ρεύμα δημιουργείται όταν το τσιγάρο καίγεται αργά, χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες θερμοκρασίες, αλλά γενικά θεωρείται πιο τοξικό.

1.3.3 Βιοαεροζόλ

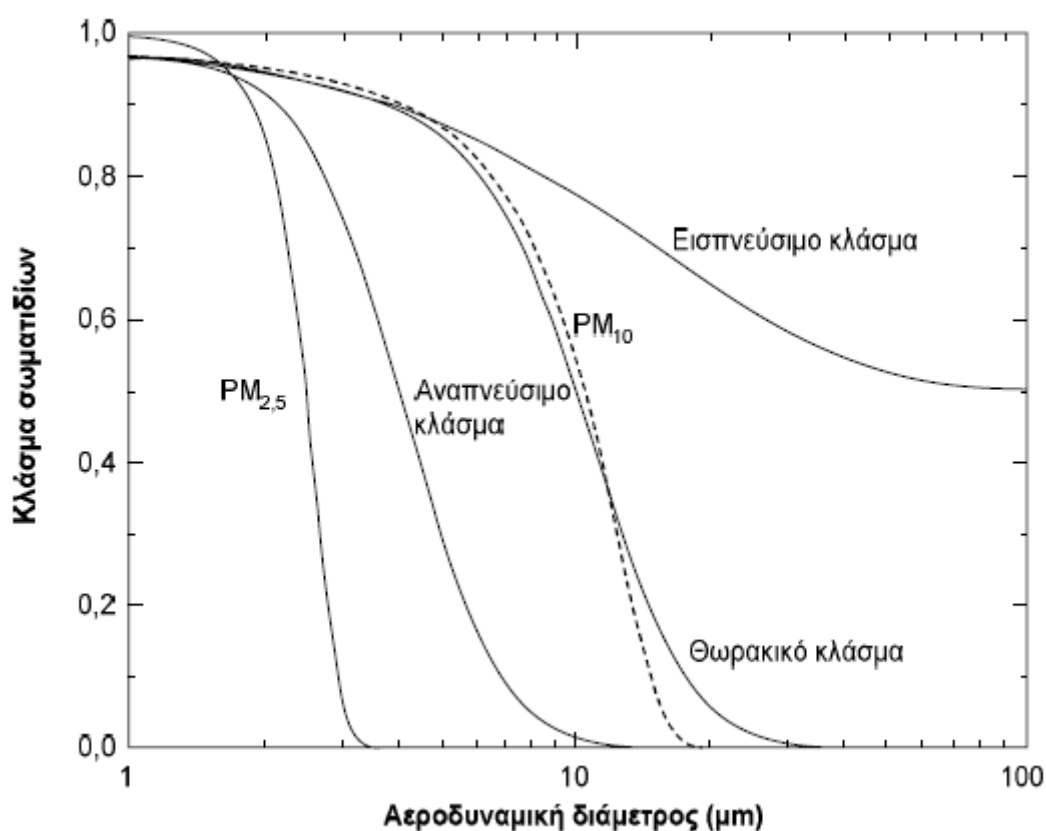
Τα βιοαεροζόλ ορίζονται σύντομα ως τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας που έχουν βιολογική προέλευση. Ένας πιο πλατύς ορισμός ορίζει ως βιοαεροζόλ τα αερομεταφερόμενα σωματίδια, τα μεγάλα μόρια ή τις πτητικές ενώσεις που περιέχουν ζωή ή ζώντες οργανισμούς ή απελευθερώθηκαν από ζώντες οργανισμούς. Βιοαεροζόλ μπορούν να θεωρηθούν αερομεταφερόμενοι ιοί, βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, η γύρη, τμήματα κυττάρων ή εντόμων καθώς και προϊόντα μεταβολισμού διαφόρων ζώντων οργανισμών (πχ. μυκοτοξίνες, βακτηριακές ενδοτοξίνες κ.α.).

Τα βιοαεροζόλ μπορεί να προέλθουν από οποιαδήποτε φυσική ή ανθρωπογενή δραστηριότητα και κάθε πηγή μπορεί να προκαλέσει μια μοναδική συνάντηση βιοαεροζόλ. Οι υπάρχοντες μικροοργανισμοί σε βιοαεροζόλ εσωτερικών χώρων αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται σε υλικά του εσωτερικού περιβάλλοντος και μεταφέρονται με τον αέρα. Οι μικροοργανισμοί εισέρχονται στους εσωτερικούς χώρους

κυρίως μέσω των συστημάτων κλιματισμού, αερισμού, τις πόρτες, τα παράθυρα ή μεταφέρονται με τα παπούτσια και τα ρούχα των ενοίκων. Οι συνθήκες που επικρατούν παραδείγματος χάριν σε ένα χώρο δουλειάς (κίνηση πολλών ατόμων, λειτουργία κλιματιστικού, έλλειψη αερισμού, συμπύκνωση υδρατμών σε ψυχρές επιφάνειες) δημιουργούν πρόσφορο έδαφος για τη μικροβιακή ανάπτυξη που σχετίζεται με τη δημιουργία βιοαεροζόλ.

1.4 Μέτρηση αεροζόλ

Η είσοδος των αιωρούμενων σωματιδίων σε διάφορα τμήματα του ΑΑΣ αποτέλεσε τη βάση του σχεδιασμού και της δημιουργίας οργάνων μέτρησης για διάφορα μεγέθη. Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες που περιγράφουν το εισπνεύσιμο, θωρακικό και αναπνεύσιμο κλάσμα σε σχέση με την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων, καθώς και οι καμπύλες για μετρήσεις $PM_{2,5}$ και PM_{10} .



Σχήμα 1. 4: Σύγκριση διαφορετικών ορισμών για το διαχωρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων.

Το εισπνεύσιμο κλάσμα αναφέρεται στο κλάσμα των σωματιδίων που εισχωρούν σε ολόκληρο το αναπνευστικό σύστημα, ενώ το θωρακικό κλάσμα αναφέρεται στα σωματίδια

που εναποτίθενται στη θωρακική περιοχή. Τέλος, το αναπνεύσιμο κλάσμα αναφέρεται στα σωματίδια που εναποτίθενται στην περιοχή των πνευμόνων (Λαζαρίδης, 2015).

Οι κύριες μεθοδολογίες μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων βασίζονται σε οπτικές και σταθμικές μεθόδους όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.2.

**Πίνακας 1. 2: Οργανολογία και μέθοδοι δειγματοληψίας σωματιδιακής ύλης.
(Αναπροσαρμοσμένο από Nagda και Rector, 2001)**

Τεχνολογία – Αρχή Σχόλια	Αναφορά		Παράδειγμα
Οπτικές – το δείγμα μετράται με βάση το βαθμό που διαχέει ορισμένη ακτίνα φωτός.	Rui και Swift (1995) Ακρίβεια: $\pm 10\%$ Όριο ανίχνευσης: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	MIE, TSI	Τα όργανα αυτά απαιτούν κατάλληλη βαθμονόμηση, αεροδυναμικό στόμιο εισόδου των σωματιδίων και κατάλληλη αντλία αέρα για τη συλλογή των επιθυμητών προς εξέταση σωματιδίων.
Σταθμικές – το δείγμα επιταχύνεται μέσω ενός ή περισσότερων σταδίων ενός αδρανούς δειγματολήπτη και διαχωρίζεται σε κλάσματα ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων. Η μάζα του αερολύματος υπολογίζεται με απλή ζύγιση του μέσου συλλογής των σωματιδίων πριν και μετά τη δειγματοληψία.	Hering (1995) Ακρίβεια: $\pm 10\%$ Όριο ανίχνευσης: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Andersen, SKC	Γίνεται χρήση τους τόσο για τη συλλογή των εισπνεύσιμων ($<10 \mu\text{m}$) όσο και των αναπνεύσιμων ($<2,5 \mu\text{m}$) σωματιδίων. Απαιτείται εξωτερική αντλία αέρα και εξοπλισμένο με τα κατάλληλα μέσα εργαστήριο για τον υπολογισμό της μάζας της σωματιδιακής ύλης.

Οι τεχνικές μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων χωρίζονται σε μεθοδολογίες μέτρησης σε πραγματικό χρόνο και μέτρησης με σταθμικό τρόπο.

Δειγματοληπτικές τεχνικές μέτρησης σε πραγματικό χρόνο

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται να λαμβάνονται συνεχείς μετρήσεις που αφορούν τη συγκέντρωση των σωματιδίων και οι οποίες να είναι διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους. Ο ένας είναι ότι πολλές φορές είναι χρήσιμες οι στιγμιαίες τιμές συγκέντρωσης ΑΣ καθώς μια στιγμιαία συγκέντρωση μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα επιτρεπτά για τη δημόσια υγεία όρια, γεγονός που ίσως δεν θα είχε γίνει αντιληπτό από μία τιμή μέσης συγκέντρωσης για ένα χρονικό διάστημα. Ο δεύτερος λόγος αφορά την επιδιωκόμενη εύρεση συσχέτισης μεταξύ μίας συγκεκριμένης διεργασίας (βιομηχανικής, οικιακής κ.α.) και της σωματιδιακής ρύπανσης που προκαλεί. Οι περισσότερες από τις τεχνικές μέτρησης πραγματικού χρόνου αξιοποιούν κάποια φυσική ιδιότητα των σωματιδίων, είτε θεωρώντας τα ως ένα ενιαίο σύνολο είτε ως επιμέρους σωματίδια, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός χαρακτηριστικού ηλεκτρικού σήματος που καταγράφεται υπό μορφή συγκέντρωσης μέσω κατάλληλης βαθμονόμησης (Baron κ.ά., 2001). Από τις πολλές φυσικές ιδιότητες των σωματιδίων που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μέτρησή τους σημαντικότερες είναι οι οπτικές και οι ηλεκτρικές.

Χρησιμοποιώντας τις οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων ένα όργανο μπορεί να καταγράψει τη συγκέντρωσή τους εξαιτίας της αλληλεπίδρασής τους με τη δέσμη φωτός. Αυτό μπορεί να το επιτύχει είτε θεωρώντας τα σωματίδια ως ένα ενιαίο σύνολο είτε μετρώντας την απόκριση κάθε σωματιδίου ξεχωριστά.

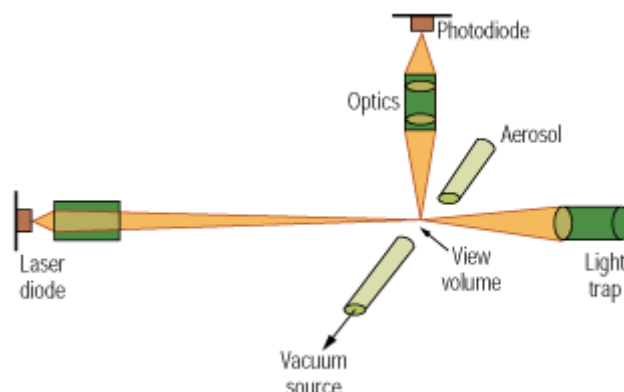
Η εξασθένιση της δέσμης του φωτός, λόγω απορρόφησης και διάχυσής του από τα σωματίδια, περιγράφεται από την εξίσωση

$$\frac{I}{I_0} = e^{(c_p x Q x X)}$$

όπου I_0 και I είναι η εκπεμπόμενη και η δευτερεύουσα δέσμη φωτός αντίστοιχα, c_p μία προτεινόμενη τιμή για τη συγκέντρωση των σωματιδίων στην εξεταζόμενη περιοχή, Q ο συντελεστής σωματιδιακής εξασθένισης και X το μήκος της οπτικής τροχιάς δια μέσου του αεροζόλ.

Ο βασικός σχεδιασμός ενός οργάνου με αρχή λειτουργίας την εξασθένιση της δέσμης του φωτός είναι τέτοιος ώστε μία δέσμη φωτός να εκπέμπεται και να βομβαρδίζει σε ειδικό κελί το εισερχόμενο ρεύμα σωματιδίων. Από τη μείωση του εκπεμπόμενου φωτός το όργανο υπολογίζει τη συγκέντρωση του αερολύματος στο κελί, καθώς η υπολειπόμενη

ποσότητα φωτός ανιχνεύεται και μετράται με τη βοήθεια ενός φωτοηλεκτρικού κυττάρου (Λαζαρίδης, 2008). Η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου οργάνου εμφανίζεται στο Σχήμα 1.5.



Σχήμα 1. 5: Αρχή λειτουργίας οργάνου μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη έγινε χρήση του οργάνου SidePak της TSI, που λειτουργεί αξιοποιώντας τις οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων και στο οποίο θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Παρόμοια με αυτήν την αρχή λειτουργούν τα όργανα που ανήκουν στην κατηγορία των CPC (condensation particle counter) ή CNC (condensation nuclei counter) και χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει δυσκολία στην ανίχνευση μικρών σε μέγεθος σωματιδίων. Για να επιτύχει την ανίχνευση των μικρότερων σωματιδίων κάνει χρήση μίας πτητικής ουσίας, συνήθως της βουτανόλης, η οποία αυξάνει το μέγεθος των σωματιδίων και με μία οπτική τεχνική καθίσταται εφικτή η μέτρηση του πλήθους των σωματιδίων.

Πέρα από την αξιοποίηση των οπτικών ιδιοτήτων των σωματιδίων, έχουν κατασκευαστεί όργανα που είναι σε θέση να καταγράψουν τη συγκέντρωση των σωματιδίων μετρώντας την αποφόρτιση των σωματιδίων από το ηλεκτρικό φορτίο που μεταφέρουν. Στα όργανα αυτά τα σωματίδια συλλέγονται μέσα σε ένα ορθογωνίου σχήματος αγωγό του οποίου τα άκρα, πάνω και κάτω, εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού. Τα σωματίδια μεταφέρονται ανάμεσα στις δύο πλάκες και διαχωρίζονται με βάση το φορτίο τους. Στη συνέχεια, τα σωματίδια με ορισμένο μέγεθος διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο «οπτικό» μετρητή σωματιδίων στις δύο εξόδους των πλακών καθώς μεταβάλλεται η εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα τους (Λαζαρίδης, 2008).

Σε αυτή την κατηγορία οργάνων ανήκουν τα όργανα EMS (electrical mobility spectrometers) και DMA (differential mobility analyzers) στα οποία τα σωματίδια εισέρχονται μέσω μιας

λεπτής σχισμής για τη μέτρηση της ηλεκτρικής κινητικότητάς τους και στη συνέχεια οδηγούνται προς ένα μετρητή σωματιδίων.

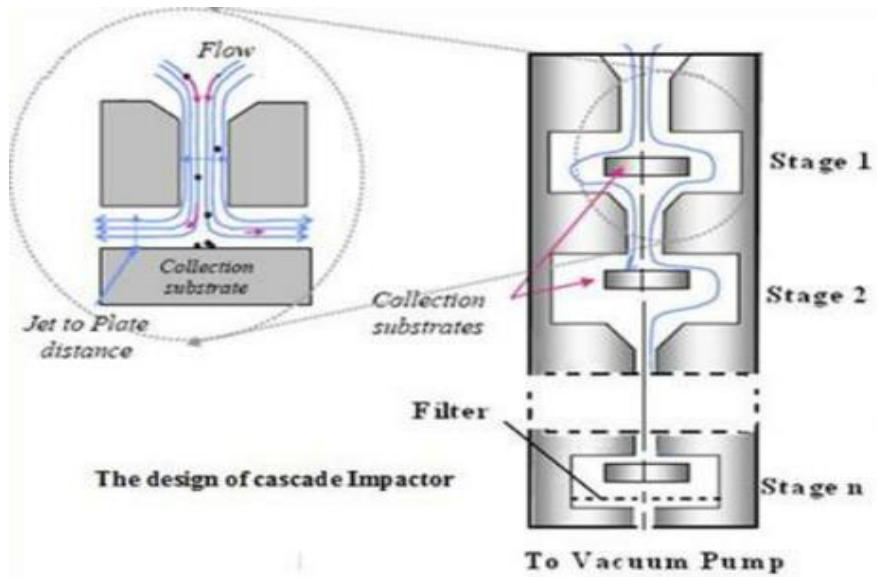
Δειγματοληπτικές τεχνικές μέτρησης με σταθμικό προσδιορισμό

Οι τεχνικές αυτές βασίζονται κατά βάση στην αρχή της πρόσκρουσης και ένα τέτοιο όργανο είναι ο προσκρουστήρας διαχωρισμού. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.6 τα αιωρούμενα σωματίδια περνούν από μια οπή με ροή που οδηγεί προς μια επίπεδη επιφάνεια. Η ύπαρξη της επιφάνειας πρόσκρουσης μετατοπίζει τη ροή κατά 90° . Τα σωματίδια που έχουν εσωτερική ενέργεια μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή δεν ακολουθούν τις γραμμές ροής και συγκρούονται με την επίπεδη επιφάνεια, στην οποία υποθέτουμε ότι προσκολλώνται.

Τα μικρότερα σωματίδια ακολουθούν τη ροή και δε συγκρούονται με την επιφάνεια πρόσκρουσης παραμένοντας αιωρούμενα και βγαίνουν τελικά έξω από τον προσκρουστήρα. Προσθέτοντας ένα φίλτρο στην έξοδο του προσκρουστήρα (μετά την επιφάνεια πρόσκρουσης), μπορούμε να μελετήσουμε τα σωματίδια που δεν εναποτέθηκαν στον προσκρουστήρα. Επομένως, με τη ζύγιση των σωματιδίων στο φίλτρο που έχουμε τοποθετήσει στην έξοδο θα έχουμε σημαντική πληροφορία για την κατανομή μάζας σε διάφορα μεγέθη σωματιδίων.

Χρησιμοποιώντας πολλούς διαδοχικούς προσκρουστήρες με διαφορετικές επιφάνειες πρόσκρουσης, μπορούμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη πληροφορία για την κατανομή μάζας στα αιωρούμενα σωματίδια. Το μέγεθος πρόσκρουσης των σωματιδίων μειώνεται σε κάθε επίπεδο μικραίνοντας το μέγεθος της οπής, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της ροής που στη συνέχεια οδηγεί σε μείωση της διαμέτρου των σωματιδίων που προσκρούονται στην επίπεδη επιφάνεια (Λαζαρίδης, 2008).

Ο προσκρουστήρας διαχωρισμού Andersen με οκτώ στάδια (Andersen Cascade Impactor) είναι ο προσκρουστήρας που χρησιμοποιήθηκε κατά το πειραματικό μέρος αυτής της εργασίας.



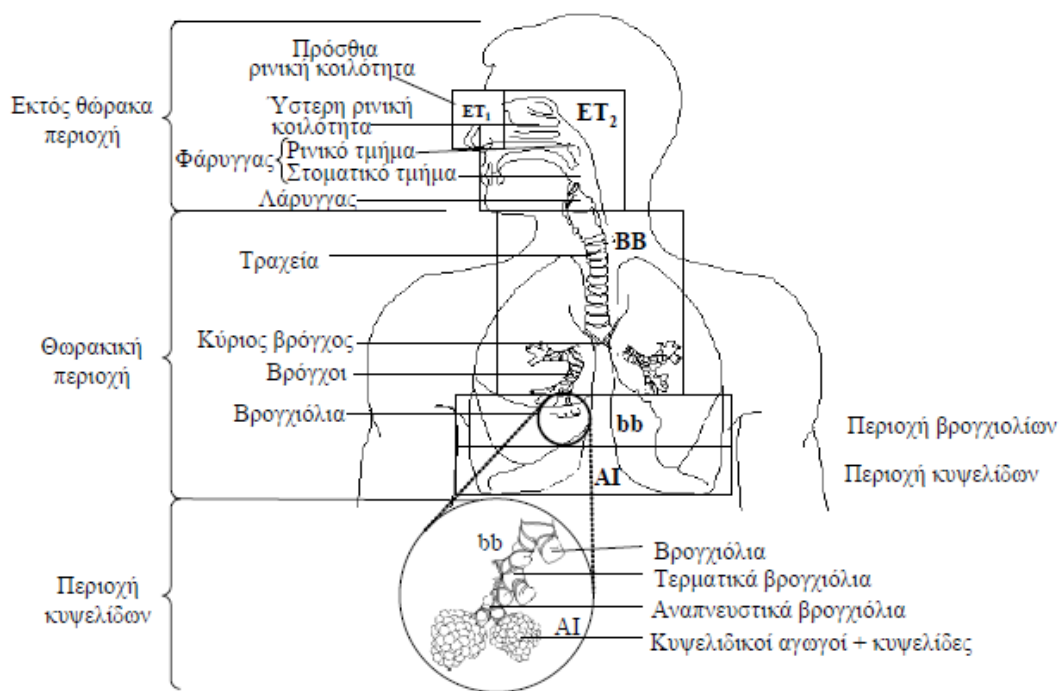
Σχήμα 1. 6: Σχέδιο ενός προσκρουστήρα διαχωρισμού.

1.5 Έκθεση των ανθρώπων σε αιωρούμενα σωματίδια

1.5.1 Το Αναπνευστικό Σύστημα

Η δόση των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα εξαρτάται από τη μορφολογία του η οποία προκαλεί μεταβολές στην πίεση, ταχύτητα ροής, κατεύθυνση και υγρασία του αέρα που κινείται μέσα σε αυτό. Το αναπνευστικό σύστημα, όσον αφορά την εκτίμηση δόσεων στους ιστούς του, διακρίνεται σε τρεις περιοχές (Σχήμα 1.7), (USEPA, 2002; ICRP, 1994; Schlesinger, 1988):

- Ανώτερο αναπνευστικό ή εκτός θώρακα περιοχή (ET): Αποτελείται από την πρόσθια ρινική κοιλότητα (ET1), την ύστερη ρινική κοιλότητα, το λάρυγγα, το φάρυγγα και το στόμα (ET2).
- Τραχειοβρογχική περιοχή (TB): Περιλαμβάνει την τραχεία και τους πρωτεύοντες βρόγχους (BB), τους δευτερεύοντες βρόγχους που ακολουθούν (διακλαδώσεις) και τους τελικούς βρόγχους (bb).
- Κυψελιδική περιοχή (AI): Αποτελείται από τους αναπνευστικούς βρόγχους, τις πνευμονικές κυψελίδες (κυψελιδικοί αεραγωγοί και αεροθυλάκια) και το συνδετικό ιστό.



Σχήμα 1. 7: Ανατομία του αναπνευστικού συστήματος (ICRP, 1994)

Ο αέρας μεταφέρεται μέσω του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος, της τραχείας και των βρόγχων από το εξωτερικό περιβάλλον στα σημεία που πραγματοποιείται η ανταλλαγή αερίων (αναπνοή) τα οποία αποτελούν την κυψελιδική περιοχή (Schlesinger, 1988).

1.5.2 Παράμετροι Φυσιολογίας

Η φυσιολογία του αναπνευστικού συστήματος σχετίζεται με τη ροή του αέρα κατά την είσοδο του από τη μύτη και το στόμα, αλλά και κατά την κίνησή του στους αεραγωγούς του. Οι παράμετροι που αφορούν στον τρόπο και ρυθμό παροχής του αέρα χρησιμοποιούνται στον καθορισμό της πρόσληψης σωματιδίων μετά από έκθεση σε δεδομένη ατμοσφαιρική συγκέντρωση (ICRP, 1994). Παράλληλα, είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό του ποσοστού της εισπνεόμενης σωματιδιακής ύλης που θα εναποτεθεί στις περιοχές του αναπνευστικού συστήματος.

Οι παράμετροι φυσιολογίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη αφορά τον όγκο του αέρα στους πνεύμονες κατά τη διάρκεια ενός κύκλου αναπνοής. Σχετίζεται άμεσα με την ηλικία, το ύψος, το βάρος, το φύλο, τη φυλή και την κατάσταση της υγείας του ατόμου. Η δεύτερη κατηγορία παραμέτρων φυσιολογίας αφορά τον τρόπο και το ρυθμό με τον οποίο

επαναλαμβάνεται ένας κύκλος αναπνοής. Με βάση τον τρόπο αναπνοής, οι άνθρωποι χαρακτηρίζονται, για τους σκοπούς της εκτίμησης της δόσης, ως άτομα που αναπνέουν μόνο από τη μύτη ή και από τις δύο εισόδους (ICRP, 2002). Ανάλογα με τη δραστηριότητα που εκτελεί ένα άτομο το χρονικό διάστημα που μας ενδιαφέρει, οι παράμετροι αυτής της κατηγορίας μπορεί να αλλάξουν. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη παροχή αέρα, ο τρόπος αναπνοής μεταβάλλεται και η συχνότητά της αυξάνεται. Τέτοιες περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης αέρα είναι η βαριά εργασία ή η άθληση.

Το μοντέλο ExDoM το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε μετέπειτα για τον υπολογισμό της δόσης στο ΑΑΣ λαμβάνει υπόψη του στις παραμέτρους εισόδου τέτοιους παράγοντες φυσιολογίας.

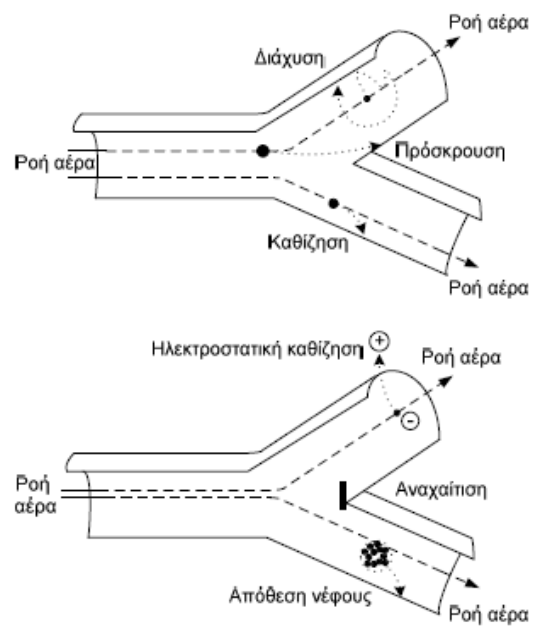
1.5.3 Εναπόθεση σωματιδίων στο ΑΑΣ

Παρατίθενται μερικοί βασικοί ορισμοί οι οποίοι σχετίζονται με την επίδραση των σωματιδίων πάνω στον άνθρωπο.

- Ως *έκθεση* (exposure) ορίζουμε τη συγκέντρωση του ρύπου που έρχεται σε επαφή με τον άνθρωπο για ορισμένη χρονική περίοδο
- Η *δόση* ορίζεται ως η ποσότητα του ρύπου που εναποτίθεται σε διάφορα μέρη του αναπνευστικού συστήματος καθώς και σε άλλες περιοχές του σώματος για ορισμένη χρονική περίοδο.

Με τον πιο συγκεκριμένο όρο εσωτερική δόση καλείται η ποσότητα μιας χημικής ένωσης που έχει απορροφηθεί και βρίσκεται διαθέσιμη να επιδράσει στον οργανισμό σε σημεία υψηλής βιολογικής σημασίας μέσα στο σώμα, ενώ ως εφαρμοσμένη δόση καλείται το μέρος αυτής που φθάνει στα ευαίσθητα κύτταρα μιας περιοχής και αλληλεπιδρά μαζί τους οδηγώντας σε σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία (Λαζαρίδης, 2008).

Η εναπόθεση των σωματιδίων, δηλαδή η καθίζησή τους στο αναπνευστικό σύστημα πραγματοποιείται με διάφορους μηχανισμούς, μερικοί από τους οποίους είναι η πρόσκρουση, η καθίζηση, η διάχυση, η αναχαίτιση - ενσφήνωση και η ηλεκτροστατική καθίζηση. Στο Σχήμα 1.8 φαίνονται μερικοί από αυτούς.



Σχήμα 1. 8: Μηχανισμοί εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα

Κεφάλαιο 2°

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία και σκοπός του πειράματος

Σύμφωνα με μελέτες της επιστημονικής κοινότητας τα άτομα με αναπνευστικά προβλήματα και ειδικότερα με COPD (Chronic obstructive pulmonary disease) είναι πιο ευαίσθητα στις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης. Η ανάγκη για τη βαθύτερη μελέτη των επιπτώσεων των ΑΣ στον άνθρωπο οδηγεί στην αναγκαιότητα καταμέτρησης των επιπέδων ΑΣ στον εξωτερικό αλλά και στον εσωτερικό χώρο που κινείται και διαβιά, με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τα επίπεδα αυτά.

Το πείραμα της παρούσας εργασίας σκοπεύει στην καταμέτρηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) σε αστικά μικροπεριβάλλοντα, εμπεριέχοντας σε αυτά τόσο την εξωτερική ατμόσφαιρα αστικής περιοχής όσο και τον εσωτερικό αέρα οικιών και άλλων κτισμάτων. Παράλληλα, γίνεται εκτίμηση της δόσης και της συσσώρευσης των σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό και γαστρεντερικό σύστημα και στο αίμα, μέσω υπολογιστικού μοντέλου.

Κυρίαρχη στοχοθεσία της διεξαγωγής του πειράματος ήταν η καλύτερη κατανόηση των συνθηκών προσωπικής έκθεσης του ανθρώπου σε σωματίδια στην καθημερινή του ζωή, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μικροπεριβάλλοντα στα οποία περνάει το χρόνο του. Η παρούσα εργασία μελετά τις συγκεντρώσεις στις οποίες εκτίθεται ένας φοιτητής σε μία πόλη της Ελλάδας με μία όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτική καθημερινή δραστηριότητα.

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις με προσωπικό μετρητή έκθεσης για αιωρούμενα σωματίδια, η θεωρητικά συνεχής και αδιάκοπη χρήση του οποίου αντιστοιχεί σε 15 ημέρες (24-ωρα) μετρήσεων. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, η συνολική διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων ήταν περίπου 4 μήνες, και συγκεκριμένα την περίοδο Δεκέμβριος 2015 – Μάρτιος 2016.

Ο αστικός ιστός ο οποίος επιλέχθηκε ως τόπος διαμονής και δραστηριότητας του ατόμου ήταν η πόλη των Χανίων.

2.2 Πειραματική διαδικασία

2.2.1 Προσωπικός μετρητής έκθεσης

Εξαιτίας των σύνθετων σχέσεων των ανθρώπων με το περιβάλλον τους είναι αναγκαίο να εισαχθούν νέοι μέθοδοι και εργαλεία μετρήσεων. Οι άνθρωποι συνεχώς κινούνται στο χώρο και το χρόνο, με τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης να μεταβάλλονται με τη σειρά τους και αυτά συνεχώς χωρικά και χρονικά. Το γεγονός αυτό είναι καθοριστικό, σε μεγάλο βαθμό, για την προσωπική έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στις σχετικές μελέτες. Ένας προσωπικός μετρητής μπορεί να παρέχει μία λεπτομερή εικόνα της βραχυχρόνιας έκθεσης ενός ανθρώπου σε ένα καθορισμένο μέρος. Η μέθοδος αυτή είναι σημαντικά διαφορετική από τις παραδοσιακές μεθόδους οι οποίες εξάγουν μία εκτίμηση του επιπέδου ατμοσφαιρικής έκθεσης του πληθυσμού χρησιμοποιώντας δίκτυα μετρητών σταθερής τοποθεσίας (Fixed-Site Monitoring (FSM)) και τις τοποθεσίες κατοικίας. Οι μελέτες που χρησιμοποιούν δεδομένα από μετρητές σταθερής τοποθεσίας συχνά δεν μπορούν να δείξουν τις συσχετίσεις που στόχευαν να δείξουν, καθώς τα εν λόγω δεδομένα δεν μπορούν να αναπαραστήσουν ικανοποιητικά το προφίλ της συγκέντρωσης στην οποία εκτίθεται ένας άνθρωπος. Επιπλέον, οι προσωπικοί μετρητές παρέχουν μία πιο λεπτομερή εικόνα της ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού, όπως προαναφέραμε, οι άνθρωποι περνούν ένα πολύ μεγάλο μέρος του χρόνου τους σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

2.2.2 SidePak AM510

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής σωματιδίων SidePak Personal Aerosol Monitor Model AM510 (TSI Inc., Shoreview, Minnesota, USA) ο οποίος στο εξής θα αναφέρεται ως SidePak. Η συσκευή αυτή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα που την καθιστούν κατάλληλη για προσωπικές μετρήσεις σε καθημερινή βάση. Μεταξύ άλλων είναι μικρή σε μέγεθος, ελαφριά (0,46-0,54kg ανάλογα με την μπαταρία) και η ευκολία λειτουργίας της την κάνει πολύ φιλική για τον χρήστη. Τα επίπεδα του θορύβου που παράγει είναι σχετικά χαμηλά και στις περισσότερες των περιπτώσεων, δεν επηρεάζουν αρνητικά τις καθημερινές δραστηριότητες του χρήστη.



Σχήμα 2.1 Ο προσωπικός μετρητής έκθεσης SidePak Model AM510

Η αρχή λειτουργίας του SidePak είναι η εξασθένιση της δέσμης του φωτός εξαιτίας της παρουσίας των αιωρούμενων σωματιδίων. Αέρας από το περιβάλλον εισέρχεται στο όργανο μέσω αντλίας ελεγχόμενης ροής και διέρχεται το θάλαμο όπου λειτουργεί η ακτίνα λέιζερ. Η εξασθένιση της ακτίνας μετατρέπεται σε συγκέντρωση μάζας των σωματιδίων (mg/m^3) η οποία αναγράφεται στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο και καταγράφεται ώστε να είναι δυνατή η μετέπειτα συλλογή των δεδομένων.

2.2.3 Διεξαγωγή μετρήσεων με το SidePak

Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός του πειράματος, που ήταν η καταμέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στα οποία εκτίθεται ένας φοιτητής στα Χανιά για 15 ημέρες, ήταν απαραίτητη η χρήση ενός προσωπικού μετρητή αιωρούμενων σωματιδίων.

Ο φοιτητής έφερε μαζί του το όργανο και ακολουθούσε το καθημερινό του πρόγραμμα, προσπαθώντας οι μέρες του να είναι όσο πιο τυπικές και αντιπροσωπευτικές της καθημερινότητάς του. Καθ' όλο το διάστημα των μετρήσεων κρατούσε λεπτομερές ημερολόγιο δραστηριοτήτων και τοποθεσίας ώστε να γνωρίζει στη συνέχεια ποιες μετρήσεις αντιστοιχούσαν σε κάθε δραστηριότητα.

Η μη δυνατότητα, δυστυχώς, του οργάνου να λειτουργήσει για πάνω από 4 έως 5 ώρες αποσυνδεδεμένο από το ηλεκτρικό ρεύμα, κατέστησε τη διαδικασία των μετρήσεων αρκετά χρονοβόρα, ώστε χρειάστηκαν πάνω από 3 μήνες μετρήσεων για να συλλεχθούν δεδομένα που να αντιστοιχούν σε δεκαπέντε 24-ωρα.

Τα δεδομένα από κάθε μέτρηση αποθηκεύονταν στη μνήμη του οργάνου και ανά διαστήματα εξαγόταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή προς επεξεργασία. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 97 μετρήσεις, ενώ είχαν πραγματοποιηθεί μερικές παραπάνω, η πλειοψηφία των οποίων έδειχναν συνεχώς μηδενική συγκέντρωση λόγω ανάγκης βαθμονόμησης του οργάνου ενώ άλλες δεν χρειάστηκε τελικά να συμπεριληφθούν.

Όταν είχαν συλλεχθεί τα δεδομένα που αντιστοιχούσαν σε μία ημέρα, σχεδιάζονταν η γραφική απεικόνιση της συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων συναρτήσει του χρόνου και κατασκευαζόταν πίνακας με βάση το ημερολόγιο δραστηριοτήτων που κρατούσε ο φοιτητής. Ο πίνακας περιείχε το χρονικό διάστημα που βρισκόταν ο φοιτητής σε κάθε τοποθεσία, το επίπεδο δραστηριότητάς του καθώς και τη μέση συγκέντρωση μάζας PM_{10} που αντιστοιχούσε στο διάστημα αυτό.

2.2.4 Βασικές τοποθεσίες(μικροπεριβάλλοντα) δειγματοληψίας

Πόλη

Η πόλη των Χανίων (φ: 35° 30' 40'' Β, λ: 24° 01' 45'' Α, υψόμετρο: 20m από την επιφάνεια της θάλασσας) είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης και βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα στην βόρεια ακτογραμμή του νησιού. Ο πληθυσμός της πόλης διαμορφώνεται στους 53.910 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011, οπότε πρόκειται για ένα αντιπροσωπευτικό σύγχρονο αστικό κέντρο.

Σπίτι

Το σπίτι το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και μάλιστα κοντά στη συμβολή δύο εκ των κεντρικότερων οδών των Χανίων (Κυδωνίας και Κισσάμου) με πολύ έντονη κυκλοφορία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το διαμέρισμα είναι δίχωρη γκαρσονιέρα όπου ο ένας χώρος αποτελεί την κουζίνα και ο άλλος το υπνοδωμάτιο. Κατά το σύνολο της διεξαγωγής των μετρήσεων στο διαμέρισμα κατοικούσε μόνο ο φοιτητής. Σημειώνεται ότι μέσα στο σπίτι δεν επιτράπηκε το κάπνισμα ούτε στον ένοικο ούτε σε κάποιον επισκέπτη. Το διαμέρισμα διέθετε δύο μπαλκονόπορτες, μία στην κουζίνα και μία στο υπνοδωμάτιο, οι οποίες ήταν παλαιάς κατασκευής και παρουσίαζαν αυξημένο ρυθμό διείσδυσης αέρα από τον εξωτερικό χώρο συγκριτικά με νεότερες κατασκευές.

Πολυτεχνείο Κρήτης (ΠΚ)

Το Πολυτεχνείο Κρήτης ήταν ένα από τα κυριότερα πεδία μετρήσεων καθώς ο χώρος φοίτησης είναι ο κύριος χώρος δραστηριότητας ενός φοιτητή. Η Πολυτεχνειούπολη βρίσκεται 7 km ΒΑ από το κέντρο των Χανίων και 1 km από την κοινότητα των Κουνουπιδιανών, αποτελούμενη από πολλά κτίρια σε μία έκταση 2.900 στρεμμάτων κυρίως θαμνώδους βλάστησης και ελαιόδεντρων.

➤ Αίθουσες διδασκαλίας Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πολλές ώρες μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσες διδασκαλίας του ΠΚ. Συγκεκριμένα, η πλειονότητα αυτών των μετρήσεων έλαβε χώρα στις αίθουσες του Κτιρίου Κ2 (ΜΗΠΕΡ), ενώ κάποιες πραγματοποιήθηκαν στις αίθουσες των Κτιρίων Μ4 και Μ5 (ΜΗΧΟΠ). Οι αίθουσες παρουσιάζουν ποικιλία στην έκταση, το σχήμα και τον αριθμό των καθισμάτων. Λόγω της εποχής, τα παράθυρα διατηρούνταν ως επί το πλείστον κλειστά, ενώ οι φοιτητές που παρακολουθούσαν τις διαλέξεις στις οποίες πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία αριθμούσαν ένα εύρος από 20 έως 40 άτομα.

➤ Μηχανογραφικό Κέντρο (ΜΚ) Πολυτεχνείου Κρήτης

Οι αίθουσες των σταθμών εργασίας του ΜΚ χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους για την πραγματοποίηση εργαστηριακών μαθημάτων των Σχολών του Ιδρύματος αλλά και για την υλοποίηση σύνθετων εργασιών - projects στα πλαίσια των ακαδημαϊκών υποχρεώσεων των φοιτητών.

Το Μηχανογραφικό Κέντρο διαθέτει τις παρακάτω αίθουσες διδασκαλίας στο Κτίριο Κ2 (ΜΗΠΕΡ):

- Αίθουσα ΑΑ με 30 σταθμούς εργασίας
- Αίθουσα ΑΒ με 30 σταθμούς εργασίας
- Αίθουσα ΒΑ με 25 σταθμούς εργασίας
- Αίθουσα ΒΒ με 25 σταθμούς εργασίας
- Αίθουσα ΑC με 27 σταθμούς εργασίας

Κάθε σταθμός εργασίας περιλαμβάνει την καρέκλα, το γραφείο και τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε όλες τις παραπάνω αίθουσες οι οποίες ήταν παρόμοιας έκτασης και επισκεψιμότητας από τους φοιτητές. Κατά τη διάρκεια μεγάλου μέρους της ημέρας η πλειονότητα των σταθμών εργασίας είναι κατειλημμένοι

και συνήθως κατά τη χειμερινή περίοδο ένα από τα παράθυρα της κάθε αίθουσας βρίσκεται σε ανάκλιση.

➤ Φοιτητική Λέσχη

Η Φοιτητική Λέσχη του ΠΚ αποτελεί το χώρο εστίασης των φοιτητών και απαρτίζεται από έναν ενιαίο χώρο μεγάλης έκτασης που μπορεί να υποδεχθεί μέχρι και 250 φοιτητές συγχρόνως. Λειτουργεί καθημερινά για τρία διακριτά χρονικά διαστήματα, που αντιστοιχούν στο πρωινό, το γεύμα και το δείπνο, συνολικής διάρκειας εννέα ωρών. Στο χώρο της Λέσχης το κάπνισμα απαγορεύεται.

➤ Κυλικεία

Δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στους χώρους δύο κυλικείων του ΠΚ και συγκεκριμένα στα κυλικεία των κτιρίων K2 και M3. Οι μετρήσεις έγιναν στους κλειστούς χώρους των κυλικείων, τους οποίους, παρόλα αυτά, συνέβησαν αρκετά περιστατικά καπνίσματος τσιγάρου.

Ένας άλλος χώρος στην Πολυτεχνειούπολη, στον οποίο ένα μέρος των φοιτητών μπορεί να περάσουν αξιοσημείωτο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού εξαμήνου, είναι το κτίριο της Βιβλιοθήκης. Πρόκειται για ένα νεόδμητο κτίριο δύο ορόφων με υλικοτεχνικές υποδομές και θέσεις ανάγνωσης για τους φοιτητές. Η δειγματοληψία στο συγκεκριμένο κτίριο δεν κατέστη δυνατή, καθώς τα επίπεδα του θορύβου που προκαλούσε το όργανο θα δημιουργούσαν όχληση στους παρόντες φοιτητές.

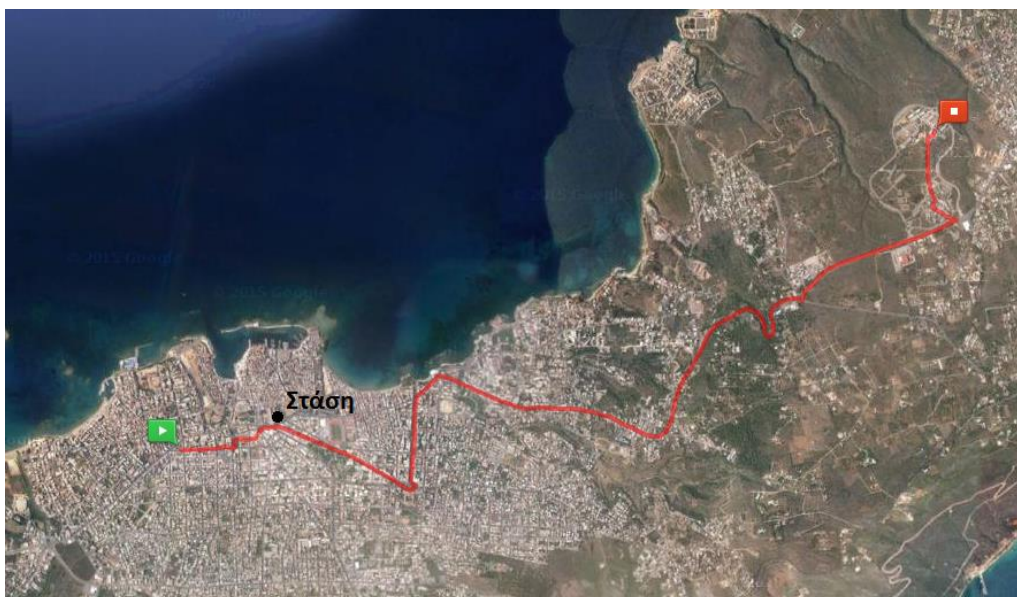
Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται ο χάρτης της πόλης των Χανίων με σημειωμένη την τοποθεσία του σπιτιού όπου έλαβαν χώρα οι μετρήσεις, του κέντρου της πόλης, καθώς και της Πολυτεχνειούπολης του ΠΚ.



Σχήμα 2. 1: Το σπίτι, η Πολυτεχνειούπολη του ΠΚ και το κέντρο της πόλης των Χανίων (Πηγή: Google Maps, 2018).

Αστικό Λεωφορείο

Τα λεωφορεία στα οποία έγιναν μετρήσεις ήταν της γραμμής Χανιά-Πολυτεχνείο Κρήτης. Ήταν πετρελαιοκίνητα και αριθμούσαν περίπου 30 θέσεις το καθένα. Στο Σχήμα 2.3 έχει καταγραφεί, με τη χρήση GPS, η διαδρομή που ακολουθούσε ο φοιτητής για να πάει από το σπίτι στο ΠΚ. Το σπίτι βρίσκεται στο πράσινο τετράγωνο από όπου ο φοιτητής μεταβαίνει πεζός έως τη στάση του λεωφορείου το οποίο τον μεταφέρει στο ΠΚ (κόκκινο τετράγωνο). Σχεδόν πανομοιότυπη ήταν και η διαδρομή της επιστροφής, ενώ όταν ο φοιτητής χρησιμοποιούσε αυτοκίνητο η διαδρομή διαφοροποιούνταν μόνο στο κέντρο της πόλης.



Σχήμα 2. 2: Η διαδρομή από το σπίτι στην Πανεπιστημιούπολη όπως καταγράφηκε από την εφαρμογή MapMyWalk για smartphones.

Αυτοκίνητο

Το αυτοκίνητο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ήταν μεσαίου κυβισμού και λειτουργούσε με βενζίνη.

2.2.5 Τοποθέτηση του SidePak σε κλειστούς χώρους

Σπίτι

Κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων στο σπίτι το SidePak βρισκόταν συνεχώς στο ίδιο δωμάτιο στο οποίο δραστηριοποιούνταν εκείνη την ώρα και ο ένοικος. Με τη μετακίνηση του ενοίκου από το ένα δωμάτιο στο άλλο, ταυτόχρονα μετακινούνταν και το SidePak, προκειμένου να γίνει όσο το δυνατόν ακριβέστερη αποτύπωση της έκθεσης του ενοίκου κάθε χρονική στιγμή. Είναι γνωστό ότι το ύψος από το οποίο αντλείται ο αέρας προς μέτρηση μπορεί να διαφοροποιήσει τη μετρούμενη συγκέντρωση ΑΣ, αφού συνήθως κοντά στο έδαφος υπάρχουν αυξημένα επίπεδα επαναιωρημένων σωματιδίων. Έτσι το ύψος στο οποίο αντλεί το Sidepak είναι προτιμότερο να προσεγγίζει το ύψος στο οποίο βρίσκεται η είσοδος του αναπνευστικού συστήματος ενός ανθρώπου. Με το σκεπτικό αυτό το SidePak τοποθετούνταν πάνω στο γραφείο του υπνοδωματίου σε ύψος περίπου 75 cm από το

δάπεδο, στο κέντρο του δωματίου. Παρόμοια, τοποθετούνταν στο τραπέζι της κουζίνας σε ύψος 80 cm.

Αίθουσες διδασκαλίας Πολυτεχνείου Κρήτης

Κατά τις πρώτες μετρήσεις το όργανο τοποθετήθηκε πάνω σε ένα έδρανο, αλλά, λόγω της φύσης της δραστηριότητας που λάμβανε χώρα και απαιτούσε ησυχία, οι επόμενες μετρήσεις έγιναν με το όργανο σε σακίδιο πλάτης.

Σε άλλους κλειστούς χώρους όπως σε καφετέριες, μπαρ και γυμναστήρια το SidePak τοποθετούνταν πάνω σε τραπέζι πλησίον του φοιτητή.

2.2.6 Χρήση του SidePak σε ανοικτούς χώρους.

Όταν ο φοιτητής έπρεπε να μετακινηθεί κάπου εκτός σπιτιού, το όργανο προσαρμοζόταν πάνω του. Αρχικά, προσαρμόστηκε στη ζώνη του παντελονιού μέσω ειδικής λαβής στο κάτω μέρος του οργάνου. Στη συνέχεια, όμως, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος αλλά και με σκοπό την άντληση αέρα εγγύτερα στο ύψος του προσώπου του χρήστη, το όργανο τοποθετήθηκε σε σακίδιο πλάτης κατά τον εξής τρόπο:

Το σακίδιο πλάτης διέθετε μικρή τσέπη στο εσωτερικό του, στην πλευρά που εφάπτεται της πλάτης του ατόμου που το φοράει. Εκεί κρεμάστηκε το SidePak μέσω της ειδικής λαβής. Στη συνέχεια, στην είσοδο της αντλίας προσαρμόστηκε εύκαμπτος σωλήνας PVC μήκους περίπου 20 cm, το άλλο άκρο του οποίου προεξείχε από το πάνω μέρος του κλεισμένου με φερμουάρ σακιδίου. Να σημειωθεί ότι το φερμουάρ δεν ήταν πλήρως κλεισμένο, ώστε να διαφεύγει ελεύθερα ο αέρας που περνούσε από το όργανο και επίσης να αποτρέπεται τυχόν υπερθέρμανσή του.

Τόσο στο εσωτερικό των αστικών λεωφορείων όσο και στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, το όργανο βρισκόταν και σε αυτές τις περιπτώσεις στο σακίδιο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε φαινόμενα βροχόπτωσης, αποφεύχθηκε η δειγματοληψία με το SidePak σε εξωτερικούς χώρους καθώς δεν ήταν ασφαλές για το όργανο να εκτεθεί σε τέτοιες συνθήκες. Παρά το γεγονός ότι ήταν τοποθετημένο στο εσωτερικό του σακιδίου, υπήρχε κίνδυνος να εισέλθει νερό στο στόμιο εισόδου μέσω του σωλήνα που προεξείχε. Η περιορισμένη ικανότητα δειγματοληψίας σε τέτοιες ημέρες ήταν ένας επιπλέον λόγος που μεγάλωσε τη συνολική διάρκεια των μετρήσεων.

2.2.7 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του SidePak

Το SidePak διαθέτει δύο αποσπώμενες μπαταρίες για την εύρυθμη λειτουργία του. Οι μπαταρίες αυτές έπρεπε να φορτίζονται ενόσω ήταν εφαρμοσμένες στο όργανο και αυτό με τη σειρά του συνδεόταν στην πρίζα. Η μία εξ αυτών χρειαζόταν φόρτιση, η οποία διαρκούσε κατά μέσο όρο περίπου 4 ώρες και η διάρκεια συνεχής μέτρησης που μπορούσε να παρέχει εκτός ρεύματος ήταν περίπου 6 ώρες. Η άλλη μπαταρία δεν είχε τη δυνατότητα να φορτίσει, για αυτό και χρησιμοποιούνταν όταν το όργανο βρισκόταν συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό ρεύμα είτε στο σπίτι είτε σε άλλους κλειστούς χώρους χωρίς κάποιο περιορισμό στη διάρκεια των μετρήσεων. Η διαδικασία που ακολουθούνταν για τη φόρτιση της μπαταρίας ήταν φυσικό να εμποδίζει την συνεχή λειτουργία του SidePak καθ' όλο το 24ωρο. Έτσι, τα δεκαπέντε 24ωρα μετρήσεων που παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία αντιστοιχούν σε αρκετά μεγαλύτερο χρόνο διεξαγωγής δειγματοληψιών.

Κάθε φορά που στο όργανο εφαρμοζόταν νέα μπαταρία ακολουθούνταν διαδικασία βαθμονόμησής του μέσω ειδικού φίλτρου που είχε διατεθεί από την εταιρία κατασκευής και καθόριζε στο όργανο το επίπεδο μηδενικής συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων. Η ίδια διαδικασία ακολουθούνταν και στις περιπτώσεις όπου στην οθόνη του SidePak εμφανιζόταν το μήνυμα «ZERO DRIFT». Το μήνυμα αυτό, δυστυχώς, δεν εμφανιζόταν μόνο κατά την ενεργοποίηση του οργάνου αλλά συχνά και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, που σήμαινε ότι ο φοιτητής έπρεπε να το αντιληφθεί εγκαίρως και να προχωρήσει σε διακοπή της μέτρησης και εκ νέου βαθμονόμηση. Αρκετές δειγματοληψίες, λόγου χάρη, κατά τη διάρκεια του ύπνου αποδείχτηκαν εν τέλει άκυρες, καθώς η απρόσκοπτη λειτουργία του οργάνου είχε διακοπεί κάποια χρονική στιγμή πριν την ολοκλήρωσή τους.

2.2.8 Προσκρουστήρας διαχωρισμού Andersen C.I.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ο προσκρουστήρας διαχωρισμού Andersen Cascade Impactor (Non-viable impactor, Model 20-800, Thermo Electron Corporation). Το όργανο αυτό (Σχήμα 2.4) αντιπροσωπεύει μεθοδολογία μέτρησης με σταθμικό προσδιορισμό. Είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες σχετικές με την μέτρηση αεροζόλ.



Σχήμα 2. 3: Andersen Cascade Impactor και εύρος τιμών κάθε σταδίου

Η αρχή λειτουργίας του Andersen C.I. είναι η αρχή της πρόσκρουσης. Αέρας από το περιβάλλον εισέρχεται στο όργανο μέσω αντλίας ελεγχόμενης ροής και περνάει από διαδοχικούς προσκρουστήρες. Τα σωματίδια που έχουν εσωτερική ενέργεια μεγαλύτερη από μια οριακή τιμή δεν ακολουθούν τις γραμμές ροής και συγκρούονται με την επίπεδη επιφάνεια. Ο αέρας στη συνέχεια εξέρχεται στο περιβάλλον και με τη ζύγιση των φίλτρων της κάθε επιφάνειας υπολογίζουμε τη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων για κάθε εύρος αεροδυναμικών διαμέτρων.

2.2.9 Διεξαγωγή μετρήσεων με τον Andersen C.I.

Όργανα όπως ο μετρητής σωματιδίων SidePak διαθέτουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι παρέχουν πολύ καλές συνεχείς μετρήσεις, διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και σε απότομες μεταβολές της συγκέντρωσης σωματιδίων. Οι σταθμικές μέθοδοι μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων, όπως ο προσκρουστήρας Andersen C.I., παρέχουν, από την άλλη, μία μέση τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων σε κάποιο χρονικό διάστημα, η γνώση της οποίας όμως δεν επαρκεί σε περιπτώσεις όπου εξετάζεται πιθανή συσχέτιση του επιπέδου των σωματιδίων με διεργασίες που συντελούνται στο συγκεκριμένο χώρο. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η εκτίμηση των παραγόντων που επιδρούν στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης είναι αναγκαία η χρήση αυτόματων οργάνων για την καταγραφή δεδομένων ανά μικρά χρονικά διαστήματα.

Στην παρούσα μελέτη ήταν αναγκαία η χρησιμοποίηση του προσκρουστήρα Andersen C.I. προκειμένου να έχουμε το προφίλ της συγκέντρωσης ΑΣ σε χώρους όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το SidePak. Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με τον

Andersen C.I. ήταν απαραίτητα για την εύρεση της δόσης με το υπολογιστικό μοντέλο ExDoM με το οποίο θα ασχοληθούμε στη συνέχεια.

Η ιδανική αλλά αδύνατη πρακτικά μεθοδολογία θα ήταν να μετρήσουμε την κατανομή του μεγέθους των ΑΣ σε κάθε χώρο στον οποίο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το SidePak. Αυτό που επιλέχθηκε ως προσέγγιση ήταν να διεξαχθούν δύο μετρήσεις, μία σε εσωτερικό και μία σε εξωτερικό χώρο οι οποίες θα λειτουργούσαν ως αντιπροσωπευτικά δείγματα για την κατανομή των ΑΣ σε αυτές τις δύο γενικές κατηγορίες.

Για την πρώτη κατηγορία, δηλαδή τον εσωτερικό χώρο, επιλέχθηκε ως τόπος μέτρησης το σπίτι στο οποίο είχαν πραγματοποιηθεί πολύωρες μετρήσεις με το SidePak. Για τον εξωτερικό χώρο επιλέχθηκε ως τόπος μέτρησης ένα σημείο μέσα στην πόλη των Χανίων και συγκεκριμένα η πλατεία Δικαστηρίων.

2.2.10 Δειγματοληψία με τον Andersen C.I.

Προκειμένου να έχουμε ακριβή εικόνα της κατανομής των ΑΣ, ο Andersen C.I. λειτούργησε κάθε φορά για διάρκεια 24 ωρών. Για την κάθε δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν 9 φίλτρα τα οποία τοποθετήθηκαν σε κάθε στάδιο του προσκρουστήρα. Τα φίλτρα φυλάσσονταν και μεταφέρονταν μέσα σε τρυβλία (petri discs) για την καλύτερη προφύλαξη τους. Για την μετακίνηση των φίλτρων χρησιμοποιούνταν πάντοτε ειδική λαβίδα έτσι ώστε να μη μολυνθούν τα φίλτρα με την επαφή τους με ξένα σώματα. Η διαδικασία μέτρησης που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Πριν την τοποθέτηση τους στον προσκρουστήρα τα 9 φίλτρα μαζί με άλλο ένα φίλτρο αναφοράς (blank) αφέθηκαν για 48-ωρη περιβαλλοντική προσαρμογή σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (μέσα στο εργαστήριο).
- Έπειτα από την περιβαλλοντική προσαρμογή, ακολούθησε η ζύγισή τους με τον αναλυτικό μικροζυγό ακριβείας Sartorius CP 225D (Sartorius AG, Goettingen, Germany). Ο ζυγός έχει ακρίβεια 0,01 mg (Σχήμα 2.5) . Σε κάθε φίλτρο πραγματοποιούνταν δύο ζυγίσεις, οι οποίες δεν έπρεπε να διαφέρουν περισσότερο από $\pm 0,01$ mg. Εφόσον υπήρχαν μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ των δύο ζυγίσεων, ακολουθούσε και τρίτη. Η τελική τιμή της ζύγισης προερχόταν από τη μέση τιμή των επιμέρους ζυγίσεων.

- Η μάζα τους καταγράφηκε και στη συνέχεια τα φίλτρα των 9 σταδίων τοποθετήθηκαν στο όργανο ενώ το «τυφλό» φίλτρο (blank) παρέμεινε στο εργαστήριο.
- Μετά τη διάρκεια των 24 ωρών ο Andersen C.I. μεταφέρθηκε στο εργαστήριο όπου τα φίλτρα με τα δείγματα αφαιρέθηκαν με ιδιαίτερη προσοχή από τα 9 στάδια του οργάνου και τοποθετήθηκαν σε τρυβλία. Ταυτόχρονα, καταγράφηκε από την ένδειξη του οργάνου ο όγκος αέρα που είχε περάσει από αυτό.
- Εκεί παρέμειναν για 24 ώρες ώστε να προσαρμοστούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες
- Στη συνέχεια ακολούθησε η ζύγισή τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε φίλτρο ήταν αριθμημένο και καθώς τοποθετούνταν στο αποστειρωμένο τρυβλίο, ο αριθμός αυτός αναγραφόταν στο καπάκι. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δειγματοληψία ήταν από ίνες χαλαζία (quartz fiber).



Σχήμα 2. 4: Ζυγός ακριβείας Sartorius CP 225D

Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στην Πλατεία Δικαστηρίων όπου ο Andersen C.I. τοποθετήθηκε σε ειδικό κλουβί και παρέμεινε εκεί για 24 ώρες. Στη συνέχεια ο Andersen C.I. μεταφέρθηκε στο εργαστήριο όπου έγινε η ζύγιση των φίλτρων.

Η επεξεργασία των μετρήσεων με τον Andersen C.I. περιλάμβανε, αρχικά, τον υπολογισμό της διαφοράς βάρους των φίλτρων πριν και μετά τη μέτρηση. Έπειτα, γινόταν ο

υπολογισμός του κανονικοποιημένου όγκου αέρα που πέρασε από τον Andersen C.I. κατά τη διάρκεια της 24-ωρης μέτρησης λαμβάνοντας υπόψη την ένδειξη του οργάνου αλλά και τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούσα τη συγκεκριμένη ημέρα. Τέλος, υπολογιζόταν η ζητούμενη συγκέντρωση αεροζόλ για κάθε εύρος διαμέτρου που αντιστοιχούσαν στο κάθε στάδιο του προσκρουστήρα.

Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης αεροζόλ για κάθε στάδιο του προσκρουστήρα έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$C = \frac{\Delta m}{V} = \frac{(\overline{m}_{μετά} - \overline{m}_{πριν}) - m_{blank}}{V}$$

όπου C: η υπολογισμένη συγκέντρωση μάζας για το στάδιο

Δm : η υπολογισμένη μάζα για το στάδιο

V: ο κανονικοποιημένος όγκος αέρα

$\overline{m}_{μετά}$: η μέση τιμή των ζυγίσεων μετά τη δειγματοληψία

$\overline{m}_{πριν}$: η μέση τιμή των ζυγίσεων πριν τη δειγματοληψία

m_{blank} : η διαφορά βάρους των ζυγίσεων των «τυφλών» φίλτρων πριν και μετά τη δειγματοληψία

Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στο σπίτι όπου διεξήχθησαν οι μετρήσεις με το SidePak. Ο Andersen C.I. τοποθετήθηκε στο πάτωμα του υπνοδωματίου, κυρίως προς αποφυγή κάποιας πτώσης, ενώ οι δραστηριότητες κατά τη διάρκεια του 24-ώρου που διήρκεσε η μέτρηση, ήταν οι συνηθισμένες όπως μίας τυπικής ημέρας μετρήσεων με το SidePak. Στη συνέχεια ο Andersen C.I. μεταφέρθηκε στο εργαστήριο όπου έγινε η ζύγιση των φίλτρων.

2.2.11 Το μοντέλο ExDoM

Το μοντέλο ExDoM αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων του Πολυτεχνείου Κρήτης (Aleksandropoulou κ.ά., 2010) και έχει σχεδιαστεί για τον υπολογισμό της έκθεσης, δόσης και συσσώρευσης σωματιδίων στο ΑΑΣ κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας της έκθεσης για συνθήκες μεταβαλλόμενης έκθεσης. Η εναπόθεση σωματιδίων στο ΑΑΣ υπολογίζεται με τη βοήθεια των ημιεμπειρικών εξισώσεων

που προτείνονται στο μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος (HRTM) της διεθνούς υπηρεσίας ακτινοπροστασίας (ICRP). Μπορεί να εφαρμοστεί για σωματίδια μονοδιάσπορα και πολυδιάσπορα με τιμές μέσης ισοδύναμης αεροδυναμικής διαμέτρου μάζας που κυμαίνονται από 0,001μm έως 100μm. Η εναπόθεση υπολογίζεται βάσει του μεγέθους με το οποίο τα σωματίδια εισέρχονται στο ΑΑΣ.

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Αποτελέσματα των μετρήσεων με το όργανο Sidepak

3.1.1 Εξίσωση διόρθωσης

Παρά τα πλεονεκτήματα που προαναφέρθηκαν σχετικά με τον προσωπικό μετρητή έκθεσης που χρησιμοποιήθηκε, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων που προκύπτουν από το όργανο αυτό δεν είναι βαρομετρικές (σταθμικές), αφού το όργανο δεν έχει βαθμονομηθεί για τις συγκεκριμένες κάθε φορά μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι γνωστό ότι κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων από τις διάφορες πηγές εκπέμπονται σωματίδια με διαφορετικά χαρακτηριστικά (σχήμα και πυκνότητα). Για το λόγο αυτό, συνήθως κρίνεται απαραίτητη η εξαγωγή μίας εξίσωσης διόρθωσης των τιμών του SidePak η οποία προκύπτει έπειτα από παράλληλη μέτρηση με κάποιο όργανο αναφοράς και συσχέτιση των τιμών.

Η Ε.Ε. ενθαρρύνει γενικά τη διεξαγωγή συγκριτικών δειγματοληψιών μεταξύ αυτόματων οργάνων που βασίζονται σε οπτικές μεθόδους και πρότυπων οργάνων που βασίζονται σε σταθμικές μεθόδους για τον υπολογισμό των κατάλληλων συντελεστών διόρθωσης (EC, 2010).

Προκειμένου λοιπόν να εξετασθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με το SidePak ανταποκρίνονται στις πραγματικές συγκεντρώσεις είχε πραγματοποιηθεί, σε χρόνο προγενέστερο της παρούσας μελέτης, συγκριτική δειγματοληψία με το όργανο Sequential Sampler FH 95 SEQ, THERMO.

Η εξίσωση διόρθωσης που προέκυψε από τις συγκριτικές μετρήσεις μεταξύ των δύο οργάνων είναι η ακόλουθη:

$$(Διορθωμένη\ Συγκέντρωση\ PM_{10}) = 0,86 \times (Συγκέντρωση\ PM_{10}\ από\ SidePak) + 6,42$$

Η εξίσωση αυτή εφαρμόστηκε στις τιμές συγκέντρωσης που μετρήθηκαν από το SidePak και προέκυψαν οι τελικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη.

3.1.2 Συνδυασμός δειγματοληψιών

Με το πέρας της περιόδου δειγματοληψίας με το όργανο Sidepak, οι μετρήσεις συλλέχθηκαν και ομαδοποιήθηκαν, σύμφωνα πάντα με το ημερολόγιο δραστηριοτήτων που αντιστοιχίζει την κάθε μέτρηση με την δραστηριότητα που επιτελούνταν κατά τη διάρκειά της.

Για τους λόγους που αναφέραμε σε προηγούμενες ενότητες, η περίοδος δειγματοληψίας ξεπέρασε κατά πολύ τις δεκαπέντε ημέρες και οι μετρήσεις ομαδοποιήθηκαν εκ των υστέρων ώστε να σχηματίσουν δεκαπέντε ημέρες συνεχόμενης καταγραφής συγκεντρώσεων. Η πλειονότητα των δειγματοληψιών είχαν διάρκεια τεσσάρων περίπου ωρών, όση ώρα επέτρεπε δηλαδή η μπαταρία, η οποία στη συνέχεια επαναφορτιζόταν. Όπου ήταν δυνατό, ωστόσο, το όργανο πραγματοποιούσε μετρήσεις όντας συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό ρεύμα, και κυρίως σε χώρους όπως το Μηχανογραφικό Κέντρο, ενώ στο σπίτι η διάρκεια των δειγματοληψιών ξεπερνούσε συχνά τις 8 ώρες.

Αξίζει πάντως να σημειώσουμε, ότι έγινε προσπάθεια οι συγκεντρώσεις οι οποίες παρουσιάζονται για κάθε μία ημέρα, να αποτελούνται από μετρήσεις που στην πλειονότητά τους συνέβησαν την ίδια ημέρα, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες και άλλες παράμετροι κατά τη διάρκεια μιας ημέρας επηρεάζουν τις τιμές των μετρούμενων συγκεντρώσεων.

3.1.3 Ημερολόγια καθημερινής δραστηριότητας και γραφήματα συγκέντρωσης

Για κάθε μία από τις 15 ημέρες των μετρήσεων κατασκευάστηκε πίνακας στον οποίο αναφέρεται αναλυτικά το ημερολόγιο δραστηριοτήτων εκείνης της ημέρας. Ο πίνακας περιείχε ακόμη το χρονικό διάστημα που βρισκόταν ο φοιτητής σε κάθε τοποθεσία, το επίπεδο δραστηριότητάς του καθώς και τη μέση συγκέντρωση μάζας PM_{10} που αντιστοιχούσε στο διάστημα αυτό. Επίσης κατασκευάστηκε γράφημα με το προφίλ της

συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια του 24-ώρου, συνοδευόμενο από ενδείξεις της τοποθεσίας κάθε χρονική στιγμή.

Τα *μικροπεριβάλλοντα* στα οποία βρέθηκε ο φοιτητής, ταξινομήθηκαν στις εξής κατηγορίες προς διευκόλυνση της εξαγωγής συμπερασμάτων και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

- **Σπίτι**
- **Χώρος φοίτησης**, κατηγορία στην οποία περιέχονται μετρήσεις από αίθουσες διδασκαλίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, από αίθουσες του Μηχανογραφικού Κέντρου καθώς και από τους διαδρόμους κτιρίων του ΠΚ.
- **Εξωτερικός χώρος**, κατηγορία στην οποία περιέχονται όλες οι μετρήσεις που συνέβησαν σε ανοιχτούς χώρους, κυρίως στους δρόμους της πόλης των Χανίων ενώ δύο μετρήσεις έγιναν σε εξωτερικά τραπέζια καφετέριας.
- **Εσωτερικός χώρος**, κατηγορία στην οποία περιέχονται κυρίως μετρήσεις από καφετέριες, μπαρ, αλλά και:
 - Δύο μετρήσεις από δημόσιες υπηρεσίες (Δ.Ε.Η. και Ι.Κ.Α.)
 - Μία μέτρηση από βιβλιοπωλείο
 - Μία μέτρηση από αίθουσα γυμναστηρίου
 - Μία μέτρηση από αίθουσα σχολής χορού
 - Μία μέτρηση από αίθουσα σκακιστικής ακαδημίας
 - Μία μέτρηση από το εσωτερικό άλλου σπιτιού
- **Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)**, κατηγορία στην οποία περιέχονται όλες οι μετρήσεις που έγιναν στο αστικό λεωφορείο της γραμμής Χανιά-Κουνουπιδιανά
- **Αυτοκίνητο**, κατηγορία στην οποία περιέχονται όλες οι μετρήσεις που έγιναν στο αυτοκίνητο και κυρίως αφορούσαν τη διαδρομή Χανιά-Πολυτεχνείο Κρήτης.
- **Λέσχη**, δηλαδή μετρήσεις από τη Φοιτητική Λέσχη του ΠΚ
- **Κυλικείο**, δηλαδή μετρήσεις από τα δύο κυλικεία του ΠΚ

Τα *επίπεδα δραστηριότητας* αντιστοιχούν ίσως πιο κατανοητά στην έννοια των *επιπέδων σωματικής κόπωσης* ή των *επιπέδων άσκησης* και αναφέρονται ως εξής:

- **Ύπνος** (sleep)
- **Ανάπαυση** (sitting)
- **Ήπια άσκηση** (light exercise)
- **Έντονη άσκηση** (heavy exercise)

Η ταξινόμηση αυτή έγινε με σκοπό τη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων με το υπολογιστικό μοντέλο ExDoM για την εύρεση της δόσης στο ΑΑΣ και περιγράφεται στη δημοσίευση 66 της ICRP (ICRP, 1994). Ο ρυθμός αναπνοής ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο σωματικής άσκησης του εκτιθέμενου ατόμου και το μοντέλο προτείνει συγκεκριμένες τιμές για κάθε επίπεδο, οι οποίες εισάγονται από το χρήστη μαζί με τα δεδομένα.

Αναλυτικά τα διαγράμματα έκθεσης σε συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων για κάθε ημέρα παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α της εργασίας, μαζί με τους αντίστοιχους πίνακες δραστηριοτήτων.

Παράδειγμα Ημέρας 2

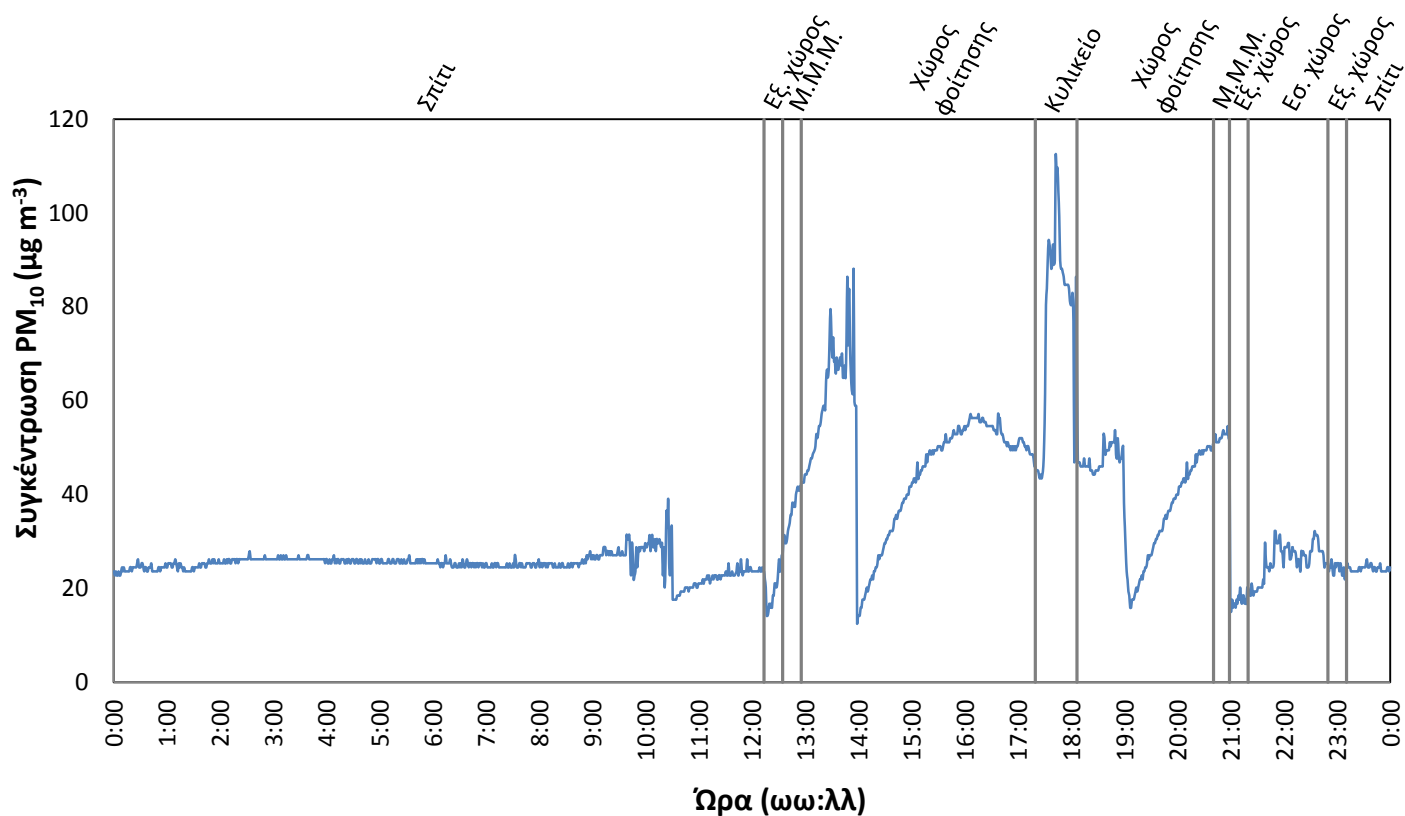
Μία τυπική ημέρα μετρήσεων με τις αντίστοιχες δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν φαίνεται στο Σχήμα 3.1 και στον Πίνακα 3.1.

Σύμφωνα και με το ημερολόγιο που κρατήθηκε για εκείνη την ημέρα:

- Ο φοιτητής, αρχικά, πέρασε κάποιο χρόνο στο υπνοδωμάτιο του σπιτιού του και στη συνέχεια κοιμήθηκε για περίπου 8 ώρες. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων στη διάρκεια του ύπνου παρουσίασαν μια μεγάλη ομοιομορφία και κατέγραψαν μία χαμηλή μέση τιμή ίση με $25,6 \mu\text{g m}^{-3}$.
- Όταν ξύπνησε ο φοιτητής, τακτοποίησε το κρεβάτι, ντύθηκε και συμμαζέψε το υπνοδωμάτιο έως τις 10:30. Στο διάστημα αυτό παρατηρήθηκαν αρκετές διακυμάνσεις και αύξηση της συγκέντρωσης που στιγμιαία έφτασε τα $39,1 \mu\text{g m}^{-3}$, απόρροια των σωματιδίων που επαναιωρήθηκαν ή δημιουργήθηκαν κατά την εκτέλεση των εργασιών.
- Έπειτα ο φοιτητής πέρασε στο δωμάτιο της κουζίνας όπου παρέμεινε για περίπου 2 ώρες, πριν αρχίσει να περπατάει τη διαδρομή διάρκειας 20 λεπτών από το σπίτι του ως τη στάση του λεωφορείου (Σχήμα 2.3). Η στιγμή που ο φοιτητής αλλάζει δωμάτιο φαίνεται στο διάγραμμα στο σημείο της πτώσης της συγκέντρωσης, καθώς στο νέο δωμάτιο, όντας άδειο για πολλές ώρες, επικρατούν αρχικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Με την παρουσία ενός ατόμου στο δωμάτιο οι τιμές σταδιακά αυξάνονται.
- Αφού έφτασε στη στάση, ο φοιτητής επιβιβάστηκε στο αστικό λεωφορείο και κατευθύνθηκε προς το Πολυτεχνείο Κρήτης. Έπειτα από 20 λεπτά αποβιβάστηκε στη στάση που βρίσκεται δίπλα στο Κτίριο Κ2(ΜΗΠΕΡ). Από το γράφημα παρατηρούμε ότι κατά το περπάτημα ως τη στάση καθώς και μέσα στο λεωφορείο,

η συγκέντρωση των σωματιδίων συνεχώς αυξανόταν. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την αλλαγή μικροπεριβάλλοντος συχνά χρειαζόταν ένα εύλογο χρονικό διάστημα έως ότου η τιμή της συγκέντρωσης να σταθεροποιηθεί σε κάποιο επίπεδο το οποίο κρίνεται ως το πιο αντιπροσωπευτικό για το συγκεκριμένο χώρο.

- Στη συνέχεια ο φοιτητής επισκέφθηκε το Μηχανογραφικό Κέντρο και μετά το πέρας 1 ώρας παρακολούθησε διαλέξεις σε αίθουσες διδασκαλίας του ίδιου κτιρίου διάρκειας περίπου 6 ωρών, οι οποίες διακόπηκαν από ένα διάλειμμα 1 ώρας στο κυλικείο του κτιρίου. Παρατηρείται η απότομη άνοδος της συγκέντρωσης μέσα στο ΜΚ που ξεπερνάει τα $80 \mu\text{g m}^{-3}$ και έχει αρκετές διακυμάνσεις, καθώς ο χώρος αυτός χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα των φοιτητών και πολλές μετακινήσεις. Στις αίθουσες διδασκαλίας η παρουσία πολλών ατόμων οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις, ενώ στο κυλικείο η τιμές ξεπερνούν τα $100 \mu\text{g m}^{-3}$ λόγω παρουσίας καπνιστών.
- Έπειτα ο φοιτητής επιβιβάστηκε στο λεωφορείο και ακολούθησε την ίδια διαδρομή με προορισμό το κέντρο της πόλης. Όταν κατέβηκε από το λεωφορείο, κατευθύνθηκε πεζός προς ένα γυμναστήριο, όπου παρέμεινε για 1,5 ώρα κάνοντας έντονη άσκηση. Ύστερα, περπάτησε ως το σπίτι του όπου και παρέμεινε ως το τέλος της ημέρας. Η συγκέντρωση τις τελευταίες ώρες της ημέρας δεν παρουσίασε κάποια ιδιαίτερη μεταβολή αν και στο μικροπεριβάλλον του γυμναστηρίου οι συγκεντρώσεις ήταν αυξημένες σε σχέση με τις τιμές στους δρόμους της πόλης.



Σχήμα 3.1: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 2^η ημέρα

Πίνακας 3.1: Δραστηριότητα 2^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

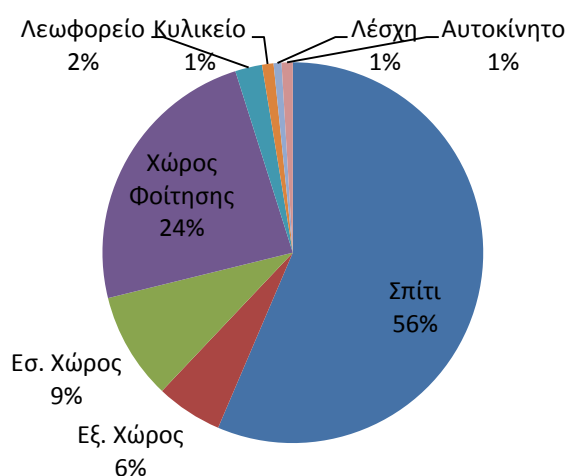
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	01:17	1,3	Σπίτι	Ανάπαυση	$24,3 \pm 0,8$
01:18	09:33	8,3	Σπίτι	Ύπνος	$25,6 \pm 0,9$
09:34	10:29	0,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$28,5 \pm 3,3$
10:30	12:13	1,7	Σπίτι	Ανάπαυση	$22,0 \pm 2,0$
12:14	12:34	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$20,1 \pm 4,0$
12:35	12:55	0,4	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$36,3 \pm 4,3$
12:56	17:19	4,4	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$48,2 \pm 13,7$
17:20	18:06	0,8	Κυλικείο	Ανάπαυση	$77,5 \pm 20,1$
18:07	20:40	2,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$39,7 \pm 10,5$
20:41	20:59	0,3	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$52,2 \pm 1,0$
21:00	21:19	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$17,4 \pm 1,5$
21:20	22:49	1,5	Εσωτερικός χώρος	Έντονη άσκηση	$25,9 \pm 3,7$
22:50	23:10	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$24,2 \pm 1,1$
23:11	00:00	0,8	Σπίτι	Ανάπαυση	$24,2 \pm 0,6$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 2 ^η ημέρα: $33,0 \pm 14,9 \mu g m^{-3}$					

Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει, για κάθε χρονικό διάστημα στο οποίο διαιρέθηκε η ημέρα υπολογίστηκαν η μέση τιμή της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} , η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 μαζί με την τυπική απόκλιση. Στην τελευταία γραμμή αναγράφεται και η μέση τιμή των συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του 24-ώρου η οποία ανέρχεται στα $33,0 \mu g m^{-3}$.

3.1.4 Αποτελέσματα και ανάλυση

Χρονική διάρκεια σε κάθε μικροπεριβάλλον

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται, σε γραφική απεικόνιση πίτας, τα ποσοστά που αντιστοιχούν στη μέση διάρκεια που περνούσε ο φοιτητής σε κάθε μικροπεριβάλλον μέσα στην ημέρα, ενώ στο Σχήμα 3.3 τα ποσοστά έχουν ομαδοποιηθεί με σκοπό τη διάκριση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών χώρων.

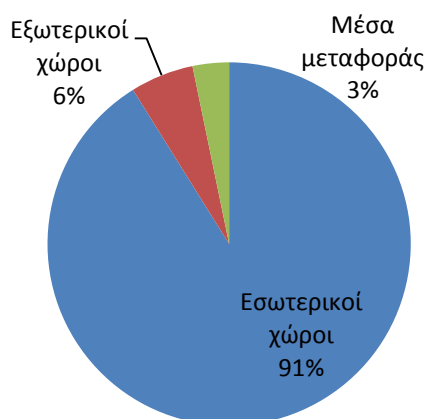


Σχήμα 3. 2: Χρονική κατανομή του κάθε μικροπεριβάλλοντος κατά μέσο όρο στη διάρκεια μίας ημέρας

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, ο φοιτητής πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας στο εσωτερικό του σπιτιού του, ενώ περίπου το ένα τέταρτο της ημέρας βρέθηκε στους χώρους φοίτησης. Λίγο πάνω και λίγο κάτω από 2 ώρες, κατά μέσο όρο, περνούσε ο φοιτητής καθημερινά σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικούς χώρους αντίστοιχα. Μικρότερα ποσοστά καταλαμβάνουν τα υπόλοιπα μικροπεριβάλλοντα.

Στη βιβλιογραφία δε βρέθηκαν στατιστικά δεδομένα για ένα πρόγραμμα χρόνου - δραστηριότητας που να αναφέρεται σε φοιτητές στον ελλαδικό χώρο. Οι περισσότερες μελέτες που αποσκοπούν στην εκτίμηση της έκθεσης των ανθρώπων μιας πόλης σε αιωρούμενα σωματίδια, προσεγγίζουν το πρόγραμμα της ημέρας για ένα άτομο το οποίο έχει μόνιμη δουλειά, στην οποία μετακινείται με κάποιο μέσο μεταφοράς. Στις μελέτες αυτές, ο χώρος εργασίας καταλαμβάνει μεγαλύτερα ποσοστά συγκριτικά με το χρόνο που περνά ο φοιτητής στο χώρο φοίτησης στη συγκεκριμένη μελέτη. Τα υπόλοιπα ποσοστά, ωστόσο, δεν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση.

Για παράδειγμα, στη μελέτη τους που αφορούσε την έκθεση σε σωματίδια στη Βαρκελώνη, οι V. Martins κ.ά. (2015) εκτίμησαν ότι η κατανομή του χρόνου της ημέρας για ένα άτομο, με βάση στοιχεία της εθνικής στατιστικής υπηρεσίας της Ισπανίας, ως εξής: 55,6% της ημέρας το άτομο βρισκόταν στο σπίτι, το 37,5% στο χώρο εργασίας, το 4,2% σε εξωτερικούς χώρους και το 2,8% στο σύστημα του υπόγειου σιδηροδρόμου. Οι Buonanno κ.ά. (2013) αναφερόμενοι σε παιδιά σχολικής ηλικίας στην Ιταλία υπολόγισαν την κατανομή χρόνου από προσωπικά ημερολόγια δραστηριοτήτων ως εξής: 65% της ημέρας τα παιδιά βρίσκονταν στο σπίτι, 25% στο σχολείο, 4,4% σε άλλους εσωτερικούς χώρους, 3,1% σε μέσα μεταφοράς και 2,2% σε εξωτερικούς χώρους.

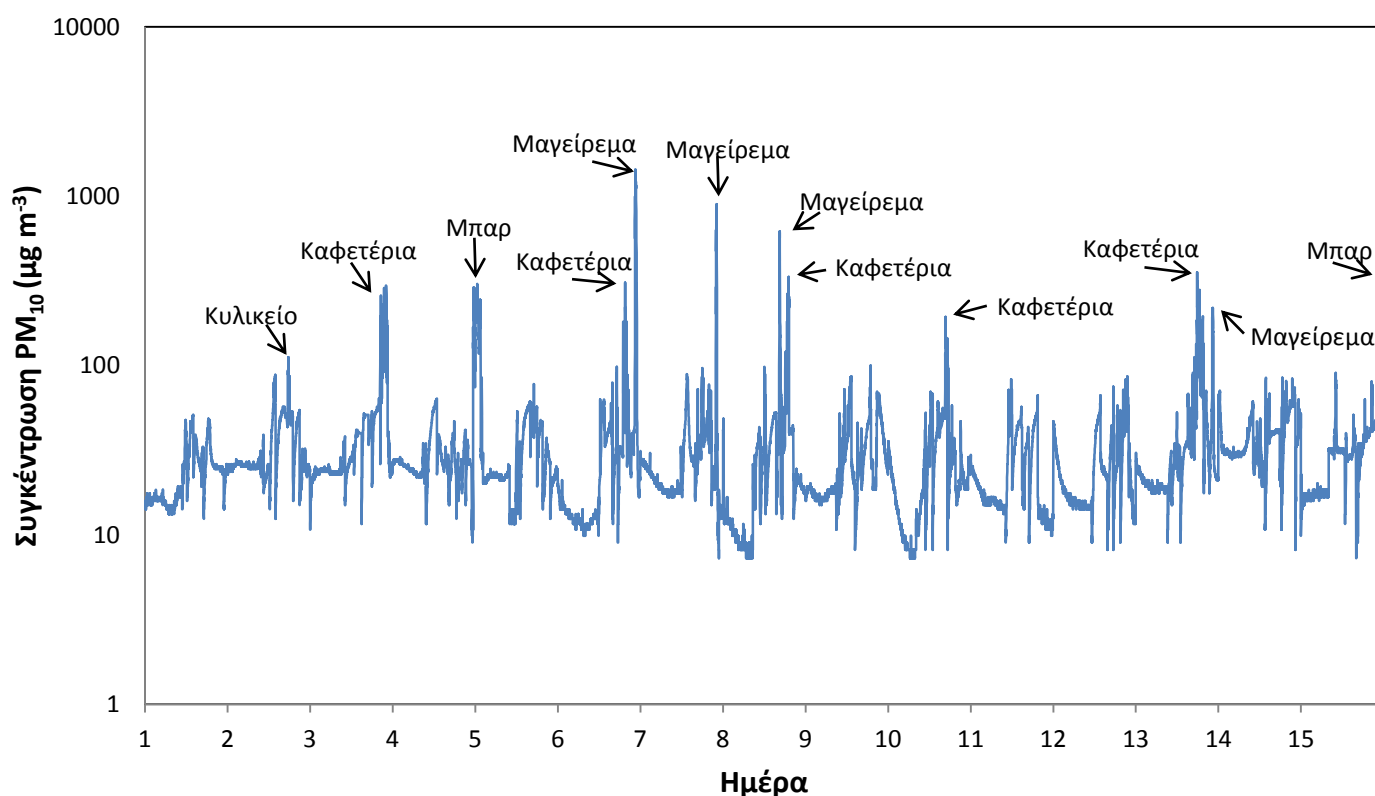


Σχήμα 3. 3: Διάκριση των ποσοστών παραμονής σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Ένα μικρό ποσοστό αντιστοιχεί στα μέσα μεταφοράς

Ο Λαζαρίδης (2008) αναφέρει ότι το εσωτερικό περιβάλλον αποτελεί το χώρο που περνάει ο μέσος Ευρωπαίος περίπου 87% του χρόνου του, ενώ περίπου ένα άλλο 3% σε μέσα μεταφοράς, ποσοστά που προσεγγίζουν τη δική μας κατανομή και καταδεικνύουν τη σημαντικό ρόλο που παίζουν οι εσωτερικοί χώροι στην έκθεση του ανθρώπου σε σωματίδια.

Συνολική επισκόπηση του ημερήσιου προφίλ συγκεντρώσεων

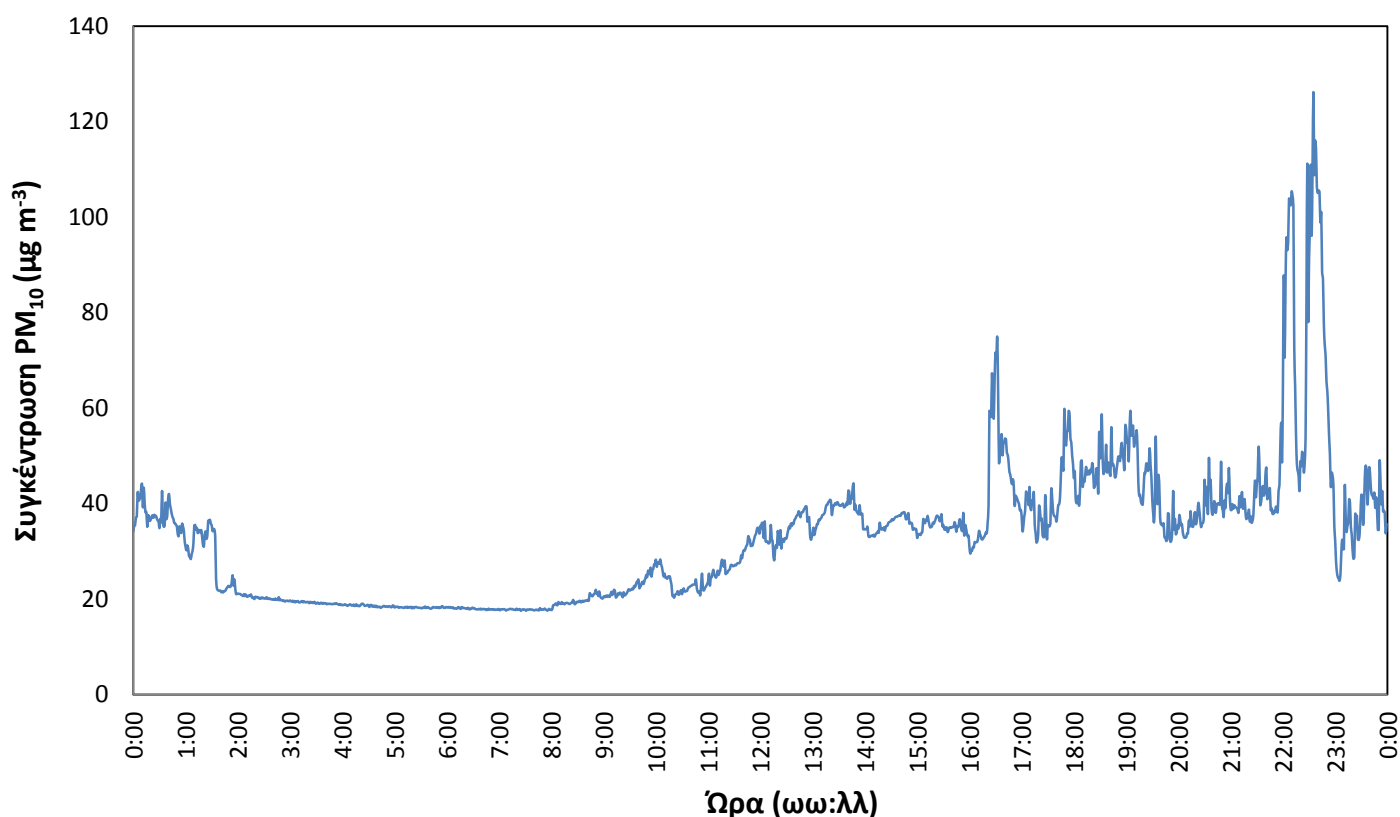
Στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται γραφικά το σύνολο της δειγματοληψίας που διενεργήθηκε και εκτείνεται στην περίοδο των 15 ημερών. Σε χρονικές στιγμές υψηλών συγκεντρώσεων αναγράφεται η πηγή/μικροπεριβάλλον που ευθύνεται. Μπορούμε να διακρίνουμε το ομαλό διάστημα κάθε ημέρας που αντιστοιχεί στην ώρα του ύπνου καθώς και τις κύριες πηγές μέγιστων συγκεντρώσεων που είναι το *μαγείρεμα* και το *κάπνισμα* σε εσωτερικούς χώρους.



Σχήμα 3. 4: Γραφική απεικόνιση του συνόλου της δειγματοληψίας

Το Σχήμα 3.5 παρουσιάζει γραφικά το προφίλ συγκέντρωσης μίας ημέρας, το οποίο προέκυψε από τις μέσες τιμές συγκέντρωσης για κάθε ένα λεπτό του 24-ώρου από το σύνολο των 15 ημερών. Παρατηρούνται χαρακτηριστικά οι χαμηλές συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια του ύπνου και οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στο τέλος της ημέρας, χρονική περίοδος κατά την οποία συνέβαιναν συνήθως δραστηριότητες μαγειρέματος ή ο φοιτητής

βρισκόταν σε κάποια καφετέρια ή μπαρ με καπνιστές. Τις απογευματινές ώρες φαίνονται αυξημένες συγκεντρώσεις οι οποίες συνδέονται κυρίως με το χώρο φοίτησης.



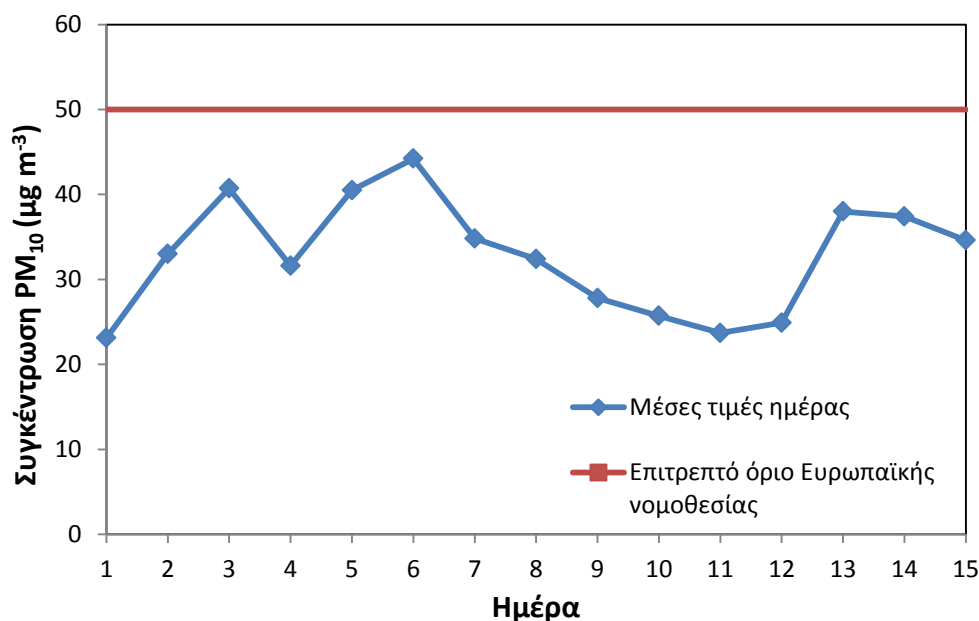
Σχήμα 3. 5: Ένα εικοσιτετράωρο με τις μέσες τιμές συγκέντρωσης ανά λεπτό

Οι νομοθεσίες της κάθε χώρας υπαγορεύουν διαφορετικά όρια επικινδυνότητας των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀.

- Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει καθορίσει, από την 1^η Ιανουαρίου 2005, ως ανώτατο όριο τα 50 μg m⁻³ αναφερόμενη σε μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης, με 35 επιτρεπόμενες ημέρες υπέρβασης ανά χρόνο.
- Η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Η.Π.Α. (US EPA) έχει καθορίσει, από το 1987, ως ανώτατο όριο τα 150 μg m⁻³ αναφερόμενη σε μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης, με 1 επιτρεπόμενη ημέρα υπέρβασης ανά χρόνο.

Στο Σχήμα 3.6 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης, καμία από τις οποίες δεν ξεπέρασε το ανώτατο όριο των 50 μg m⁻³ της ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Η μικρότερη μέση ημερήσια τιμή είναι ίση με 23,1 μg m⁻³ και σημειώθηκε την 1^η ημέρα, κατά τη διάρκεια της οποίας ο φοιτητής δε βρέθηκε σε εσωτερικό χώρο με καπνιστές ενώ η δραστηριότητα του

μαγειρέματος που συνέβη δεν οδήγησε σε σημαντική άνοδο των συγκεντρώσεων. Η μεγαλύτερη μέση ημερήσια τιμή είναι ίση με **44,2** $\mu\text{g m}^{-3}$ και κατεγράφη την 6^η ημέρα κατά την οποία ο φοιτητής ήρθε σε επαφή με καπνιστές ενώ η δραστηριότητα του μαγειρέματος οδήγησε στις υψηλότερες τιμές που μετρήθηκαν κατά τη δειγματοληψία (άνω των 1000 $\mu\text{g m}^{-3}$).



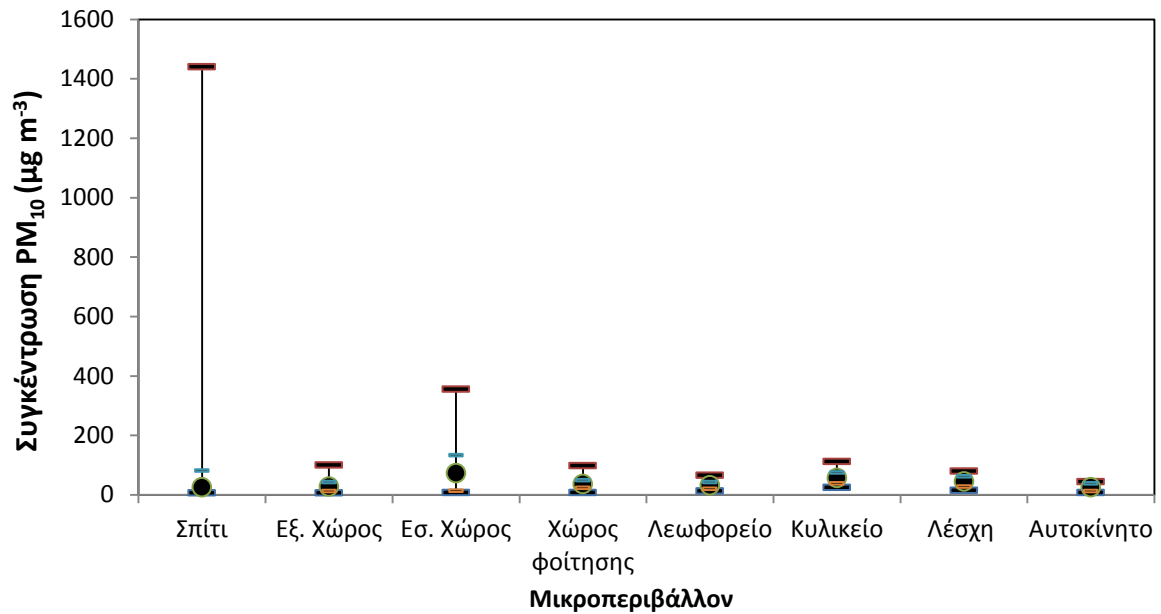
Σχήμα 3. 6: Μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης PM_{10} συγκρινόμενες με το επιτρεπτό όριο της ευρωπαϊκής νομοθεσίας

Σύγκριση ανάμεσα στα μικροπεριβάλλοντα

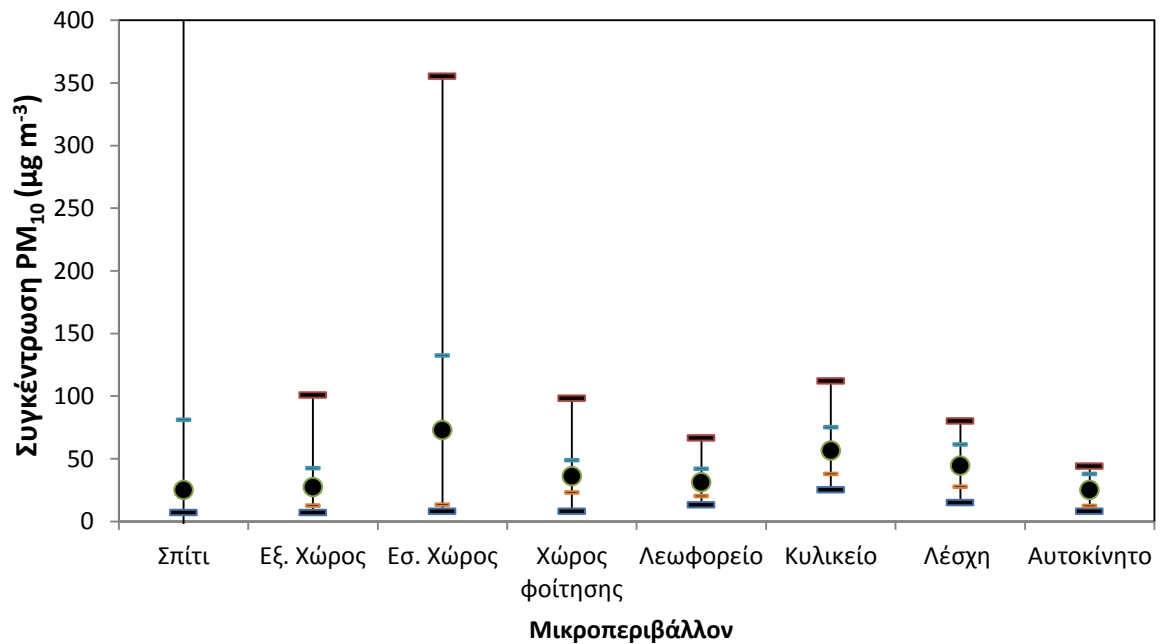
Πίνακας 3. 2: Ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές συγκέντρωσης PM_{10} σε κάθε μικροπεριβάλλον

Μικροπεριβάλλον	Ελάχιστη συγκέντρωση ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Μέγιστη συγκέντρωση ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Μέση συγκέντρωση ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Τυπική Απόκλιση
Σπίτι	7,3	1440,9	25,1	55,9
Εξωτερικός χώρος	7,3	101,0	27,5	15,0
Εσωτερικός χώρος	8,1	355,6	72,8	59,6
Χώρος φοίτησης	8,1	98,4	36,0	12,9
Λεωφορείο	13,3	66,6	31,2	10,9
Κυλικείο	25,3	112,2	56,5	18,6
Λέσχη	15,0	80,4	44,5	16,9
Αυτοκίνητο	8,1	44,3	25,2	12,8

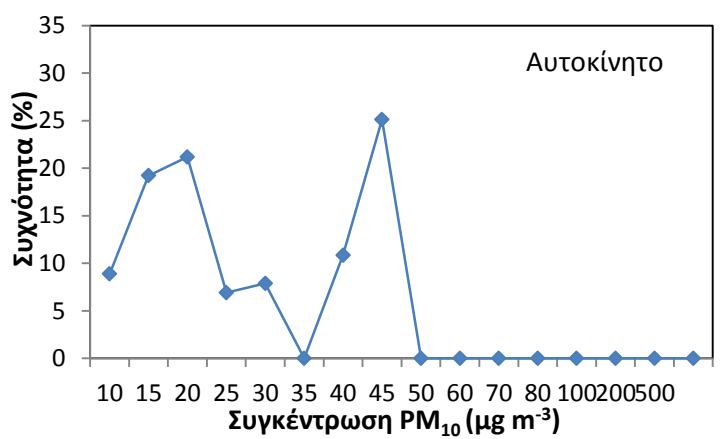
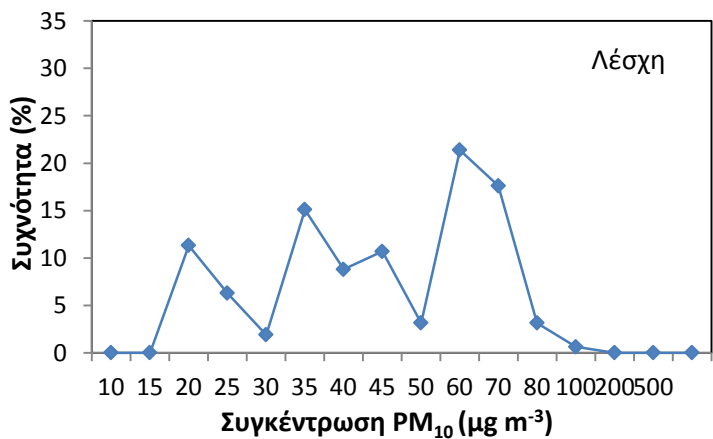
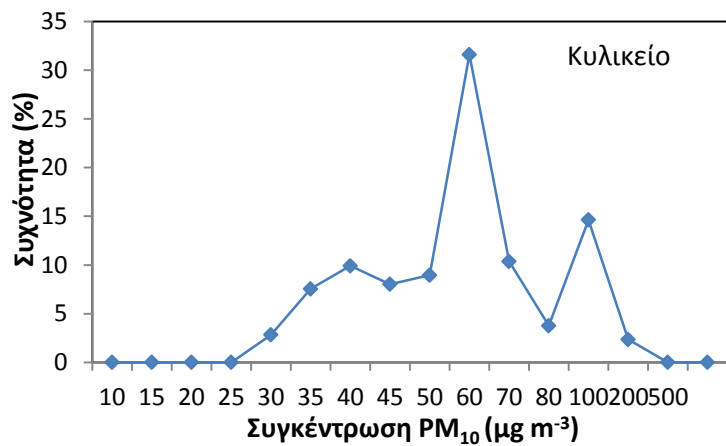
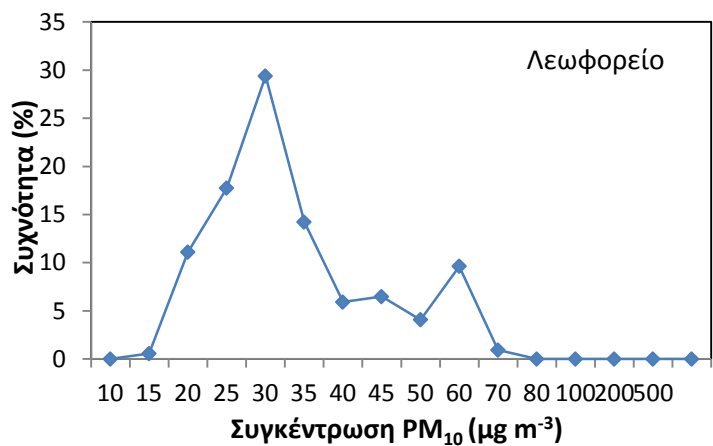
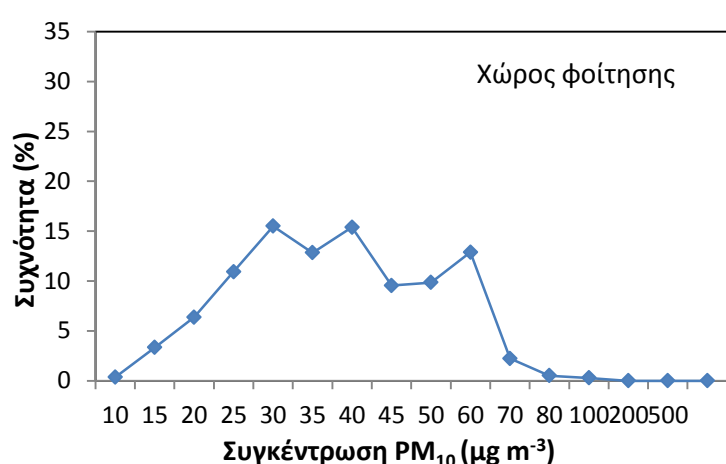
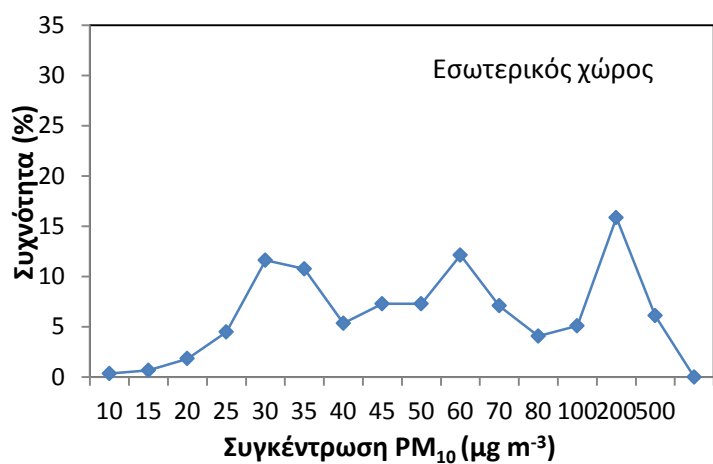
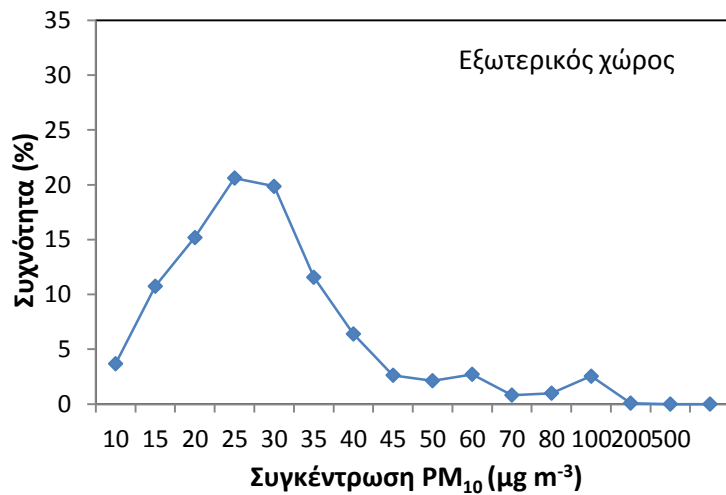
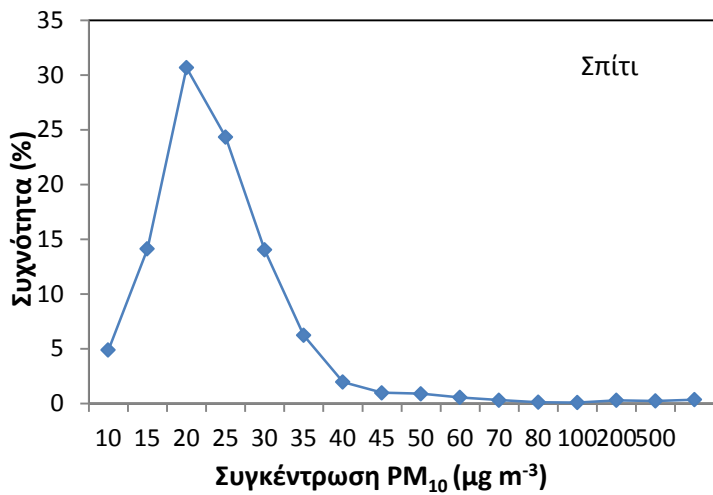
Ο Πίνακας 3.2 και το Σχήμα 3.7 περιγράφουν κάποιες χαρακτηριστικές τιμές του κάθε μικροπεριβάλλοντος, όπως τα κατηγοριοποιήσαμε εξ αρχής. Το Σχήμα 3.8 αποτελεί λεπτομέρεια του Σχήματος 3.7.



Σχήμα 3. 7: Διάγραμμα εύρους τιμών για το κάθε μικροπεριβάλλον στο σύνολο της δειγματοληψίας. Η μαύρη κουκκίδα καταδεικνύει τη μέση τιμή συγκέντρωσης, οι μεγάλες παύλες τις ακρότατες τιμές ενώ οι μικρές την τυπική απόκλιση.



Σχήμα 3. 8: Λεπτομέρεια του Σχήματος 3.7, όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι 400 μg m⁻³.



Σχήμα 3. 9: Συχνότητα (%) των μετρήσεων συγκέντρωσης PM₁₀. Κάθε σημείο αναφέρεται στη συχνότητα των συγκεντρώσεων που είναι μικρότερες ή ίσες με την αντίστοιχη τιμή του άξονα x.

Πίνακας 3. 3: Ένταση της έκθεσης για κάθε μικροπεριβάλλον καθημερινά. Με έντονο χρώμα φαίνονται οι μέγιστες τιμές κάθε μικροπεριβάλλοντος στη διάρκεια των δεκαπέντε ημερών

Μικροπεριβάλλον	Ένταση έκθεσης (exposure intensity)														
	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η	11η	12η	13η	14η	15η
Σπίτι	0,9	0,8	0,6	0,8	0,5	1,0	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7	0,2	0,7	1,0	0,7
Εξωτερικός χώρος	1,2	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	1,0	0,8	1,3	1,0	0,5	0,5	0,8	0,9	0,6
Εσωτερικός χώρος	-	0,8	2,4	5,0	3,3	1,3	1,6	2,7	2,2	3,1	-	1,4	2,6	0,9	2,0
Χώρος φοίτησης	1,5	1,4	0,9	1,2	1,0	0,9	1,2	1,0	1,1	1,1	1,5	1,3	0,7	1,1	1,1
Λεωφορείο	1,2	1,3	0,7	0,9	0,8	0,4	0,6	-	1,4	1,8	1,7	1,0	0,7	0,8	0,8
Κυλικείο	-	2,3	-	-	-	-	-	-	2,2	1,5	2,1	-	-	1,6	-
Λέσχη	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	0,8	-	1,0	1,4	1,8
Αυτοκίνητο	-	-	-	-	-	0,6	-	1,1	0,5	0,5	-	-	-	0,5	0,3

Προκειμένου να αναλύσουμε τη συμβολή κάθε μικροπεριβάλλοντος ή δραστηριότητας, υπολογίστηκε η «ένταση έκθεσης», η οποία συνδέει το κλάσμα (ποσοστό) έκθεσης του μικροπεριβάλλοντος με το κλάσμα του χρόνου της ημέρας που του αντιστοιχεί (Βουοπάννο κ.ά., 2013).

$$\text{Ένταση έκθεσης} = \text{Κλάσμα ημερήσιας έκθεσης (\%)} / \text{Κλάσμα ημερήσιου χρόνου (\%)}$$

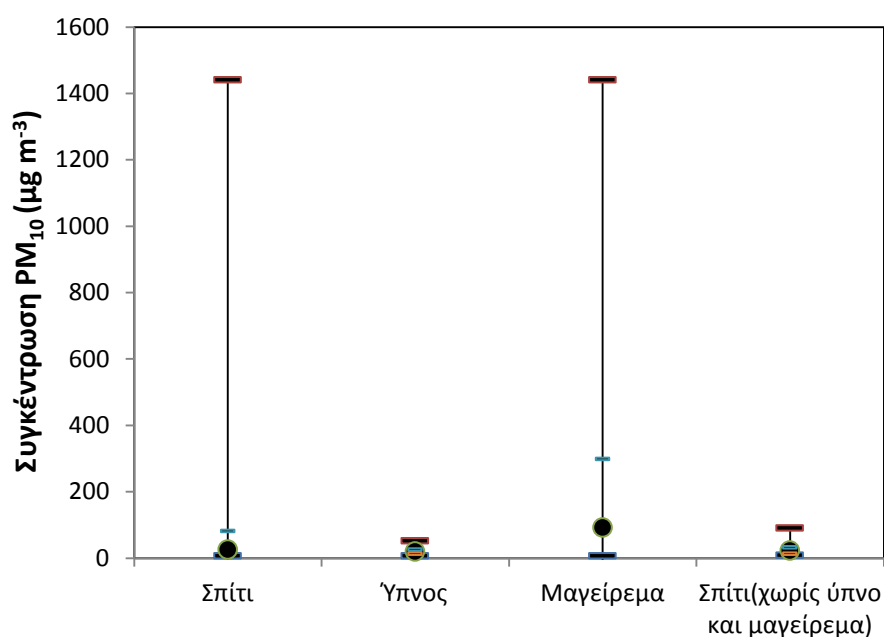
Πίνακας 3. 4: Ένταση της έκθεσης κάθε μικροπεριβάλλοντος από το σύνολο της δειγματοληψίας

Μικροπεριβάλλον	Exposure Intensity (συνολική)
Σπίτι	0,8
Εξωτερικός χώρος	0,8
Εσωτερικός χώρος	2,2
Χώρος φοίτησης	1,1
Λεωφορείο	1,0
Κυλικείο	1,7
Λέσχη	1,3
Αυτοκίνητο	0,8

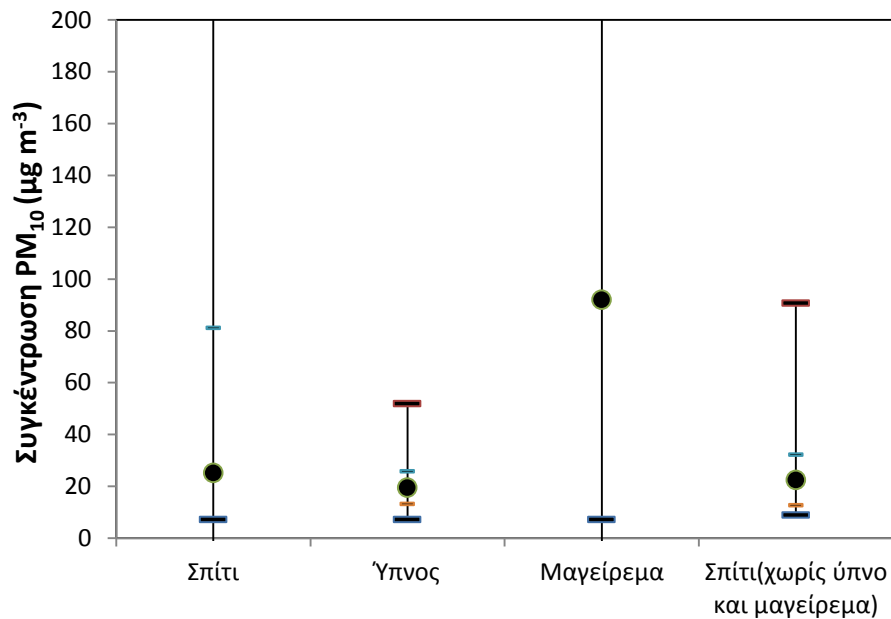
Πίνακας 3. 5: Ένταση της έκθεσης κάθε μικροπεριβάλλοντος ή δραστηριότητας από το σύνολο της δειγματοληψίας

Μικροπεριβάλλον ή δραστηριότητα	Exposure Intensity (συνολική)
Ύπνος	0,6
Μαγείρεμα	2,8
Σπίτι (άλλες δραστηριότητες)	0,7
Εξωτερικός χώρος	0,8
Εσωτερικός χώρος	2,2
Χώρος φοίτησης	1,1
Μέσα μεταφοράς	1,0
Κυλικείο	1,7
Λέσχη	1,3

Σύγκριση των δραστηριοτήτων μέσα στο μικροπεριβάλλον του σπιτιού



Σχήμα 3. 10: Διάγραμμα εύρους τιμών για το μικροπεριβάλλον του σπιτιού και των βασικών δραστηριοτήτων σε αυτό. Η μαύρη κουκκίδα καταδεικνύει τη μέση τιμή συγκέντρωσης, οι μεγάλες παύλες τις ακρότατες τιμές ενώ οι μικρές την τυπική απόκλιση.

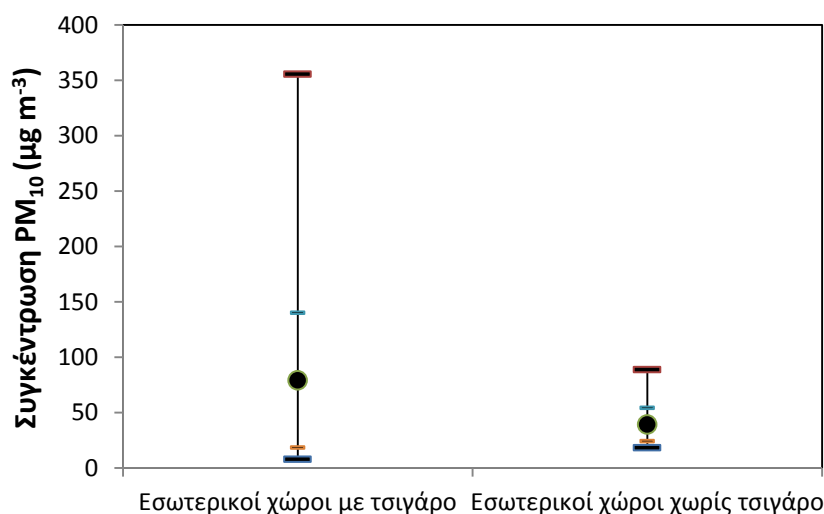


Σχήμα 3. 11: Λεπτομέρεια του Σχήματος 3.10, όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι 200 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Ένα πλήθος μελετών έχει αναδείξει τη σπουδαιότητα των εσωτερικών πηγών στην αύξηση της συγκέντρωσης των αεροζόλ. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν πολλές καθημερινές δραστηριότητες, όπως το μαγείρεμα, το σκούπισμα, το σφουγγάρισμα, το στρώσιμο του κρεβατιού, το στέγνωμα των μαλλιών με σεσουάρ, ακόμα και το περπάτημα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11, κατά τη διάρκεια του ύπνου παρατηρήθηκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες (Glytsos κ.ά., 2010) και εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το εάν χρησιμοποιήθηκε φούρνος, κατσαρόλα ή τηγάνι, αλλά και τι είδος φαγητού μαγειρεύτηκε.

Επίδραση του τσιγάρου στη συγκέντρωση σωματιδίων



Σχήμα 3. 12: Διάγραμμα εύρους τιμών σε εσωτερικούς χώρους με και χωρίς την παρουσία καπνιστών

Ο καπνός του τσιγάρου αποτελεί έναν από τους πιο επικίνδυνους και διαδεδομένους ρύπους. Πολλές μετρήσεις έλαβαν χώρα σε καφέ ή μπαρ της πόλης κυρίως τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Λόγω της εποχής, οι μετρήσεις έγιναν στο εσωτερικό αυτών των κτιρίων και τα αποτελέσματα είναι ενδεικτικά της επιβαρυμένης ατμόσφαιρας που επικρατούσε στα περισσότερα από αυτά. Αν και ο Νόμος 3730/08 (ΦΕΚ 262 Α/23-12-2008) έχει τεθεί σε ισχύ εδώ και κάποια χρόνια στην Ελλάδα και απαγορεύει το κάπνισμα σε εσωτερικούς χώρους καταστημάτων και υπηρεσιών, η πλειοψηφία των καφέ και μπαρ αποτελούν χώρους ιδιαίτερα ρυπασμένους με καπνό τσιγάρου.

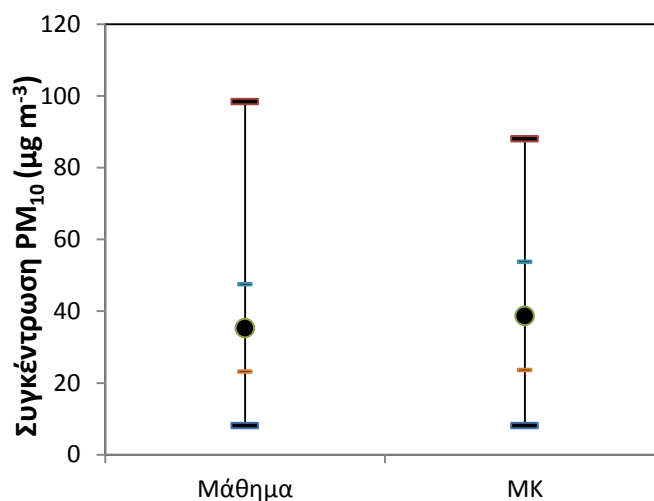
Οι συγκεντρώσεις ΑΣ, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.12, ξεπερνούν κατά πολύ το επιτρεπτό όριο των 50 μg/m³ και σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνούν ακόμα και τα 300 μg/m³. Η επίδραση από τόσο υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων ισχυροποιείται όσο πιο πολλή ώρα εκτίθεται ένα άτομο στο χώρο που επικρατούν. Συχνά, ο εξαιρισμός των χώρων είναι είτε ελάχιστος είτε ανεπαρκής για να καθαρίσει μία τόσο μολυσμένη ατμόσφαιρα.

Όπως φαίνεται στα σχήματα του Παραρτήματος Α, οι καταγεγραμμένες συγκεντρώσεις PM₁₀ σε εσωτερικούς χώρους με καπνίζοντες παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, ωστόσο παραμένουν πάντα σε υψηλά επίπεδα και οι τιμές αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Οι διακυμάνσεις είναι φυσιολογικές, αφού ο αέρας στα συγκεκριμένα μικροπεριβάλλοντα δεν είναι ομοιογενής και οι συγκεντρώσεις εξαρτώνται τόσο από τον αριθμό των

αναμμένων τσιγάρων την δεδομένη χρονική στιγμή όσο και από την εγγύτητα τους με το όργανο.

Στη βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις σωματιδίων σε κλειστούς χώρους με καπνίζοντες ακόμα υψηλότερες της παρούσας μελέτης. Για παράδειγμα σε μπαρ και ψησταριές έχουν καταγραφεί τιμές έως και $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Turco, 2002). Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνεται σε σχέση με τον αριθμό των ενεργών καπνιστών που υπάρχουν σε ένα μικροπεριβάλλον. Είναι βέβαιο ότι σε χώρους με πολλούς καπνιστές οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων συχνά ξεπερνούν σημαντικά τα προβλεπόμενα ασφαλή επίπεδα για τη δημόσια υγεία.

Σύγκριση μεταξύ των αιθουσών διδασκαλίας και των αιθουσών του Μηχανογραφικού Κέντρου



Σχήμα 3. 13: Διάγραμμα εύρους τιμών στις αίθουσες διδασκαλίας και στο Μηχανογραφικό Κέντρο

Οι αίθουσες διδασκαλίας του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και το Μηχανογραφικό Κέντρο αποτελούν δύο από τα βασικότερα μικροπεριβάλλοντα στα οποία δραστηριοποιείται ένας φοιτητής. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων για το κάθε μικροπεριβάλλον ήταν $35,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $38,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, τιμές οι οποίες δεν απέχουν ιδιαίτερα από τους μέσους όρους που υπολογίστηκαν για ολόκληρα τα εικοσιτετράωρα.

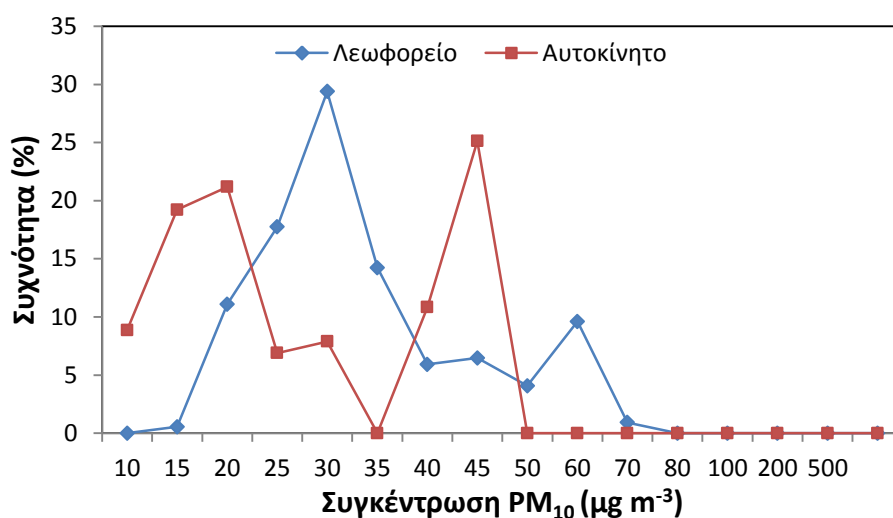
Τα εύρη τιμών, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3.13, είναι παρόμοια για τους δύο χώρους με τις μέγιστες τιμές να προσεγγίζουν τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τόσο υψηλές τιμές καταγράφηκαν κατά κύριο λόγο τις χρονικές περιόδους αμέσως μετά από την ολοκλήρωση ενός μαθήματος ή μίας επίσκεψης στο Μηχανογραφικό Κέντρο. Με το τέλος των μαθημάτων, οι φοιτητές που παρακολουθούν σηκώνονται από τις θέσεις τους και κατευθύνονται εκτός της αίθουσας, με

συνέπεια να επικρατεί συνωστισμός και να παρατηρείται μεγάλη επαναιώρηση σωματιδίων.

Το γεγονός ότι οι τιμές που επικράτησαν στα δύο διαφορετικά μικροπεριβάλλοντα ήταν παραπλήσιες μπορεί να εξηγηθεί κυρίως από το παρόμοιο είδος δραστηριότητας που επιτελούνταν. Δεν υπήρχε κάποια δραστηριότητα που να συνιστούσε σημαντική εσωτερική πηγή εκπομπής σωματιδίων, πέραν της παρουσίας των φοιτητών και της μετακίνησής τους. Επίσης, κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, στις αίθουσες του ΜΚ και στις αίθουσες διδασκαλίας βρισκόταν παρόμοιος αριθμός φοιτητών. Η ελαφρώς αυξημένη συγκέντρωση που παρατηρείται ως μέση τιμή στο ΜΚ ίσως οφείλεται σε δύο παράγοντες: πρώτον, την μικρότερη έκταση των αιθουσών του ΜΚ και δεύτερον, τη συχνότερη μετακίνηση των φοιτητών στο συγκεκριμένο μικροπεριβάλλον.

Αρκετές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί και αφορούν μετρήσεις στο περιβάλλον γραφείων με ηλεκτρονικό εξοπλισμό, κυρίως εκτυπωτές, φωτοτυπικά μηχανήματα και προσωπικούς υπολογιστές. Σε αυτές τις μελέτες έχει καταδειχθεί συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας εκτυπωτών και αυξημένης συγκέντρωσης υπέρλεπτων σωματιδίων καθώς και αερίων ενώσεων, όπως όζον, VOCs και SVOCs. Ωστόσο, δεν έχει διαπιστωθεί άνοδος της συγκέντρωσης των αεροζόλ σε αίθουσες που περιέχουν μόνο ηλεκτρονικούς υπολογιστές (Destailats κ.ά., 2008).

Σύγκριση μεταξύ των συγκεντρώσεων στα αστικά λεωφορεία και στο αυτοκίνητο



Σχήμα 3. 4: Συχνότητα (%) των μετρήσεων συγκέντρωσης PM₁₀ σε λεωφορεία και αυτοκίνητο. Κάθε σημείο αναφέρεται στη συχνότητα των συγκεντρώσεων που είναι μικρότερες ή ίσες με την αντίστοιχη τιμή του άξονα x.

Οι εκπομπές από τα μέσα μεταφοράς σχετίζονται με την καύση πετρελαιοειδών καυσίμων και με σωματίδια από την φθορά των ελαστικών (σωματίδια άνθρακα) και των φρένων (σωματίδια ασβέστου και άνθρακα) των τροχοφόρων (Λαζαρίδης, 2008). Οι Jayaratne κ.ά. (2009) παρατήρησαν και τη μεγάλη αύξηση της εκπομπής σωματιδίων από οχήματα, τα οποία αναγκάζονται να σταματούν και να επιταχύνουν λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Συγκριτικά με τη βιβλιογραφία, οι τιμές που παρατηρήθηκαν μέσα στα λεωφορεία μπορούν να χαρακτηριστούν σχετικά χαμηλές. Για παράδειγμα, οι Gomez-Perales κ.ά. (2004) μέτρησαν συγκεντρώσεις PM_{2,5} σε λεωφορεία στην Πόλη του Μεξικού και βρήκαν τη μέση τιμή να είναι 68 και 71 μg m⁻³ για τις πρωινές και τις βραδινές ώρες αντίστοιχα. Οι Chan κ.ά. (2002a) βρήκαν τη μέση τιμή PM_{2,5} σε μονώροφα λεωφορεία σε δύο μεγάλες πόλεις της Κίνας να ισούται με 97 μg m⁻³. Τέλος οι Levy κ.ά. (2002) υπολόγισαν το ίδιο μέγεθος να έχει την τιμή 105 μg m⁻³ σε πετρελαιοκίνητα λεωφορεία της Βοστώνης.

Λόγω της εποχής της δειγματοληψίας τα παράθυρα των λεωφορείων ήταν ως επί το πλείστον κλειστά και λειτουργούσε κλιματισμός. Υπήρχαν όμως και ζεστές ημέρες κατά τις οποίες κάποια παράθυρα διατηρούνταν ανοιχτά. Στη βιβλιογραφία, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν μετρηθεί σε λεωφορεία χωρίς κλιματισμό είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές σε λεωφορεία με κλιματισμό.

Πέρα από τα καυσαέρια των οχημάτων, άλλη σημαντική πηγή αεροζόλ είναι η επαναιώρηση σωματιδίων λόγω της κίνησης των οχημάτων στους δρόμους. Μάλιστα, οι

Harrison κ.ά. (2001) σημειώνουν ότι εάν αποδώσουμε τα λεπτά και χονδρά σωματίδια στην εκπομπή καυσαερίων και στην επαναιώρηση λόγω κίνησης των οχημάτων, αντίστοιχα, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επαναιώρηση λόγω κίνησης των οχημάτων έχει δυναμικότητα πηγής περίπου ίση με τη δυναμικότητα της εκπομπής καυσαερίων. Η επαναιώρηση γίνεται, μάλιστα, ακόμα πιο έντονη τους ξηρούς μήνες του έτους, αφού έχει παρατηρηθεί ότι αυξάνεται το ποσοστό των χονδρών σωματιδίων έναντι των λεπτών.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ των συγκεντρώσεων στις οποίες εκτίθενται οι επιβάτες ενός μέσου μεταφοράς και εκείνων στις οποίες εκτίθεται ένας πεζός καθώς περπατάει στο πεζοδρόμιο. Συγκρίνοντας τα δεδομένα της παρούσας μελέτης, και συγκεκριμένα τις μέσες τιμές στα μικροπεριβάλλοντα του εξωτερικού χώρου, του λεωφορείου και του αυτοκινήτου, παρατηρούμε ότι ένας πεζός δεν εκτίθεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από ότι ένας επιβάτης οχήματος. Η δειγματοληψία, μάλιστα, στον εξωτερικό χώρο έγινε με τον φοιτητή να περπατάει σε κεντρικούς δρόμους της πόλης και, συνήθως, σε ώρες με αυξημένη κίνηση.

Πρέπει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι δεν μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα, αφού στις μελέτες, οι οποίες έχουν εστιάσει στο συγκεκριμένο ζήτημα, πραγματοποιείται ταυτόχρονη δειγματοληψία από έναν πεζό και έναν επιβάτη οχήματος, ενώ μάλιστα ακολουθούν την ίδια διαδρομή. Οι Kaur κ.ά. (2007) οι οποίοι συγκέντρωσαν ένα πλήθος μελετών, αποφαίνονται ότι οι πεζοί και οι ποδηλάτες εκτίθενται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις λεπτών σωματιδίων συγκριτικά με αυτές που επικρατούν μέσα σε οχήματα, συμπεραίνοντας ότι το κέλυφος του οχήματος δεν παρέχει καμία προστασία στους επιβάτες. Η εγγύτητα, δηλαδή, στην πηγή της ρύπανσης έχει πολύ σημαντική επίδραση στις παρατηρούμενες συγκεντρώσεις. Στο ίδιο συμπέρασμα σχετικά με τους πεζούς έχουν καταλήξει και άλλες μελέτες (Praml και Scierl, 2000; US EPA, 2001)

Οι Adams κ.ά. (2001), από την άλλη, μελετώντας τη συγκέντρωση των λεπτών σωματιδίων στο μικροπεριβάλλον των δρόμων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μέσο μεταφοράς (ποδήλατο, αυτοκίνητο ή λεωφορείο) δεν παίζει σημαντικό ρόλο στα επίπεδα της συγκέντρωσης.

Η μελέτη των Briggs κ.ά. (2008) κατέληξε στο ακριβώς αντίθετο συμπέρασμα, βρίσκοντας τη συγκέντρωση των χονδρών σωματιδίων έως και 4,7 φορές υψηλότερη για τους πεζούς από ότι για τους επιβάτες οχημάτων. Διευκρίνισαν δε ότι η κύρια αιτία για αυτό είναι ότι το σύστημα φιλτραρίσματος του αέρα στο αυτοκίνητο εμποδίζει την είσοδο των σωματιδίων

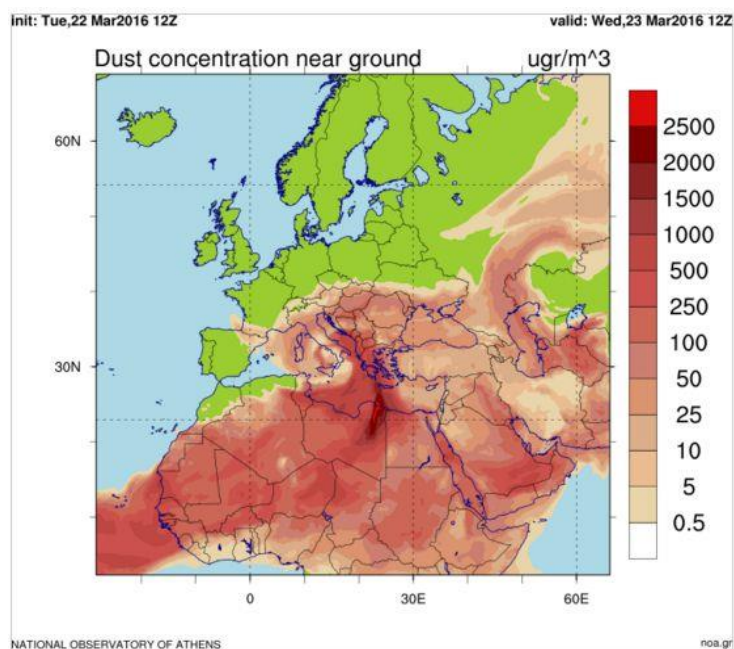
και το καθιστά ένα λίγο έως πολύ ανεξάρτητο μικροπεριβάλλον, απομονωμένο από την ατμοσφαιρική ρύπανση του δρόμου.

Στις χαμηλές συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν μέσα στο αυτοκίνητο, πιθανώς συνεισέφερε και το είδος του καύσιμου με το οποίο λειτουργούσε, δηλαδή η βενζίνη. Οι Dennekamp κ.ά. (2002) πραγματοποίησαν μετρήσεις $PM_{2,5}$ στο εσωτερικό ενός πετρελαιοκίνητου Landrover και στο εσωτερικό διάφορων βενζινοκίνητων αυτοκινήτων. Παρατήρησαν μία πολύ διακριτή διαφορά μεταξύ των δύο τύπων αυτοκινήτων, αφού η μέση τιμή $PM_{2,5}$ στο Landrover ήταν $65 \mu g m^{-3}$, ενώ στα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα ήταν $10 \mu g m^{-3}$.

Από την παρούσα μελέτη, το αυτοκίνητο κρίνεται ως ο ασφαλέστερος τρόπος μετακίνησης, σε σύγκριση με το λεωφορείο και το περπάτημα.

Επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η 14^η ημέρα των μετρήσεων καθώς κατά κύριο λόγο αποτελείται από μετρήσεις που διεξήχθησαν την 23^η Μαρτίου 2016, όπου στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης παρουσιάστηκε επεισόδιο σκόνης από την έρημο Σαχάρα (Saharan dust event) το οποίο ήταν πολύ εμφανές και δια γυμνού οφθαλμού στην πόλη των Χανίων. Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζονται οι τροχιές (trajectories) των ανέμων που έφτασαν στην ατμόσφαιρα των Χανίων την 23^η Μαρτίου όπως υπολογίστηκαν από το Hysplit Model της NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration). Πρόκειται για έξι πορείες που κατέληξαν στα Χανιά καθ' όλη τη διάρκεια της συγκεκριμένης ημέρας και καταγράφεται η πορεία που ακολούθησαν τις 72 ώρες που προηγήθηκαν. Οι τροχιές αυτές δείχνουν πως αέριες μάζες ξεκίνησαν από τη βόρεια Αφρική πριν καταλήξουν στα Χανιά, μεταφέροντας υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακής σκόνης. Το επεισόδιο αυτό οδήγησε στη μέτρηση υψηλών συγκεντρώσεων στους εξωτερικούς χώρους της πόλης των Χανίων συγκριτικά με άλλες ημέρες.



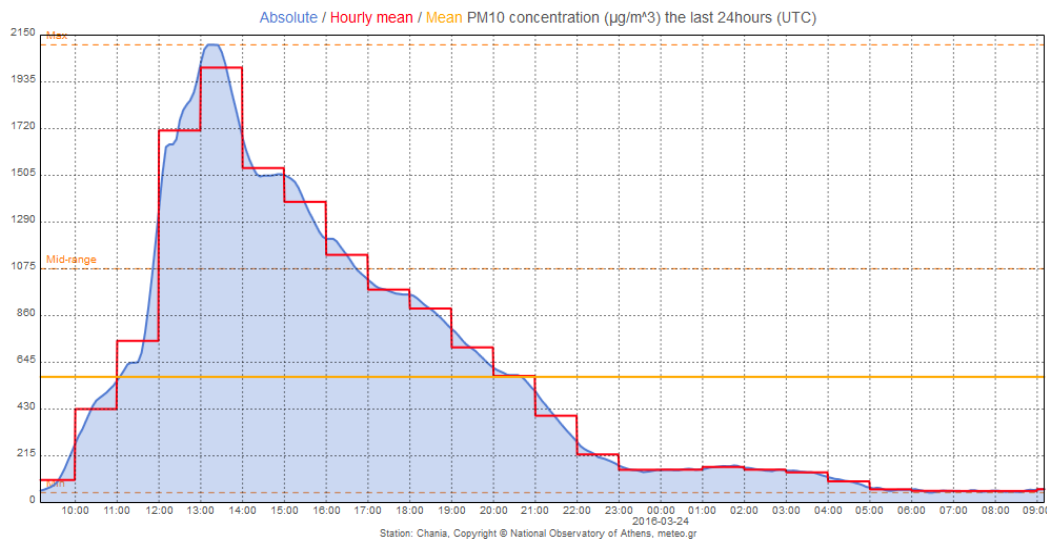
Σχήμα 3. 15: Χάρτης πρόγνωσης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων λόγω μεταφοράς σκόνης για τις 23.3.2016 από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.



Σχήμα 3. 16: Δορυφορική φωτογραφία από τη NASA όπου φαίνεται η μεταφορά σκόνης στις 23.3.2016



Σχήμα 3.17: Φωτογραφία μέρους της πόλης των Χανίων στις 23.3.2016 με εμφανές το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης.



Σχήμα 3. 18: Συγκέντρωση PM₁₀ στις 23.3.2016 στην περιοχή του Ακρωτηρίου όπως καταγράφηκε από το σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης.

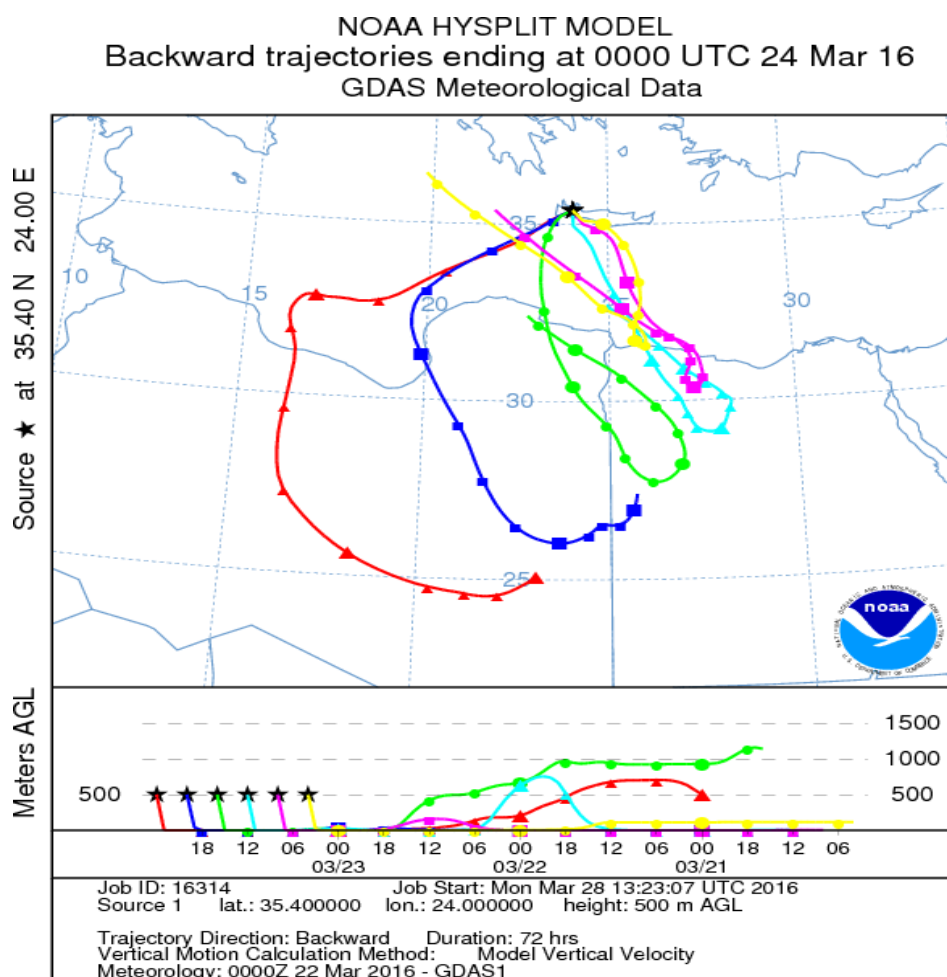
Τα επεισόδια με σωματιδιακή σκόνη από τη Σαχάρα είναι ένα συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα. Τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται και σε άλλες μεσογειακές χώρες αλλά μερικές φορές οι αέριες μάζες φθάνουν πολύ μακρύτερα. Η σκόνη της Σαχάρας μεταφέρεται συνήθως από τις πηγές της κατά μήκος τριών διευθύνσεων:

- Πάνω από την Ανατολική Μεσόγειο και φτάνοντας έως τη Μέση Ανατολή.
- Προς Βορρά πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα, με προορισμό τη Νότια Ευρώπη και μερικές φορές έως τη Σκανδιναβία.
- Δυτικά πάνω από το Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό, με προορισμό τη Βόρεια και τη Νότια Αμερική.

Τα μέταλλα που κυριαρχούν στην αφρικανική σκόνη είναι ο χαλαζίας (SiO₂), το οξείδιο του αργιλίου γνωστό ως αλουμίνη (Al₂O₃), το οξείδιο του σιδήρου (Fe₂O₃), οξείδιο του μαγνήσιου (MgO) και οξείδιο του ασβεστίου (CaO). Τα αιωρούμενα σωματίδια στη διαδρομή από την πηγή μέχρι να φτάσουν στην Ελλάδα, συσσωματώνονται με χημικές ρυπαντικές ενώσεις που υπάρχουν στα μεγάλα αστικά κέντρα με υψηλά επίπεδα ρύπανσης, όπως διάφορα οξείδια με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνα για την υγεία. Τα σωματίδια που φθάνουν στην Ελλάδα από τη Σαχάρα, είναι τα μικρότερα και ελαφρύτερα, διότι τα μεγαλύτερα, ως βαρύτερα, εναποτίθενται στη διαδρομή (ξηρή εναπόθεση).

Η έρημος Σαχάρα αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή σωματιδίων ορυκτής προέλευσης στον κόσμο. Η μεταφορά της σκόνης στην Ελλάδα είναι αποτέλεσμα της ύπαρξης ενός βαρομετρικού συστήματος πάνω από τη βορειοδυτική Αφρική και τη δυτική Μεσόγειο και την ταυτόχρονη επικράτηση νοτιοδυτικών ανέμων.

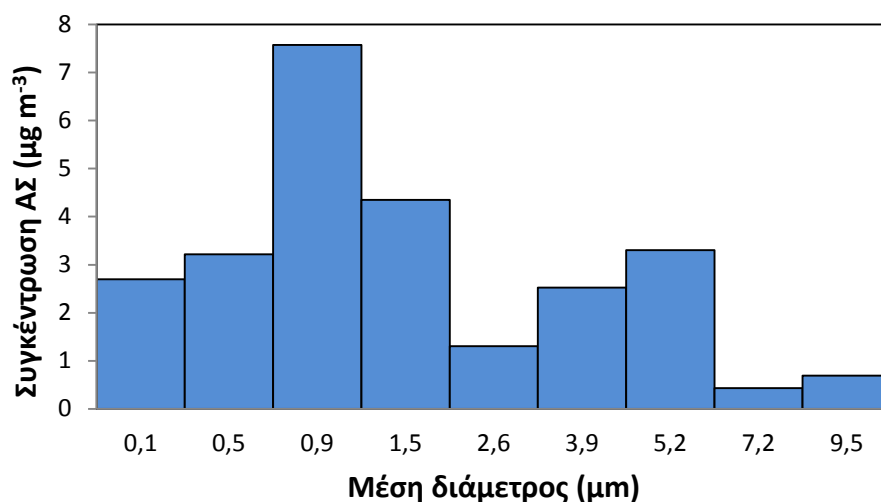
Εμφανώς πυροδοτείται από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Από την ύπαρξη δηλαδή ενός βαρομετρικού συστήματος πάνω από τη βορειοδυτική Αφρική και τη δυτική Μεσόγειο και την ταυτόχρονη επικράτηση νοτιοδυτικών ανέμων. Οι συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες εμφανίζονται κυρίως την άνοιξη, γι' αυτό και το φαινόμενο παρουσιάζει έξαρση από αρχές Μαρτίου έως αρχές Ιουνίου.



Σχήμα 3. 19: Ανάδρομες τροχιές αερίων μαζών κατά τις 23.3.2016 στα Χανιά.

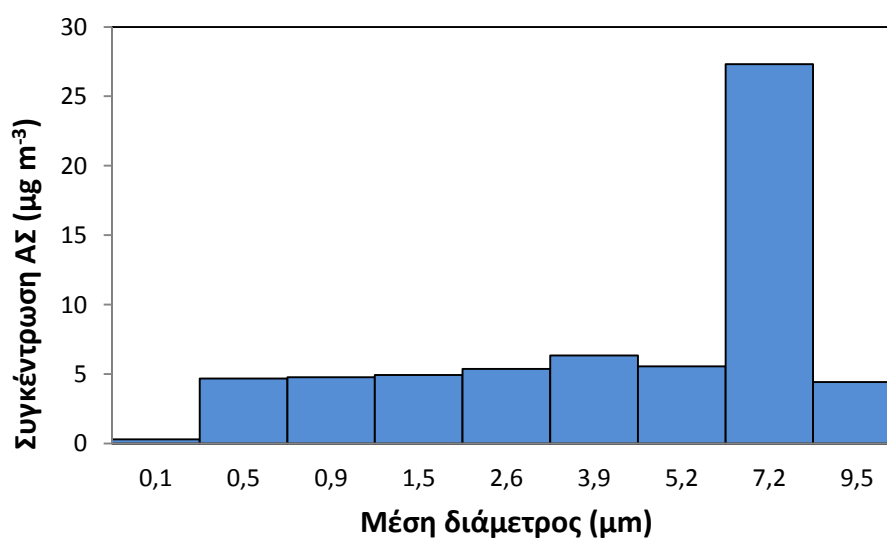
3.2 Αποτελέσματα των μετρήσεων με το όργανο Andersen C.I.

Στο Σχήμα 3.20 φαίνονται οι συγκεντρώσεις μάζας των αεροζόλ στην Πλατεία Δικαστηρίων για κάθε στάδιο του προσκρουστήρα. Στον οριζόντιο άξονα αναγράφονται οι μέσες διαμέτροι από το εύρος διαμέτρων του κάθε σταδίου.



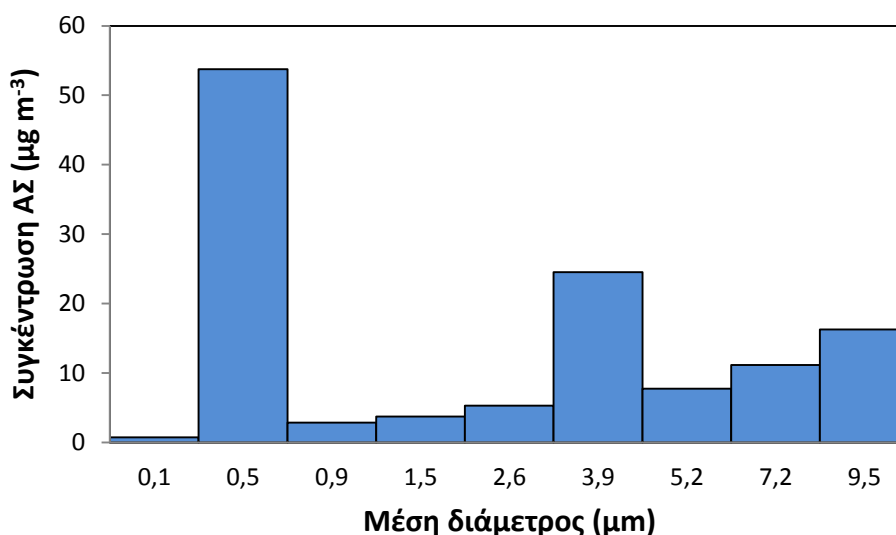
Σχήμα 3.20: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από 24-ωρη μέτρηση στην Πλατεία Δικαστηρίων.

Οι συγκεντρώσεις μάζας των αεροζόλ στο σπίτι για κάθε στάδιο του προσκρουστήρα υπολογίστηκαν κατά τον ίδιο τρόπο με πριν και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 4.21.



Σχήμα 3. 21: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από 24-ωρη μέτρηση στο σπίτι.

Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.21 ήταν αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και μετέπειτα για τη λειτουργία του ExDoM. Αρχικά όμως, κατά την επεξεργασία με το υπολογιστικό πρόγραμμα Ms Excel της μέτρησης αυτής από τη χρήση του Andersen C.I. στο σπίτι, εκ παραδρομής υπολογίστηκαν συγκεντρώσεις αεροζόλ οι οποίες δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα. Για αυτό το λόγο, αποφασίστηκε τότε να μην χρησιμοποιηθούν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα για περαιτέρω χρήση και η 24-ωρη μέτρηση με τον Andersen στο σπίτι επαναλήφθηκε. Το λάθος στην πορεία ανακαλύφθηκε, οπότε χρησιμοποιήθηκε εν τέλει η πρώτη μέτρηση που είχε γίνει. Τα αποτελέσματα, ωστόσο, της δεύτερης μέτρησης παρουσιάζονται και αυτά στο Σχήμα 3.22.



Σχήμα 3. 22: Συγκέντρωση μάζας ΑΣ για κάθε στάδιο του Andersen C.I. όπως υπολογίστηκε από τη δεύτερη 24-ωρη μέτρηση στο σπίτι. (Τα αποτελέσματα δεν χρησιμοποιήθηκαν)

3.3 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον Andersen C.I.

- Εξωτερικό περιβάλλον

Αναφορικά με τη μέτρηση που έγινε στην Πλατεία Δικαστηρίων αυτή είχε ως σκοπό να αποτελέσει μια αντιπροσωπευτική απεικόνιση της κατανομής σωματιδίων σε εξωτερικό περιβάλλον και δη στον αστικό ιστό, όπου εξάλλου έγινε και η συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων με το SidePak στον εξωτερικό χώρο.

Η πειραματική μέτρηση μας έδωσε συγκέντρωση $PM_{10} = 26,1 \mu g/m^3$, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση τιμή της συγκέντρωσης, $PM_{10} = 27,5 \pm 15,0 \mu g/m^3$, που είχαμε

υπολογίσει από τις μετρήσεις με το SidePak για τον εξωτερικό χώρο. Βέβαια, η τιμή αυτή είχε προκύψει από συνολικά 20,2 ώρες στις 15 ημέρες των μετρήσεων (ποσοστό 5,6%), οπότε δεν μπορεί να αποτελέσει μια πολύ αξιόπιστη προσέγγιση για την πραγματική τιμή της συγκέντρωσης των PM_{10} στην πόλη των Χανίων. Επίσης, η πλειοψηφία των μετρήσεων με το SidePak είχαν πραγματοποιηθεί στο διάστημα 09:00-23:00, όπου η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους ήταν σίγουρα πιο αυξημένη σε σχέση με τις νυχτερινές ώρες. Για το λόγο αυτό περιμέναμε ίσως το αποτέλεσμα από το SidePak να εμφανιστεί πιο αυξημένο σε σχέση με την τιμή του Andersen C.I.. Αξίζει να σημειωθεί πάντως ότι η Πλατεία Δικαστηρίων είναι ένα πολύ κεντρικό σημείο με κυκλοφορία οχημάτων για μεγάλο μέρος του 24-ώρου. Φυσικά, ρόλο παίζουν και οι μετεωρολογικές παράμετροι στη συγκέντρωση αεροζόλ και από τη στιγμή που έγινε μέτρηση με τον Andersen C.I. μόνο για ένα 24-ωρο, οι συνθήκες την συγκεκριμένη ημέρα επηρέασαν και το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Παρατηρώντας την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων στο Σχήμα 3.20 βλέπουμε ότι κυριαρχούν τα λεπτά σωματίδια. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα είναι $PM_{10}=26,1 \mu g/m^3$, $PM_{2,1}(\text{λεπτά})=17,8 \mu g/m^3$ και $PM_{10-2,1}(\text{χονδρά})=8,3 \mu g/m^3$. Δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνουν τα λεπτά σωματίδια είναι περίπου 68%.

- Εσωτερικό περιβάλλον

Η μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στο σπίτι χρησιμοποιήθηκε για να προσεγγίσουμε την κατανομή των σωματιδίων στον εσωτερικό χώρο ως μικροπεριβάλλον. Βέβαια η έννοια αυτή στη συγκεκριμένη μελέτη καλύπτει ένα ευρύ φάσμα χώρων, όπως το σπίτι, οι αίθουσες διδασκαλίας και το Μηχανογραφικό Κέντρο του ΠΚ, δημόσιες υπηρεσίες, καφετέριες και άλλους χώρους.

Η πρώτη μέτρηση, η οποία και τελικά χρησιμοποιήθηκε, έδωσε συγκέντρωση $PM_{10} = 63,7 \mu g/m^3$, η οποία είναι υπερδιπλάσια της μέσης τιμής που μετρήθηκε στο χώρο του σπιτιού με το SidePak ($PM_{10} = 25,2 \mu g/m^3$). Κατά τις μέρες μέτρησης με το SidePak, η δειγματοληψία λάμβανε χώρα στο σπίτι κατά μέσο όρο για το 56% του 24ώρου, δείγμα αρκετά ικανό για να έχουμε μια καλή προσέγγιση της συγκέντρωσης που επικρατούσε σε αυτό. Η διαφορά αυτή ίσως εξηγείται αν λάβουμε υπόψη δύο παραμέτρους.

Η μία παράμετρος αφορά την παρουσία και τις δραστηριότητες του φοιτητή στο σπίτι κατά την ημέρα της μέτρησης με τον Andersen C.I.. Ο φοιτητής πέρασε αρκετά μεγαλύτερο μέρος της ημέρας αυτής μέσα στο σπίτι, καθώς ήταν ανάγκη να επιτηρεί τακτικά το όργανο για τη σωστή λειτουργία του. Η παρουσία ενός ανθρώπου στο σπίτι έχει ως αποτέλεσμα

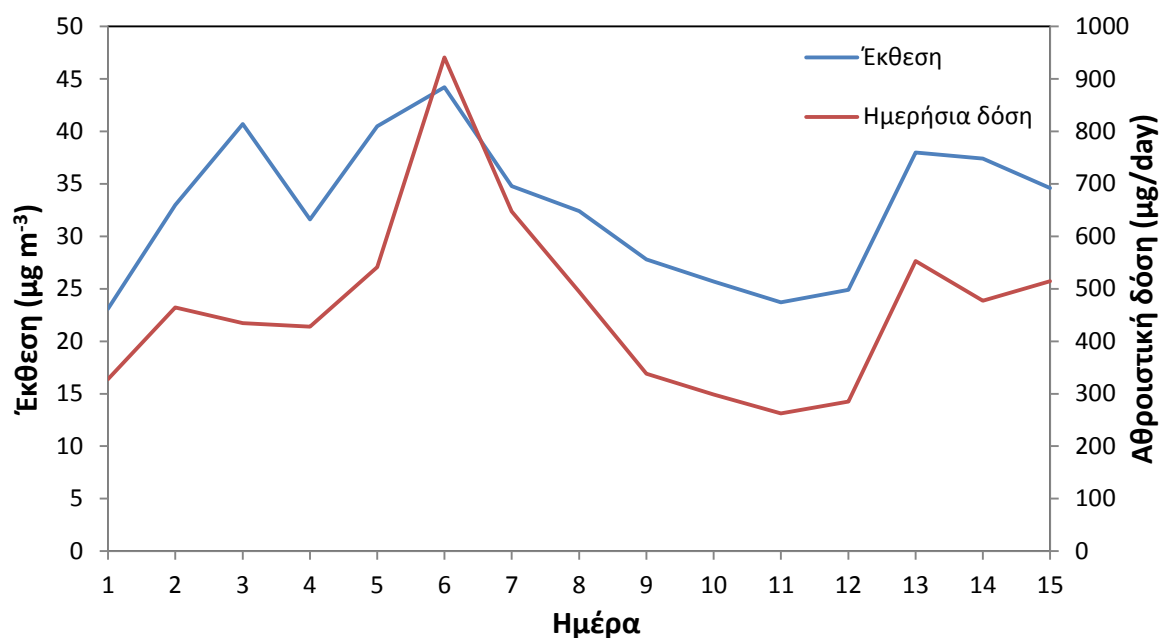
μεγαλύτερες συγκεντρώσεις , όπως έχει επισημανθεί λόγω διάφορων δραστηριοτήτων, επαναιώρησης σωματιδίων κλπ., σε σχέση με την ώρα του ύπνου ή της απουσίας του. Επίσης, την ημέρα αυτή, ο φοιτητής μαγείρεψε, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή σωματιδίων, ενώ η δραστηριότητα αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο σε 7 από τις 15 ημέρες μετρήσεων με το SidePak.

Η άλλη παράμετρος αφορά τη διαφορετική λειτουργία του Andersen C.I. σε σχέση με το SidePak. Το SidePak πρόκειται για ένα όργανο συνεχούς μέτρησης, το οποίο μπορεί να καταγράψει τη μέση συγκέντρωση που μετρά μέχρι και για διάστημα τόσο μικρό όσο το 1 λεπτό . Από την άλλη, ο Andersen C.I. αποτελεί ένα όργανο σταθμικής μέτρησης, όπου μετά το πέρας του διαστήματος μέτρησης πρέπει να γίνει αλλαγή φίλτρων για να επαναχρησιμοποιηθεί. Όπως έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες (Lazaridis κ.ά., 2006; Long κ.ά., 2001), τα όργανα συνεχούς μέτρησης μετρούν, γενικά, χαμηλότερες μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις PM_{10} σε σύγκριση με όργανα σταθμικής μέτρησης. Στις μελέτες αυτές, σε αντίθεση με την παρούσα, τα δύο όργανα βρίσκονταν ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο και στην ίδια ημέρα. Η χαμηλότερη συγκέντρωση της συνεχούς μέτρησης οφείλεται σε θερμική εξαγωγή που προκαλείται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και την απώλεια ημιπτητικών ενώσεων καθώς το ρεύμα αέρα εισέρχεται στο στόμιο εισόδου του οργάνου (McMurry, 2000).

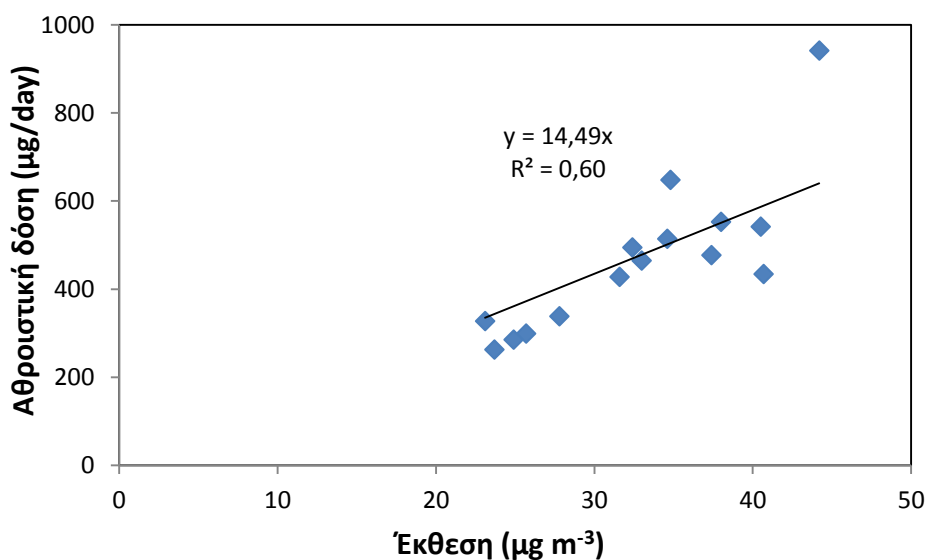
Παρατηρώντας την κατανομή μεγέθους των σωματιδίων (Σχήμα 3.21) βλέπουμε ότι κυριαρχούν τα χονδρά σωματίδια. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα είναι $PM_{10}=63,7 \mu g/m^3$, $PM_{2,1}(\lambda\epsilon\pi\tau\acute{\alpha})=14,7 \mu g/m^3$ και $PM_{10-2,1}(\chi\omicron\nu\delta\rho\acute{\alpha})=41,0 \mu g/m^3$. Δηλαδή το ποσοστό που καταλαμβάνουν τα χονδρά σωματίδια είναι περίπου 64%.

Η δεύτερη μέτρηση, η οποία δεν χρησιμοποιήθηκε, έδωσε συγκέντρωση $PM_{10} = 126,1 \mu g/m^3$, η οποία είναι περίπου διπλάσια από την πρώτη μέτρηση. Πιθανές αιτίες για μια τέτοια τιμή δόθηκαν προηγουμένως. Όσον αφορά την κατανομή μεγέθους, η μάζα είναι ισόποσα μοιρασμένη μεταξύ των δύο κατηγοριών ($PM_{2,1}(\lambda\epsilon\pi\tau\acute{\alpha})=61,1 \mu g/m^3$ και $PM_{10-2,1}(\chi\omicron\nu\delta\rho\acute{\alpha})=65,0 \mu g/m^3$).

3.4 Αποτελέσματα υπολογισμού δόσης με το μοντέλο ExDoM



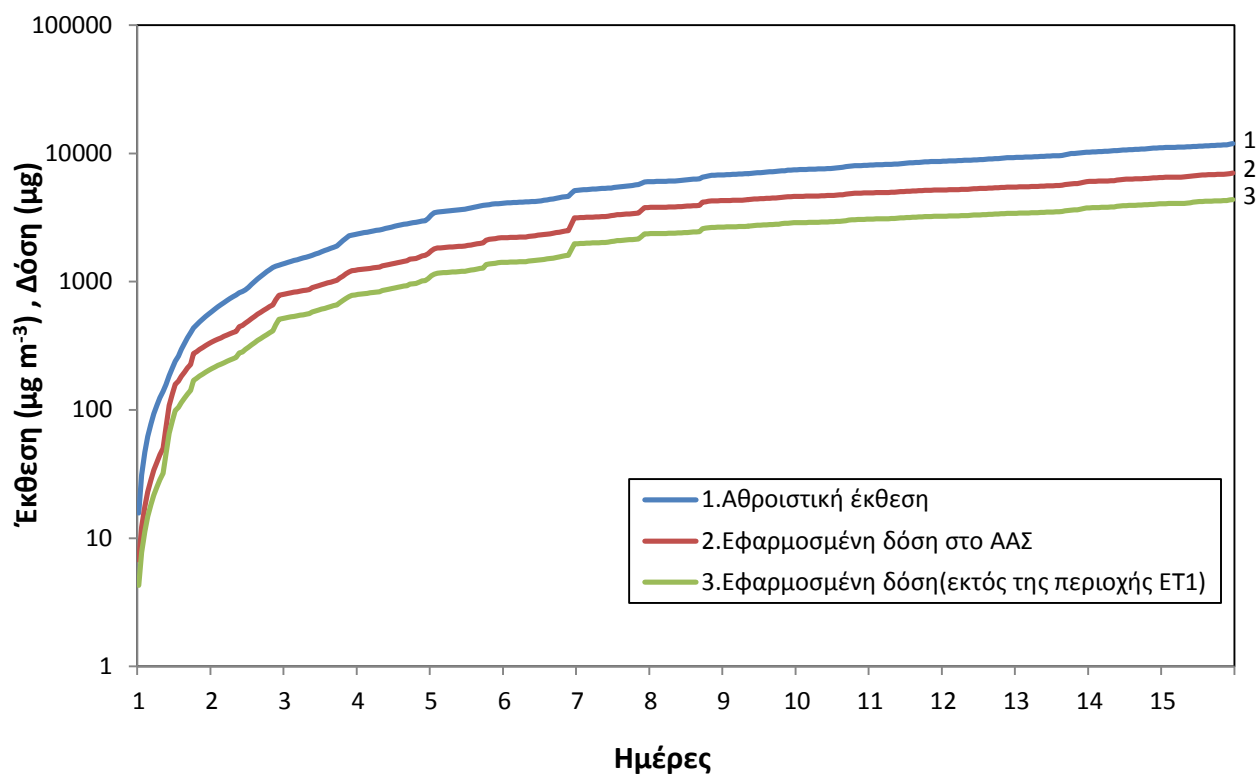
Σχήμα 3. 23: Η καθημερινή μεταβολή της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης PM_{10} και της αθροιστικής δόσης στο ΑΑΣ.



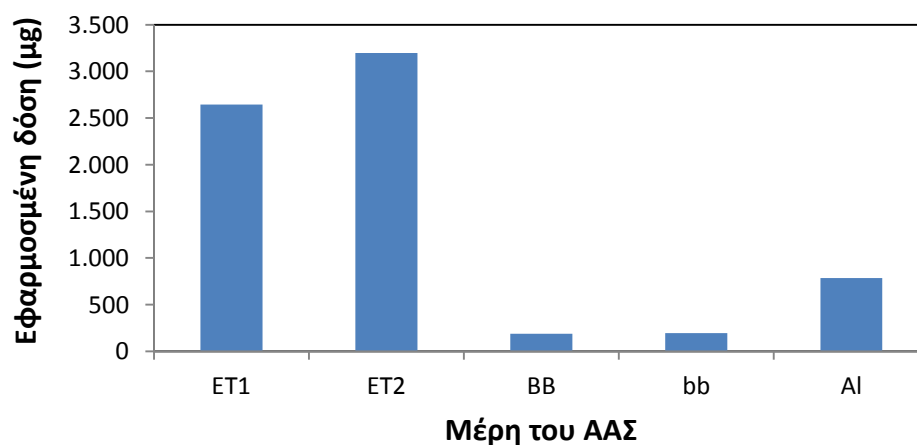
Σχήμα 3. 24: Σχέση μεταξύ έκθεσης και δόσης αιωρούμενων σωματιδίων

Στα Σχήματα 3.23 και 3.24 φαίνεται η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της ημερήσιας μέσης συγκέντρωσης PM_{10} στην οποία εκτίθεται ο φοιτητής και της αθροιστικής δόσης που υπολογίστηκε με το ExDoM. Παρατηρούμε ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων οδηγούν σε μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων που επικάθονται στο

αναπνευστικό σύστημα. Η γραμμική σχέση, ωστόσο, δεν είναι ισχυρή, αφού η δόση καθορίζεται από ένα ευρύ σύνολο παραγόντων.



Σχήμα 3. 25: Αθροιστική έκθεση και εφαρμοσμένη δόση PM_{10} στο ΑΑΣ την περίοδο της δειγματοληψίας.



Σχήμα 3. 26: Η εφαρμοσμένη δόση PM_{10} στα διάφορα μέρη του ΑΑΣ έπεται από τις δεκαπέντε ημέρες έκθεσης

Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται τα διαγράμματα εφαρμοσμένης δόσης PM_{10} στα διάφορα μέρη του ΑΑΣ καθώς και τα διαγράμματα αθροιστικής έκθεσης, εφαρμοσμένης και εσωτερικής δόσης για κάθε ημέρα.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Συμπεράσματα

Αρχικά, έγινε ανάλυση των συγκεντρώσεων που μετρήθηκαν στη διάρκεια των 15 ημερών, επικεντρώνοντας στις μέσες τιμές που παρατηρήθηκαν για κάθε ημέρα. Οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων δεν ξεπέρασαν το όριο των $50 \mu g m^{-3}$, που έχει θεσμοθετηθεί από την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Οι διακυμάνσεις, ωστόσο, κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου ήταν ιδιαίτερα σημαντικές και πολλές φορές οι συγκεντρώσεις πήραν πολύ υψηλές τιμές, ξεπερνώντας συχνά τα $300 \mu g m^{-3}$. Η χρησιμοποίηση μίας μέσης τιμής για το επίπεδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξομαλύνει τις συγκεντρώσεις αιχμής και, με αυτό τον τρόπο, μπορεί να οδηγήσει σε αναξιόπιστες εκτιμήσεις της έκθεσης (Manigrasso κ.ά., 2013). Επίσης, πολλές μελέτες έχουν προτείνει, ότι οι βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις στην συγκέντρωση των αεροζόλ και η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ακόμη και για διάρκεια μικρότερη της 1 ώρας, αυξάνουν τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα (Buonanno κ.ά., 2013).

Ως τα πιο επιβαρυμένα μικροπεριβάλλοντα αναδείχθηκαν οι εσωτερικοί χώροι και ειδικότερα οι καφετέριες, τα μπαρ, αλλά και τα κυλικεία του Πολυτεχνείου Κρήτης, όπου υπήρχε η παρουσία ενεργών καπνιστών. Οι υψηλότερες, όμως, συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν μέσα στο μικροπεριβάλλον του σπιτιού κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι όσον αφορά το χώρο φοίτησης (αίθουσες διδασκαλίας, αίθουσες Μηχανογραφικού Κέντρου και διάδρομοι) δεν υφίσταται πρόβλημα κακής ποιότητας του αέρα και ότι οι εξεταζόμενοι χώροι πληρούν τις απαραίτητες συνθήκες άνεσης. Οι συγκεντρώσεις αεροζόλ στους δρόμους της πόλης κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα, παρότι πολλές δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν δίπλα σε δρόμους με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ο φοιτητής εκτέθηκε στα χαμηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης PM_{10} κατά μέσο όρο στο μικροπεριβάλλον του σπιτιού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του ύπνου αλλά και κατά τη διάρκεια των ωρών μέσα στην ημέρα που δεν υπήρχε κάποια ενεργή πηγή παραγωγής σωματιδίων.

Ιδιαίτερη ανάλυση έγινε στο αστικό μικροπεριβάλλον μεταφορών, καθώς σε αυτό δεν εκτίθενται μόνο τα άτομα που βρίσκονται σε μηχανοκίνητα οχήματα, αλλά επίσης τα άτομα που περιμένουν σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα άτομα που εργάζονται σε δρόμους με κίνηση, τα άτομα που ζουν σε μονοκατοικίες ή διαμερίσματα με θέα σε οδούς με πυκνή κυκλοφορία, τα άτομα που διαθέτουν καταστήματα ή άλλους δημόσιους χώρους σε δρόμους με κίνηση, τα άτομα που μετακινούνται από την κατοικία στην εργασία τους με ποδήλατο και τα άτομα που περιμένουν σε στάσεις για να χρησιμοποιήσουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς (π.χ. αστικά λεωφορεία). Από την παρούσα μελέτη, το αυτοκίνητο κρίνεται ως ο ασφαλέστερος τρόπος μετακίνησης, σε σύγκριση με το λεωφορείο και το περπάτημα.

Αν και η μεγάλη πλειοψηφία των τοξικολογικών μελετών συσχετίζει τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία με την έκθεση, τα σωματίδια που αποτίθενται στο αναπνευστικό σύστημα είναι τελικά αυτά που προκαλούν την απόκριση του οργανισμού. Παρατηρήθηκε ότι η γραμμική συσχέτιση μεταξύ έκθεσης και δόσης δεν είναι ισχυρή όπως συχνά λαμβάνεται σε επιδημιολογικές μελέτες. Επίσης η αύξηση της φυσικής δραστηριότητας (ρυθμός και συχνότητα εισπνοής) οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού δόσης. Τέλος, τα σωματίδια αποτίθενται, κατά κύριο λόγο, στο ανώτερο τμήμα του αναπνευστικού συστήματος, αν και ένα σημαντικό ποσοστό φθάνει μέχρι και την κυψελιδική περιοχή των πνευμόνων.

4.2 Προτάσεις

Τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για την καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων και των μηχανισμών που επηρεάζουν την έκθεση ενός φοιτητή σε αιωρούμενα σωματίδια σε ένα αστικό μικροπεριβάλλον. Έγινε μία ολοκληρωμένη παρουσίαση των συγκεντρώσεων PM_{10} στα διάφορα μικροπεριβάλλοντα και των πηγών τους σε αυτά. Πέραν τούτου, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα για την κάλυψη και άλλων μικροπεριβαλλόντων στα οποία δύναται να εκτεθεί ένας φοιτητής και τα οποία δεν παρουσιάστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία. Τέτοια μικροπεριβάλλοντα μπορεί να είναι οι βιβλιοθήκες, τα θέατρα, οι κινηματογράφοι αλλά και χώροι εκτός αστικού ιστού. Επίσης, επόμενες μελέτες θα πρέπει να καλύπτουν και άλλες εποχές του χρόνου, ώστε να παρατηρηθεί αν το επίπεδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης επηρεάζεται σημαντικά ή όχι. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελλοντική έρευνα παρουσιάζει η διεξαγωγή μετρήσεων για την

εκτίμηση των επιπέδων συγκέντρωσης των λεπτών σωματιδίων, τα οποία έχουν συσχετιστεί περισσότερο με τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, η στοιχειακή ανάλυση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων θα μας έδινε ενδιαφέροντα δεδομένα για τον προσδιορισμό του χημικού τους περιεχομένου. Το χημικό περιεχόμενο θα βοηθούσε στην λεπτομερέστερη συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με τις πηγές από τις οποίες προήλθαν.

Βιβλιογραφία

- Adams, H.S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colville, R.N. (2001). Determinants of fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmospheric Environment*, 35, 4557–4566.
- Aleksandropoulou, V., Lazaridis, M. (2010). Development and application of a model (ExDoM) for calculating the respiratory tract dose and retention of particles under variable exposure conditions. *Air Quality, Atmosphere, and Health*, 6, 13-26.
- Baron, P.A., Willeke, K. (2001). *Aerosol Measurement*, second edition, Wiley-Interscience.
- Briggs, D.J., de Hoogh, K., Morris, C., Gulliver, J. (2008). Effects of travel mode on exposures to particulate air pollution. *Environment International*, 34, 12–22.
- Buonanno, G., Marks, G.B., Morawska, L. (2013). Health effects of daily airborne particle dose in children: Direct association between personal dose and respiratory health effects. *Environmental Pollution*, 180, 246-250.
- Chan, L.Y., Lau, W., Lee, S., Chan, C.Y. (2002a). Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 36, 3363.
- Dab, W., Ségala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Moullec, le Y., Tertre, le A., Médina, S., Quénel, P., Wallaert, B., Zmirou, D. (2001). Air pollution and health: correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. *Journal of Air & Waste Management Association*, 51, 220–235.
- Dennekamp, M., Mehenni, O., Cherrie, J., Seaton, A. (2002). Exposure to ultrafine particles and PM_{2.5} in different microenvironments. *Annals of Occupational Hygiene* 46 (Suppl. 1), 412.
- EC - Working Group on Guidance for the Demonstration of Equivalence (2010). Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>
- Ferro, A.R., Kopperud, R.J., Hildemann, L.M. (2002). Exposure to house dust from human activities. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Monterey CA, 527-532.

Gomez-Perales, J.E., Colvile, R.N., Nieuwenhuijsen, M.J., Fernandez-Bremauntz, A., Gutierrez-Avedoy, V.J., Paramo-Figueroa, V.H., et al (2004). Commuters' exposure to PM_{2.5}, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 38, 1219–29.

Harrison, R.M., Yin, J., Mark, D., Stedman, J., Appleby, R.S., Booker, J., Moorcroft, S. (2001). Studies of the coarse particle (2.5-10 µm) component in UK urban atmospheres. *Atmospheric Environment*, 35, 3667-3679.

He, C., Morawska, L., Hitchins, J., Gilbert, D. (2004). Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* 38, 3405-3415.

Health Effects Institute-Asbestos Research (1991). Asbestos in Public and Commercial Buildings: A Literature Review and Synthesis of Current Knowledge. Health Effects Institute, Cambridge MA.

Hinds, W.C. (1999). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. John Wiley & Sons.

ICRP - International Commission on Radiological Protection (1994). Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Annals of the ICRP 24 (4). Pergamon, Oxford.

ICRP - International Commission on Radiological Protection (2002). Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model. Annals of the ICRP 32 (1-2). Pergamon, Oxford.

IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Climate Change 2007, The physical science basis.

Jayaratne, E.R., Wang, L., Heuff, D., Morawska, L., Ferreira, L. (2009). Increase in particle number emissions from motor vehicles due to interruption of steady traffic flow. *Transportation Research Part D* 14, 521–526.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Tertre, le A., Monopolis, Y., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H., Wojtyniak, B., Paldy, A., Barunstein, R., Pekkanen, J., Schnidler, C., Schwartz, J. (2001). Confounding and effect modification in the

short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project.*Epidemiology*, 12, 521-531.

Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M.J., Colville, R.N. (2007). Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments.*Atmospheric Environment*, 41, 4781–4810.

Koutrakis, P., Briggs, S.L.K., Leaderer, B.P. (1992). Source apportionment of indoor aerosols in Suffolk and Onondaga counties New York.*Environmental Science & Technology*, 26, 521-527.

Krewski, D., Burnett, R.T., Goldberg, M.S., Hoover, K., Siemiatycki, J., Jerrett, M., Abrahamowicz, M., White, W.H.(2000). Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality.*HEI Special Report*.The Health Effects Institute, US.

Lazaridis, M., Aleksandropoulou, V., Smolik, J., Hansen, J.E., Glytsos, T., Kalogerakis, N., Dahlin, E. (2006).Physico-chemical characterization of indoor/outdoor particulate matter in two residential houses in Oslo, Norway: measurements overview and physical properties – URBAN-AEROSOL Project. *Indoor Air*, 16, 282-295.

Levy, J.I., Dumyahn, T., Spengler, J.D. (2002). Particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in indoor and outdoor microenvironments in Boston, Massachusetts.*Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 12, 104.

Long, C.M., Suh, H.H.,Koutrakis, P. (2000). Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1236-1250.

Long, C.M., Suh, H.H., Catalano, P.J., Koutrakis, P. (2001).Using time- and size-resolved particulate data to quantify indoor penetration and deposition behavior.*Environmental Science & Technology*, 35, 2089-2099.

Manigrasso, M., Stabile, L., Avino, P., Buonanno, G. (2013).Influence of measurement frequency on the evaluation of short-term dose of sub-micrometric particles during indoor and outdoor generation events.*Atmospheric Environment* 67 , 130-142.

Martins, V., Cruz Minguillón, M., Moreno, T., Querol, X., de Miguel, E., Capdevila, M., Centelles, S., Lazaridis, M. (2015). Deposition of aerosol particles from a subway microenvironment in the human respiratory tract.*Journal of Aerosol Science*, 90, 103-113.

McMurry, P.H. (2000). A review of atmospheric aerosol measurements. *Atmospheric Environment*, 34, 1959-1999.

Monn, Ch., Braendli, O., Schaeppli, G., Schindler, Ch., Ackermann-Liebrich, U., Leuenberger, Ph. and Sapaldia team (1995). Particulate matter < 10 µm (PM₁₀) and total suspended particulates (TSP) in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 29, 2565-2573.

Nagda, N.L., Rector, H.E. (2001). Instruments and Methods for Measuring Indoor Air Quality. Εμπεριέχεται στο ντόμο Spengler, J.D., Samet, J.M. and McCarthy, J.F. Indoor Air Quality Handbook. McGrawHill.

Pope, C.A., Dockery, D.W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of Air & Waste Management Association*, 56, 709-742.

Praml, G, Schierl, R. (2000). Dust exposure in Munich public transportation: a comprehensive 4-year survey in buses and trams. *Int Arch Occup Environ Health*, 73(3), 209–14.

Schlesinger, R. (1988). Biological Disposition of Airborne Particles: Basic Principles and Application to Vehicular Emissions. Περιλαμβάνεται στο βιβλίο: Watson, A.Y., Bates, R.R. and Kennedy, D. (Εκδότες). Air Pollution, the Automobile, and Public Health. National Academy Press.

Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998). Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons.

Tucker, W.G. (2000). An overview of PM_{2.5} sources and control strategies. *Fuel Processing Technology*, 65-66, 379-392.

Tuckett, C.J., Holmes, P., Harrison, P.T.C. (1998). Airborne particles in the home. *Journal of Aerosol Science*, 29, 293-294.

US EPA (2001). Exposure Factors Handbook. Washington DC: National Center for Environmental Assessment, Office of Research Development. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

US EPA (2002). Air Quality Criteria for Particulate matter. Reports EPA/600/P-99/002aC. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

US EPA (2004). Air Quality Criteria for Particulate matter. Reports EPA/600/P-99/002aF, EPA/600/P-99/002bF. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Wilson, R., Spengler, J.D. (1996). Particles in our air: concentrations and health effects. Boston: Harvard University Press.

Αλεξανδροπούλου, Β. (2013). Ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για την εκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου σε ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια και των επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης.

<http://purl.tuc.gr/dl/dias/CB915F43-4DAF-4EB6-8CB9-40964233DEBD>

Γρυδάκη, Ν. (2013). Μελέτη της ποιότητας του αέρα στο κτήριο Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος. Βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης.

<http://purl.tuc.gr/dl/dias/0D97203A-AC17-4F54-800D-F11C0DF1C5D6>

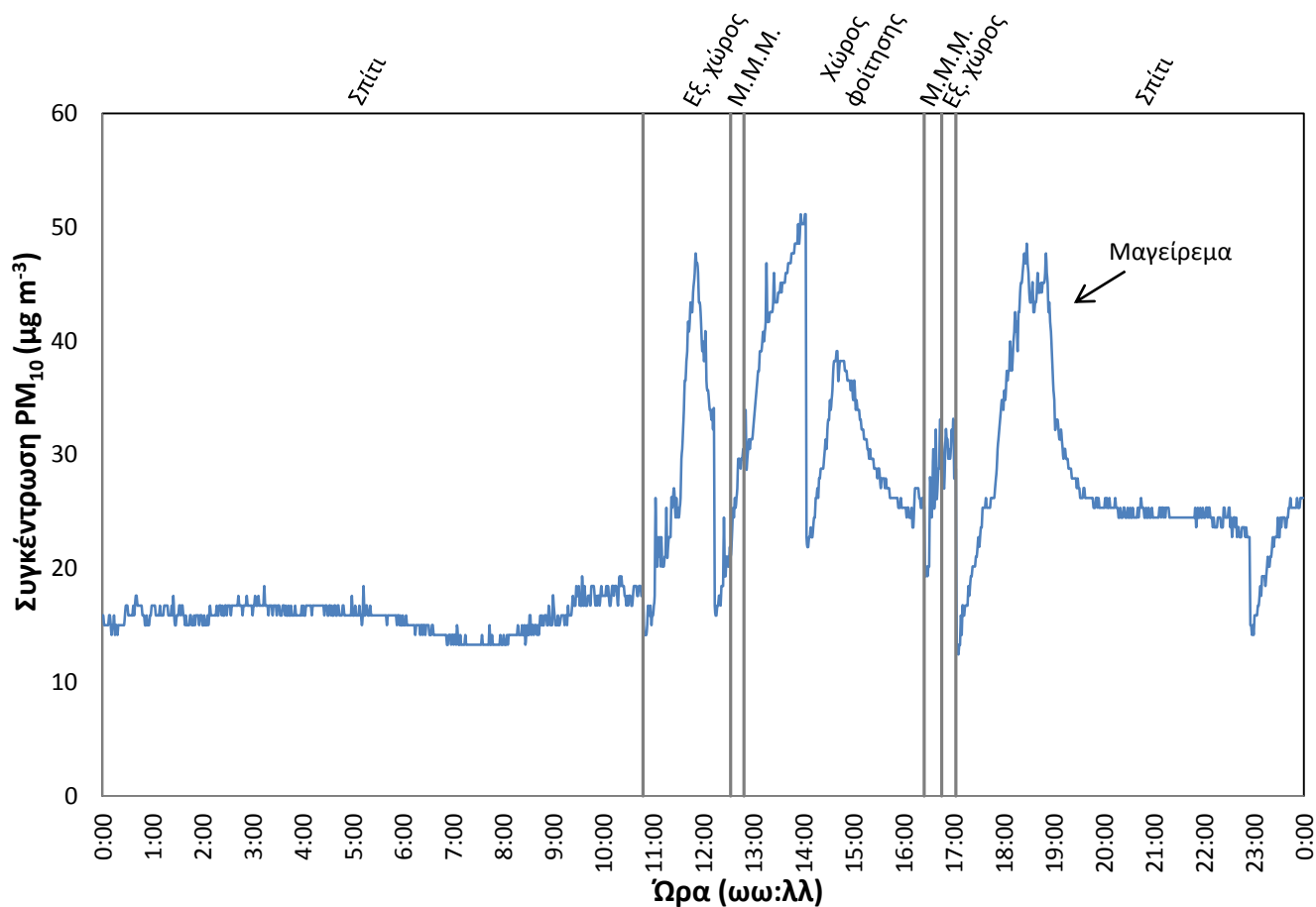
Λαζαρίδης, Μ., (2008). *Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους*. Εκδόσεις Τζιόλα.

Λαζαρίδης, Μ., (2015). *Βασικές Αρχές της Επιστήμης των Αεροζόλ*. Εκδόσεις Τζιόλα.

Ν. 3730/2008 «Προστασία ανηλίκων από τον καπνό και τα αλκοολούχα ποτά και άλλες διατάξεις.» (ΦΕΚ 262 Α/23-12-2008).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

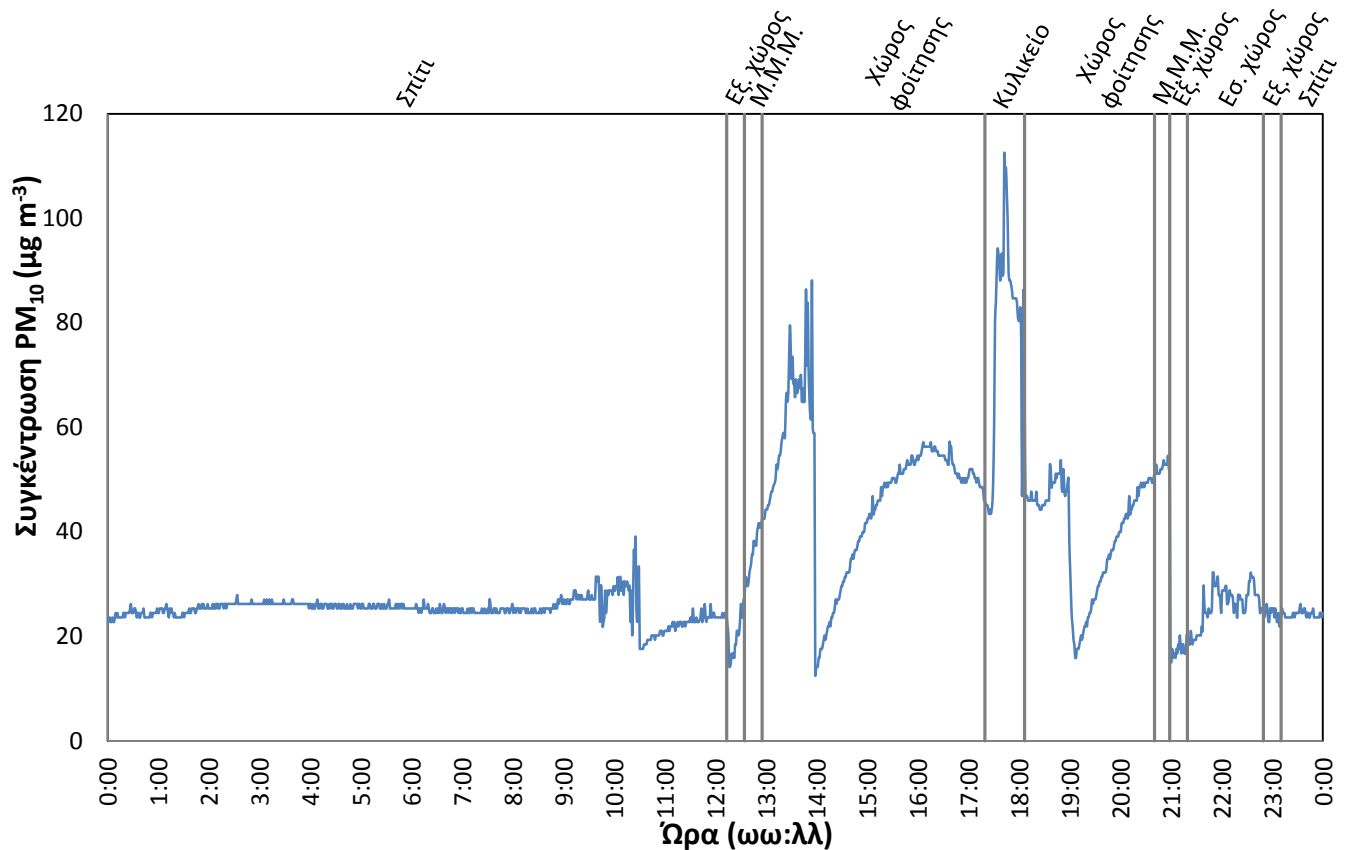
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM_{10} ΓΙΑ ΤΙΣ 15 ΗΜΕΡΕΣ ΚΑΙ ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΑ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ



Σχήμα Α.1: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 1^η ημέρα.

Πίνακας Α.1: Δραστηριότητα 1ης ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

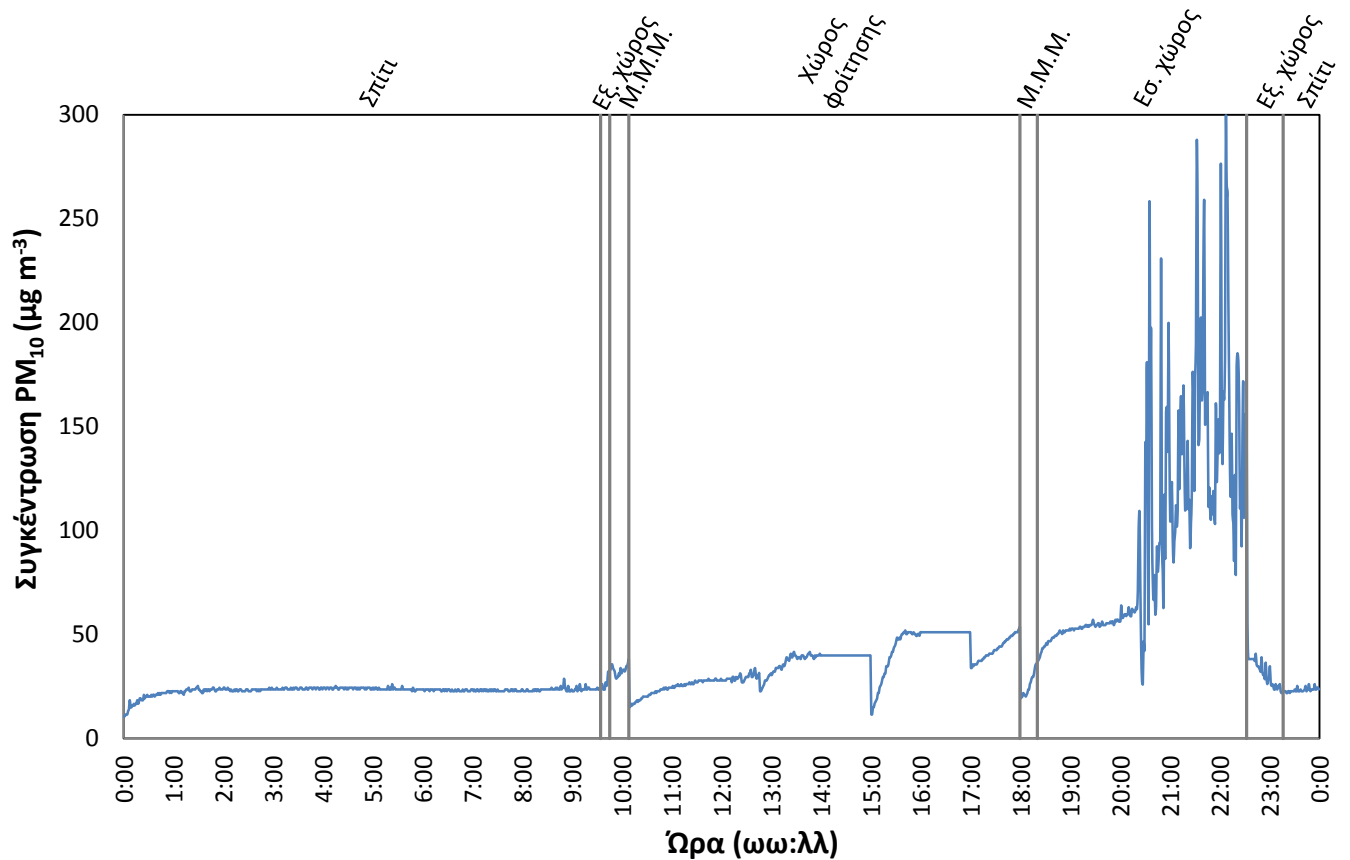
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	01:00	1,0	Σπίτι	Ανάπαυση	$15,7 \pm 0,8$
01:01	09:20	8,3	Σπίτι	Ύπνος	$15,5 \pm 1,2$
09:21	10:48	1,5	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$17,7 \pm 0,8$
10:49	12:33	1,8	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$27,5 \pm 10,0$
12:34	12:49	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$27,4 \pm 2,6$
12:50	16:26	3,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$34,0 \pm 8,0$
16:27	16:46	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$26,1 \pm 4,6$
16:47	17:04	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$30,1 \pm 1,7$
17:05	17:30	0,5	Σπίτι	Ανάπαυση	$17,5 \pm 2,9$
17:31	19:00	1,5	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$37,6 \pm 8,0$
19:01	00:00	5,0	Σπίτι	Ανάπαυση	$24,7 \pm 2,9$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 1 ^η ημέρα: $23,1 \pm 9,1 \mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.2: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 2^η ημέρα.

Πίνακας Α.2: Δραστηριότητα 2ης ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

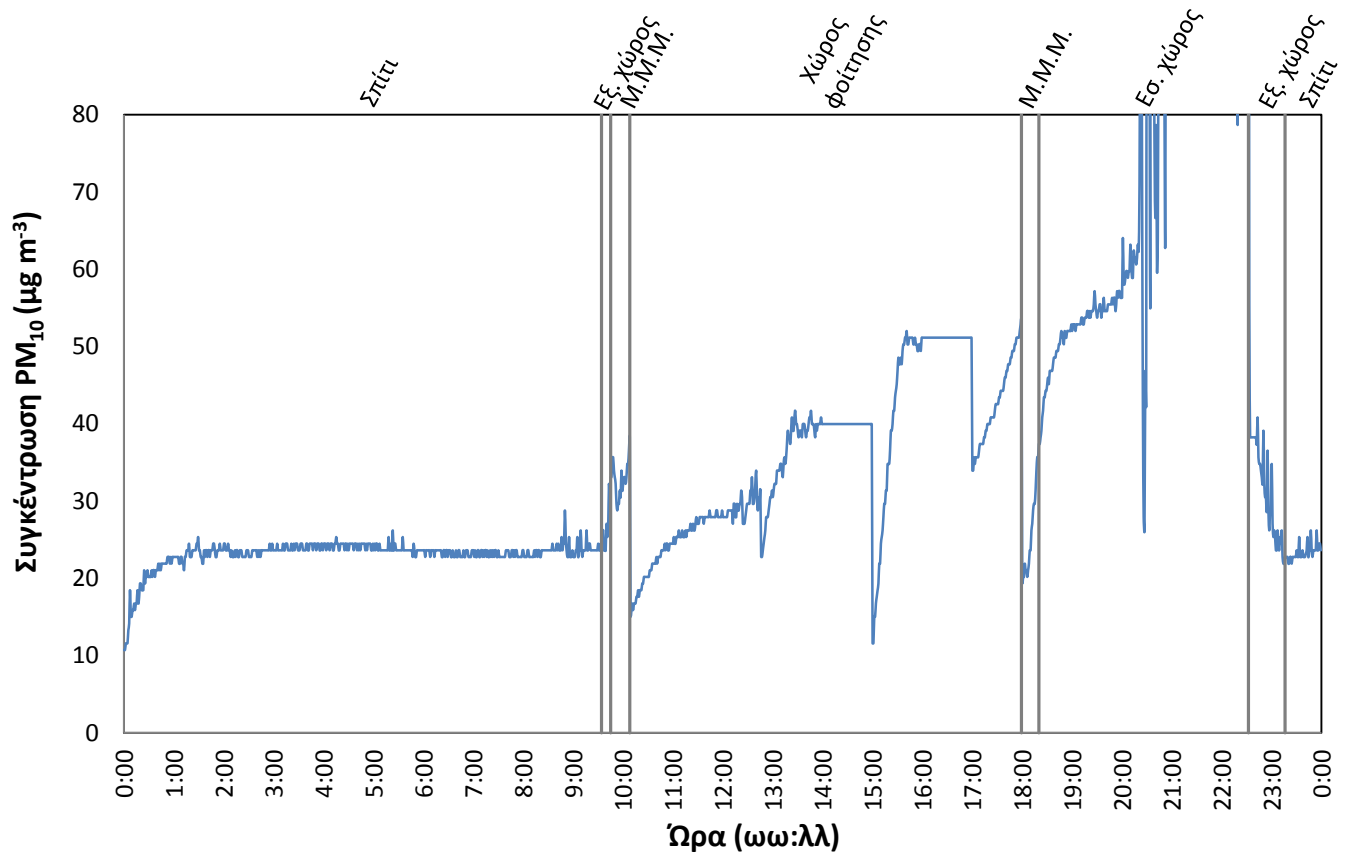
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	01:17	1,3	Σπίτι	Ανάπαυση	24,3±0,8
01:18	09:33	8,3	Σπίτι	Ύπνος	25,6±0,9
09:34	10:29	0,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	28,5±3,3
10:30	12:13	1,7	Σπίτι	Ανάπαυση	22,0±2,0
12:14	12:34	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	20,1±4,0
12:35	12:55	0,4	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	36,3±4,3
12:56	17:19	4,4	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	48,2±13,7
17:20	18:06	0,8	Κυλικείο	Ανάπαυση	77,5±20,1
18:07	20:40	2,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	39,7±10,5
20:41	20:59	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	52,2±1,0
21:00	21:19	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	17,4±1,5
21:20	22:49	1,5	Εσωτερικός χώρος	Έντονη άσκηση	25,9±3,7
22:50	23:10	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	24,2±1,1
23:11	00:00	0,8	Σπίτι	Ανάπαυση	24,2±0,6
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 2 ^η ημέρα: 33,0±14,9 $\mu g m^{-3}$					



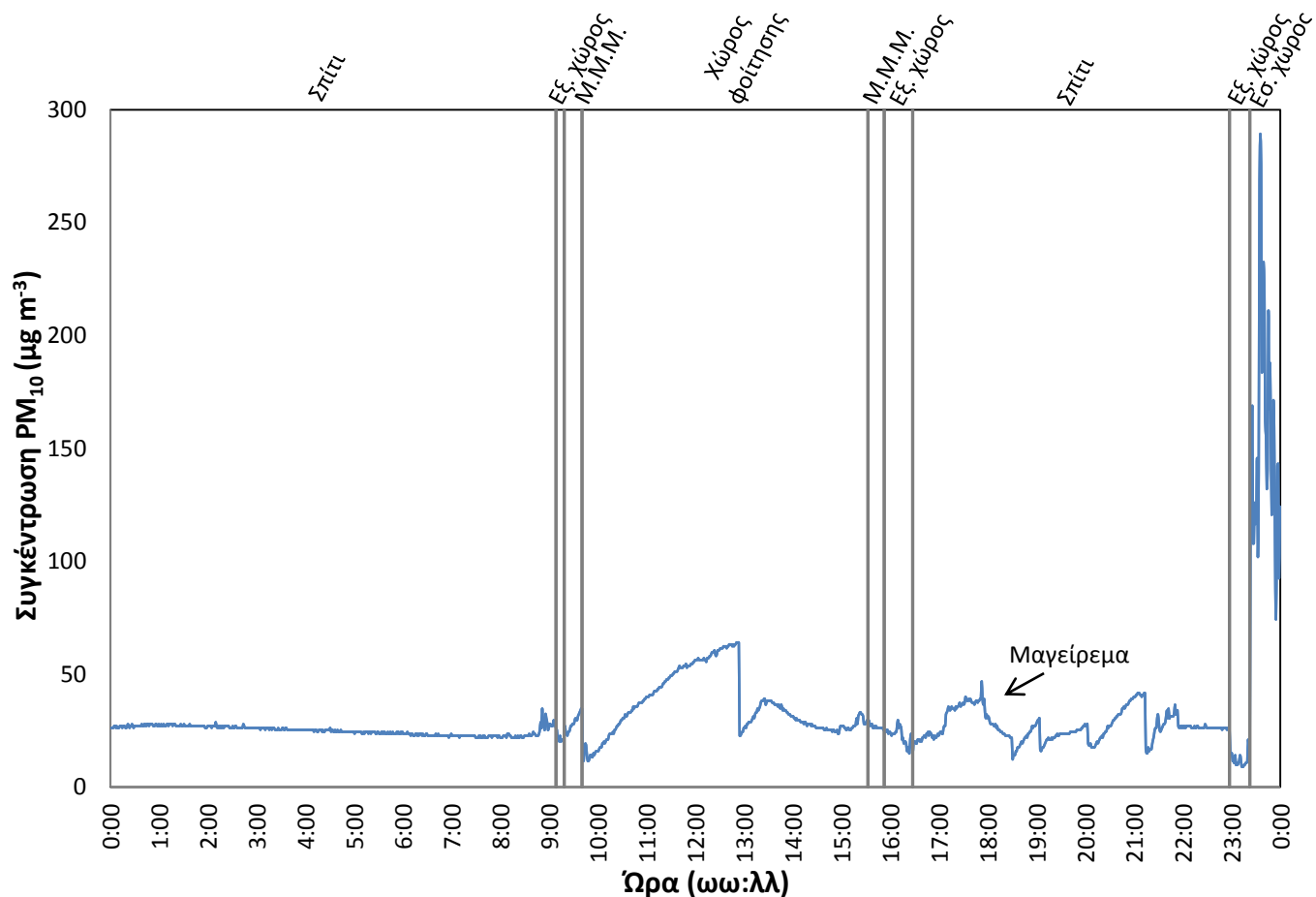
Σχήμα Α.3: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 3^η ημέρα.

Πίνακας Α.3: Δραστηριότητα 3ης ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

Ωρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g\ m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	00:45	0,8	Σπίτι	Ανάπαυση	18,1±3,3
00:46	08:45	8,0	Σπίτι	Ύπνος	23,5±0,7
08:46	09:34	0,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	23,9±1,1
09:35	09:45	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	26,9±3,1
09:46	10:08	0,4	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	32,9±2,4
10:09	18:00	7,9	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	36,3±10,4
18:01	18:20	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	26,2±5,8
18:21	22:32	4,2	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	96,1±55,9
22:33	23:16	0,7	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	31,4±6,9
23:17	00:00	0,7	Σπίτι	Ανάπαυση	23,3±1,0
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 3^η ημέρα: 40,7±35,6 $\mu g\ m^{-3}$					



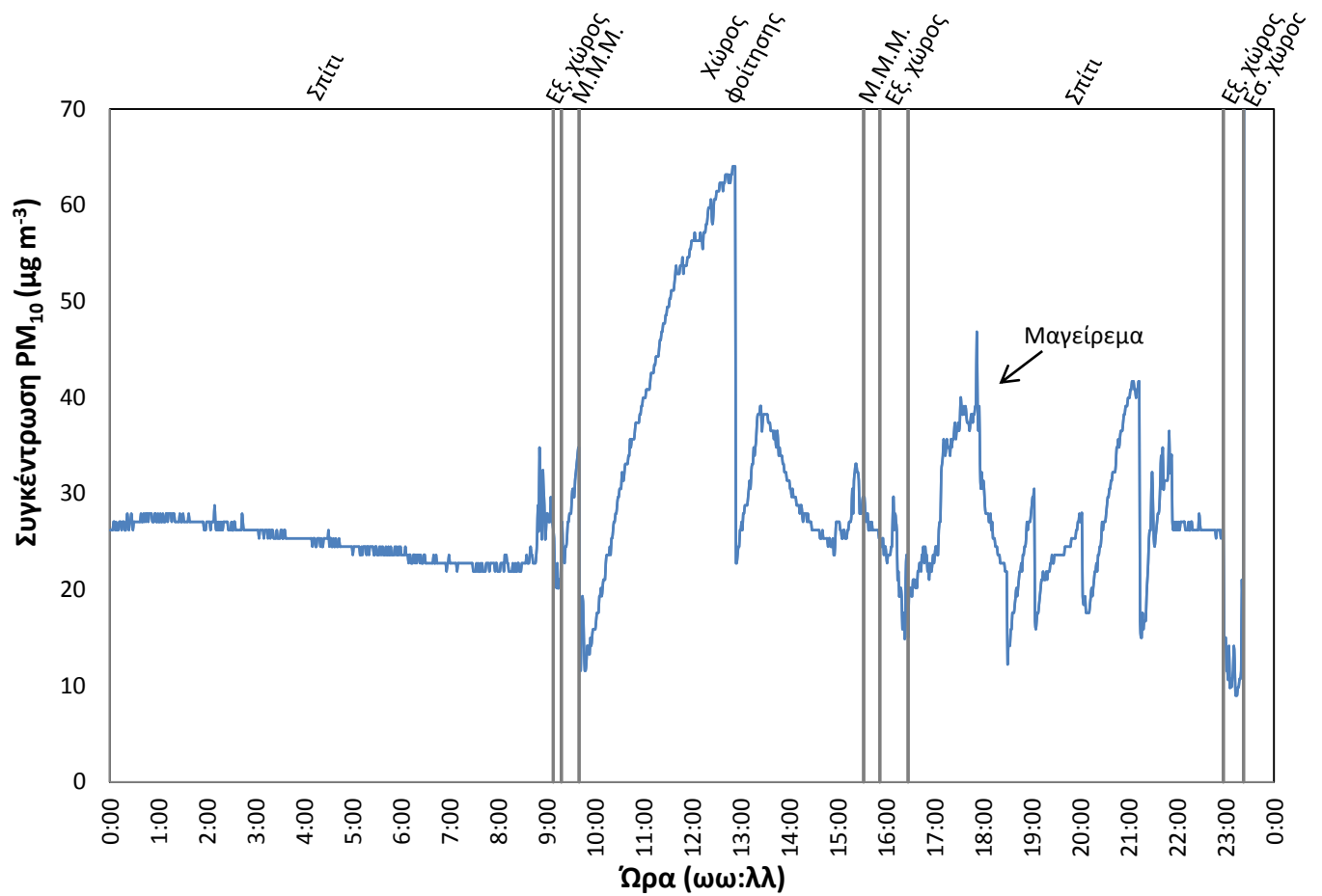
Σχήμα Α.4: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.3 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $80\ \mu g\ m^{-3}$.



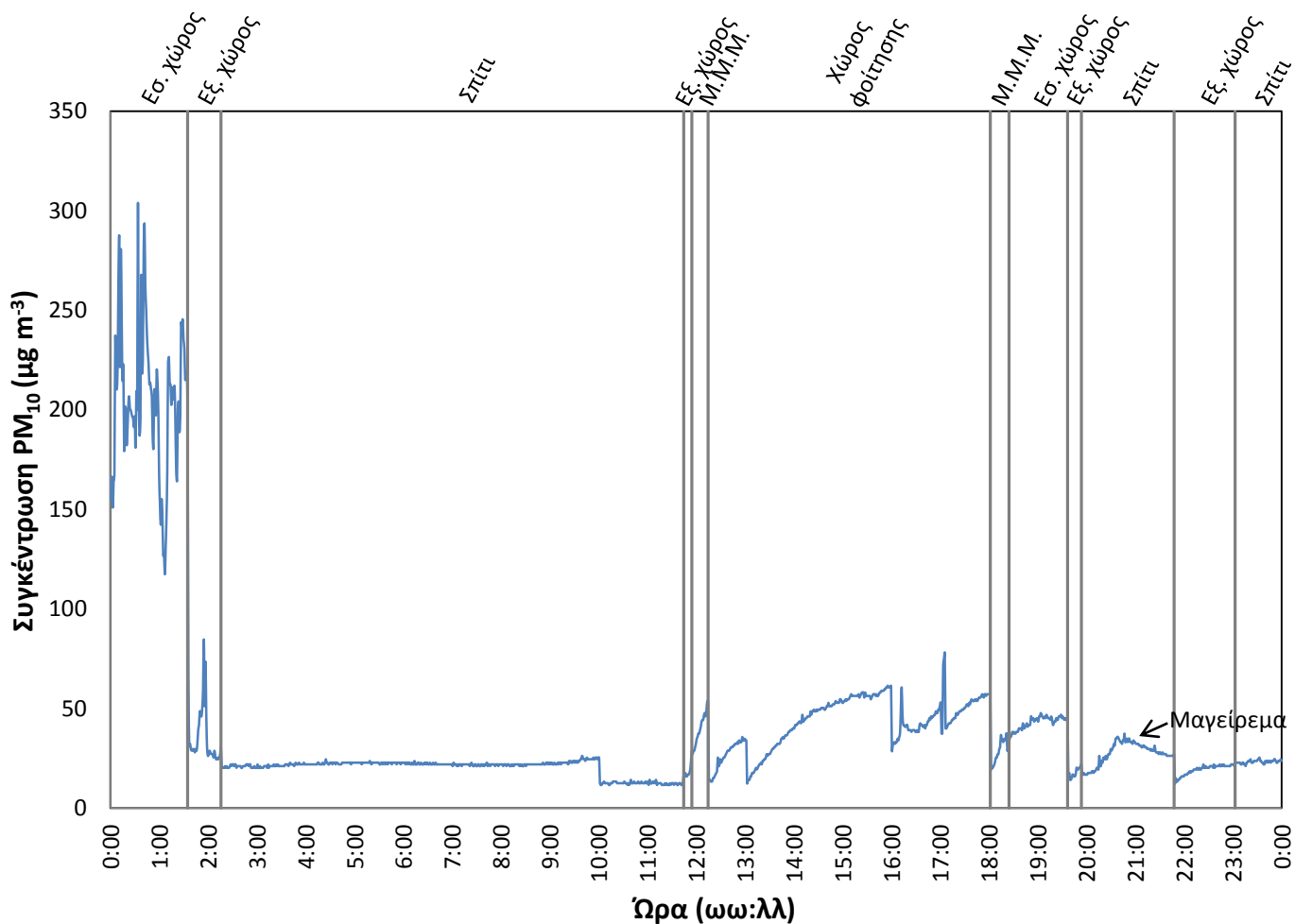
Σχήμα Α.5: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀ την 4^η ημέρα.

Πίνακας Α.4: Δραστηριότητα 4ης ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM10.

Ωρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:20	8,3	Σπίτι	Ύπνος	25,0±1,8
08:21	09:08	0,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	25,1±3,0
09:09	09:18	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	21,7±1,4
09:19	09:40	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	28,6±3,6
09:41	15:32	5,9	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	36,6±13,7
15:33	15:52	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	26,7±1,0
15:53	16:27	0,6	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	22,8±3,6
16:28	16:55	0,5	Σπίτι	Ανάπαυση	21,8±1,5
16:56	17:55	1,0	Σπίτι	Ήπια άσκηση	34,4±5,5
17:56	20:03	2,1	Σπίτι	Ανάπαυση	23,6±3,9
20:04	21:53	1,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	29,1±7,8
21:54	22:57	1,1	Σπίτι	Ανάπαυση	26,4±0,4
22:58	23:23	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	12,0±2,7
23:24	00:00	0,6	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	155,7±51,9
Μέση συγκεντρώση PM ₁₀ την 4 ^η ημέρα: 31,6±23,7 μg m ⁻³					



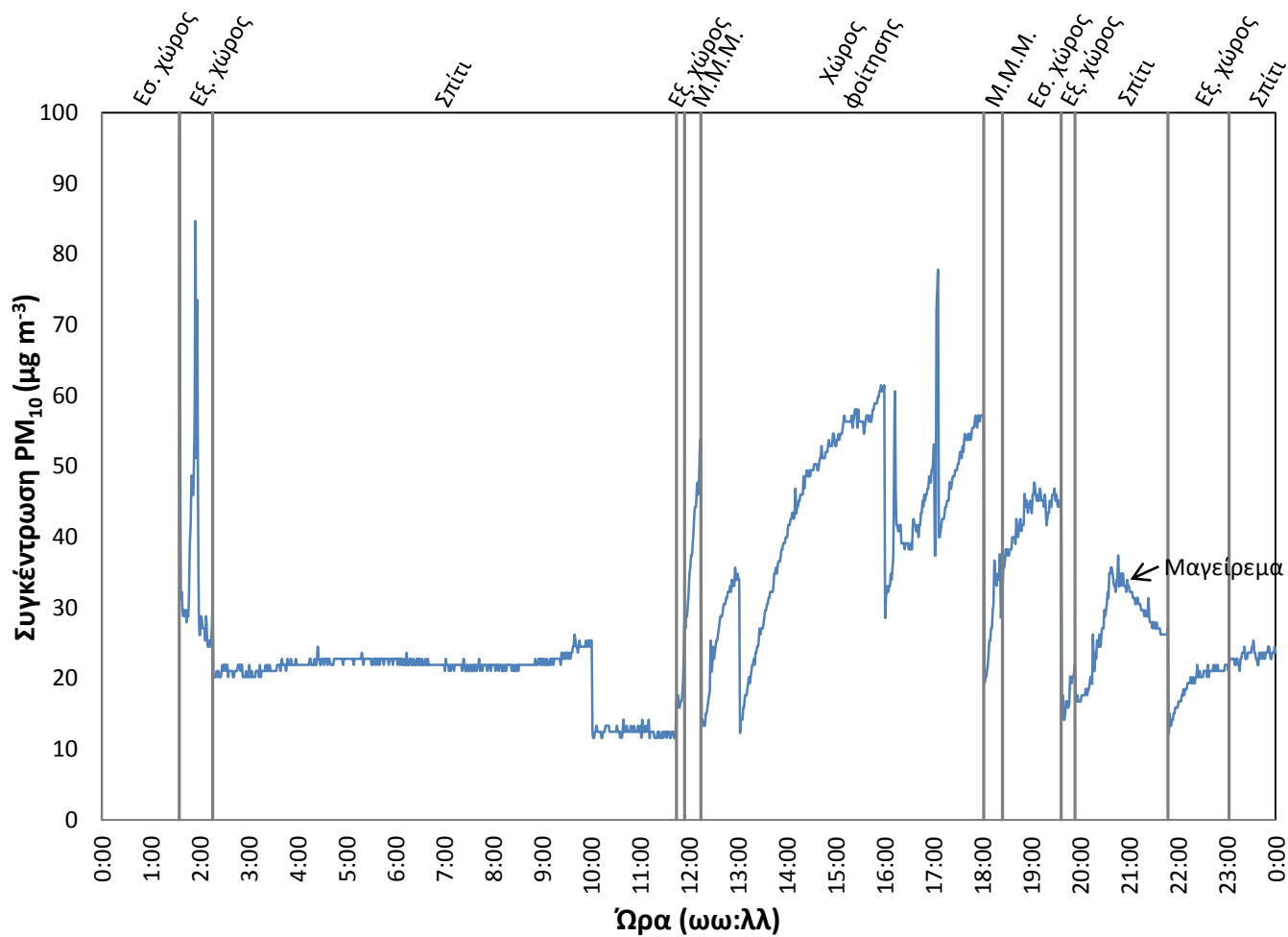
Σχήμα Α.6: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.5 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $70 \mu\text{g m}^{-3}$.



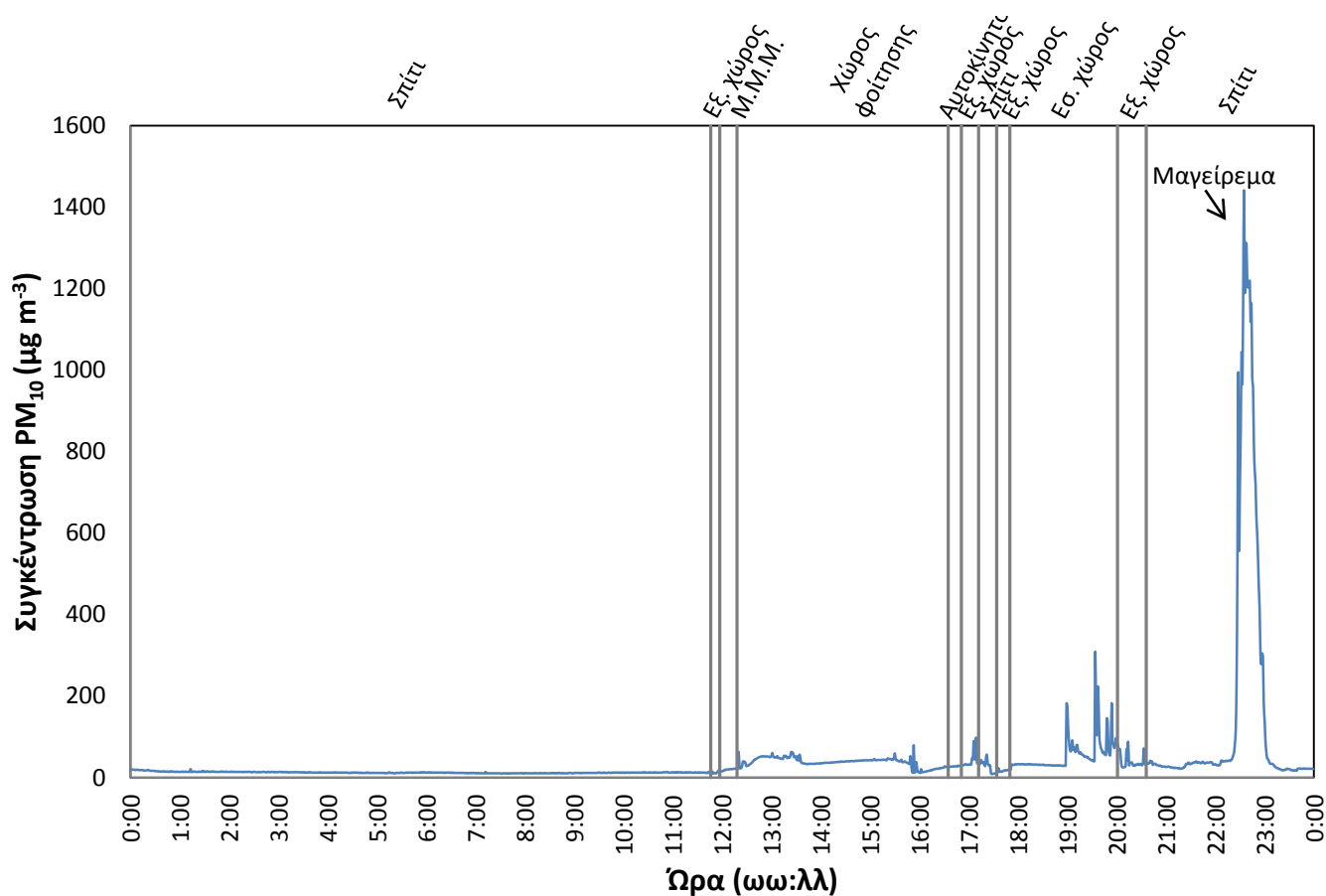
Σχήμα Α.7: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀ την 5^η ημέρα.

Πίνακας Α.5: Δραστηριότητα 5^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀.

Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM ₁₀ (μg m ⁻³)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	01:34	1,6	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	204,7±36,2
01:35	02:15	0,7	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	35,8±14,2
02:16	09:30	7,3	Σπίτι	Ύπνος	21,9±0,7
09:31	10:00	0,5	Σπίτι	Ήπια άσκηση	24,5±0,8
10:01	11:44	1,7	Σπίτι	Ανάπαυση	12,5±0,7
11:45	11:54	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	18,8±4,0
11:55	12:14	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	40,1±8,0
12:15	18:02	5,8	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	42,7±12,9
18:03	18:24	0,4	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	28,8±5,7
18:25	19:36	1,2	Εσωτερικός χώρος	Έντονη άσκηση	43,0±3,1
19:37	19:53	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	17,7±2,4
19:54	20:39	0,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	23,5±6,1
20:40	21:47	1,1	Σπίτι	Ανάπαυση	30,2±2,9
21:48	23:02	1,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	19,3±2,5
23:03	00:00	1,0	Σπίτι	Ανάπαυση	23,2±0,8
Μέση συγκέντρωση PM ₁₀ την 5 ^η ημέρα: 40,5±46,3 μg m ⁻³					



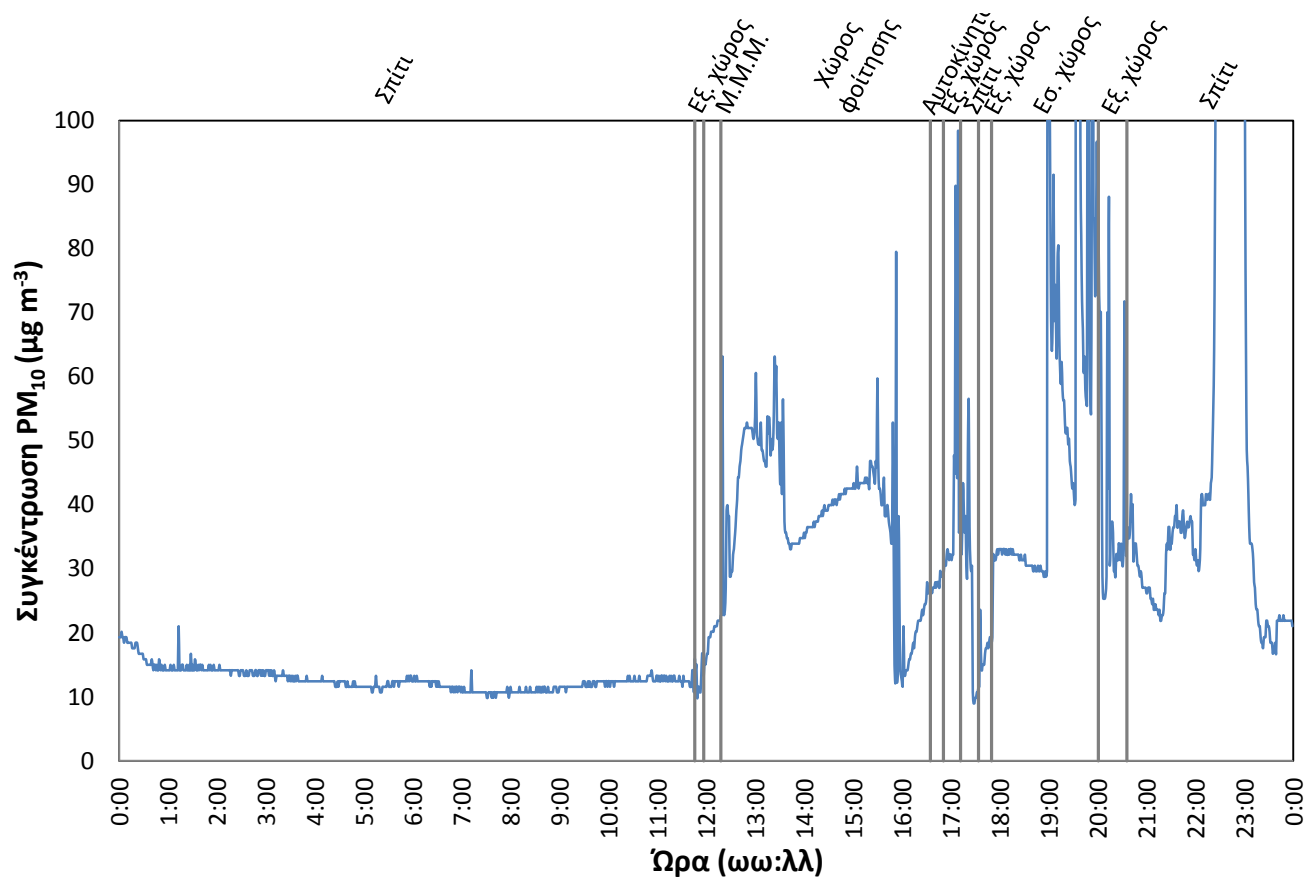
Σχήμα Α.8: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.7 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $100 \mu g m^{-3}$.



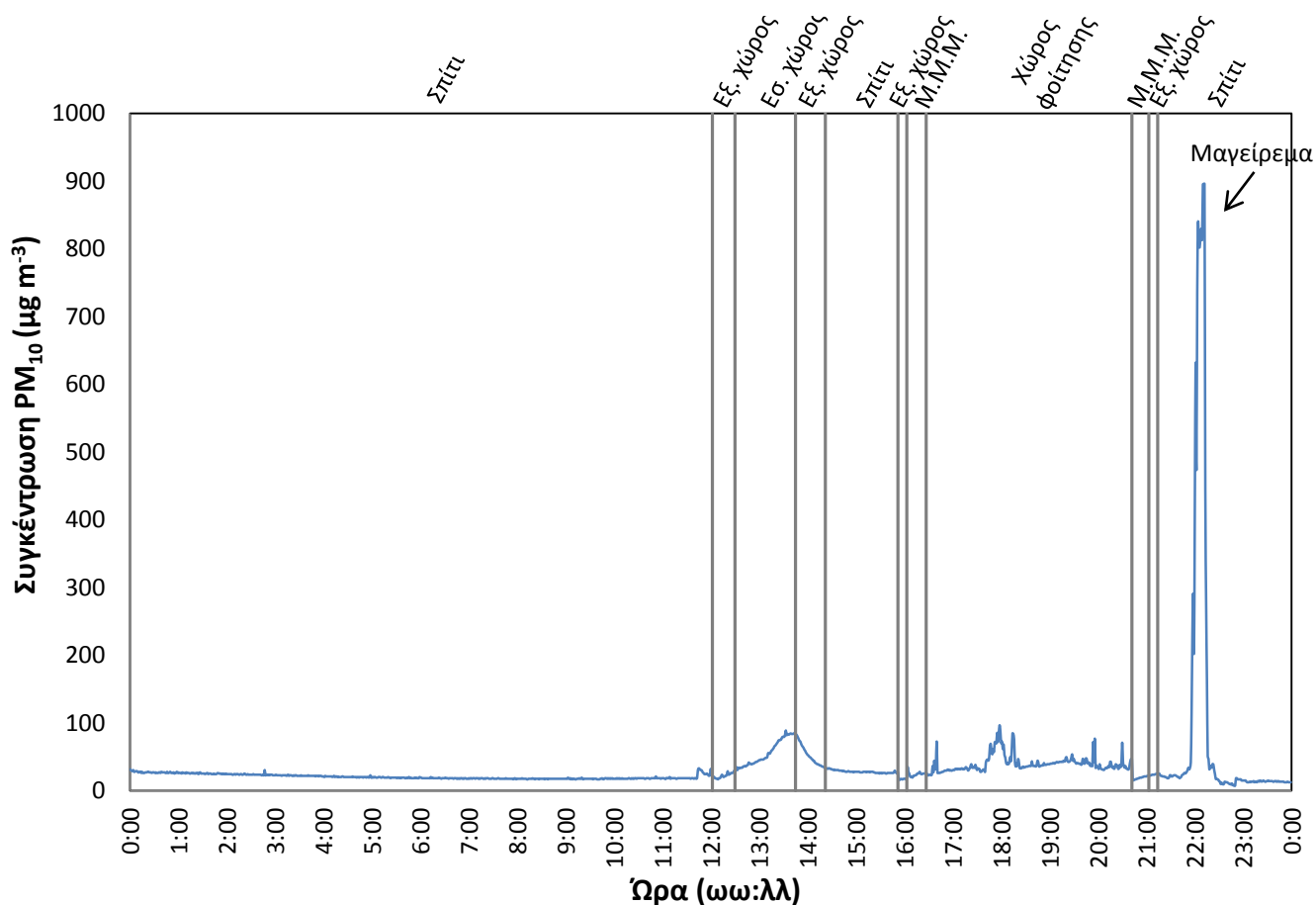
Σχήμα Α.9: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 6^η ημέρα.

Πίνακας Α.6: Δραστηριότητα 6^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:00	8,0	Σπίτι	Ύπνος	13,1±1,9
08:01	11:46	3,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	12,0±0,9
11:47	11:57	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	12,0±2,2
11:58	12:18	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	19,7±2,2
12:19	16:35	4,3	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	38,4±11,3
16:36	16:51	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	27,8±0,9
16:52	17:12	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	42,0±18,8
17:13	17:34	0,4	Σπίτι	Ήπια άσκηση	27,2±14,2
17:35	17:50	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	17,2±2,6
17:51	20:01	2,2	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	56,3±42,8
20:02	20:36	0,6	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	39,7±16,4
20:37	21:56	1,3	Σπίτι	Ανάπαυση	31,6±5,6
21:57	00:00	2,1	Σπίτι	Ήπια άσκηση	249,4±400,1
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 6 ^η ημέρα: 44,2±134,3 $\mu g m^{-3}$					



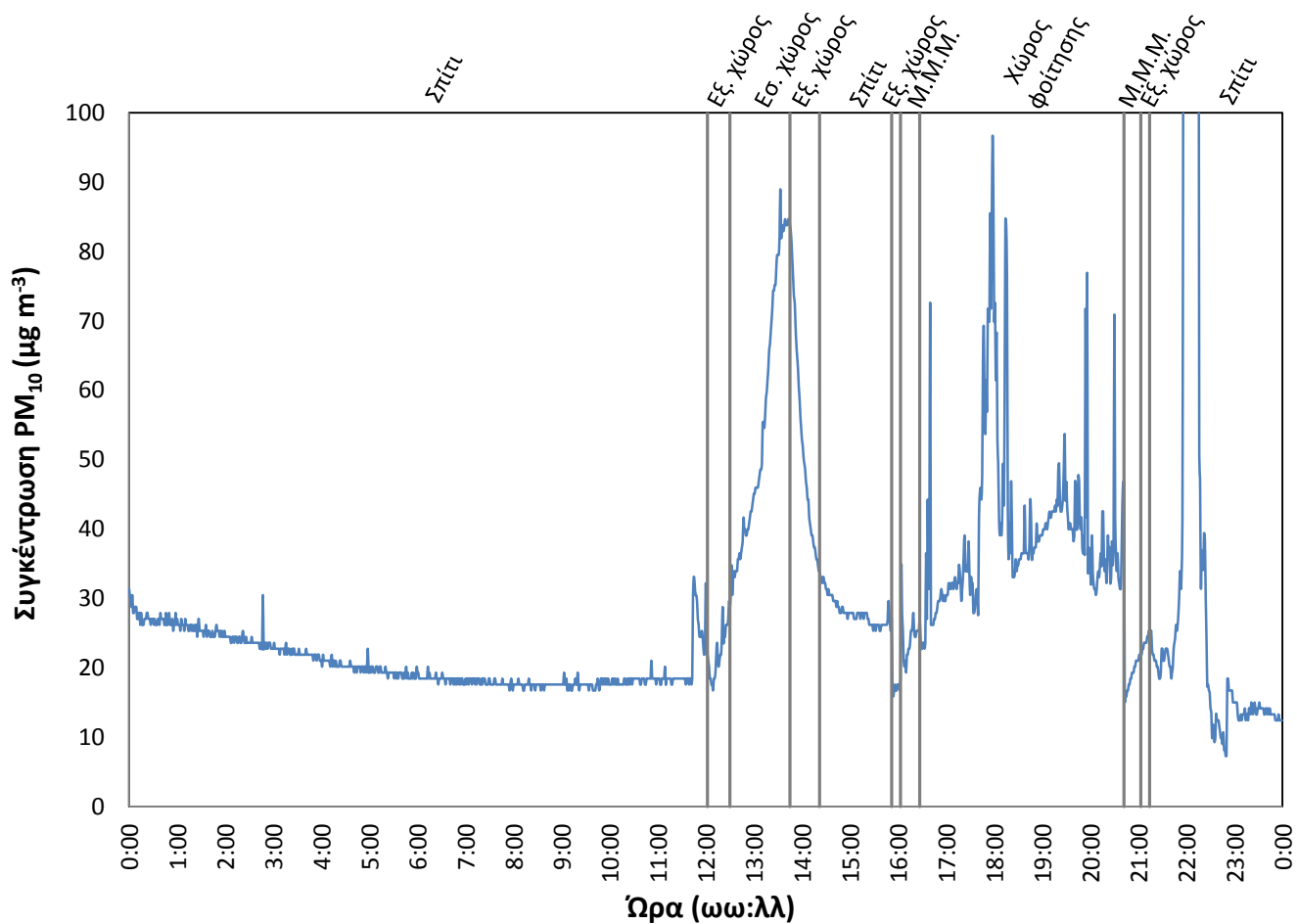
Σχήμα Α.10: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.9 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $100\ \mu g\ m^{-3}$.



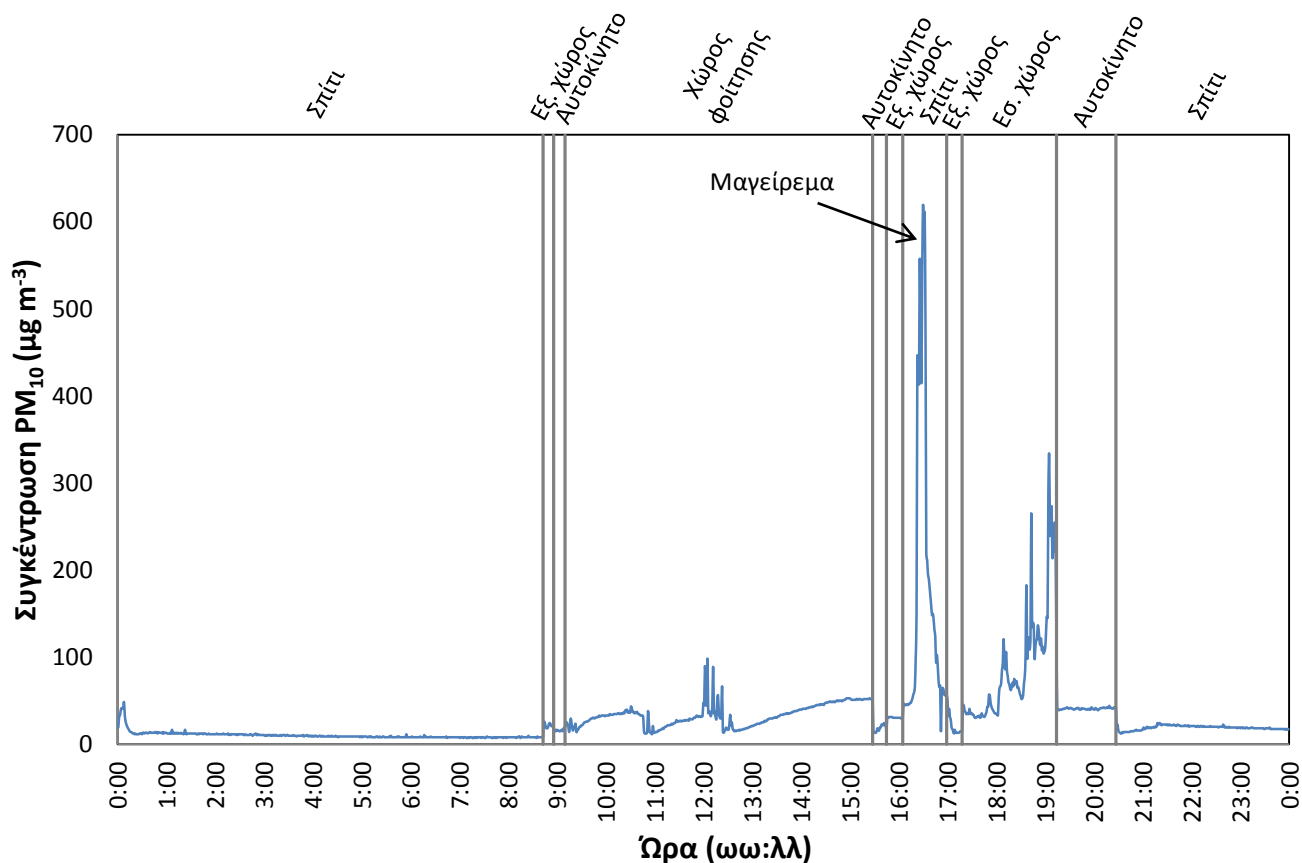
Σχήμα Α.11: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 7^η ημέρα.

Πίνακας Α.7: Δραστηριότητα 7^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	02:13	2,2	Σπίτι	Ανάπαυση	$26,2 \pm 1,4$
02:14	10:14	8,0	Σπίτι	Ύπνος	$19,5 \pm 2,1$
10:15	12:02	1,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$19,8 \pm 3,6$
12:03	12:30	0,5	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$22,4 \pm 3,7$
12:31	13:45	1,2	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	$56,0 \pm 18,9$
13:46	14:22	0,6	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$51,8 \pm 14,9$
14:23	15:52	1,5	Σπίτι	Ανάπαυση	$28,1 \pm 2,0$
15:53	16:03	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$17,1 \pm 0,7$
16:04	16:27	0,4	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$24,6 \pm 3,1$
16:28	20:42	4,2	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$40,2 \pm 12,6$
20:43	21:03	0,3	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$19,1 \pm 2,1$
21:04	21:14	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$23,8 \pm 1,0$
21:15	22:50	1,6	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$137,5 \pm 259,8$
22:51	00:00	1,2	Σπίτι	Ανάπαυση	$14,0 \pm 1,4$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 7 ^η ημέρα: $34,8 \pm 73,7 \mu g m^{-3}$					



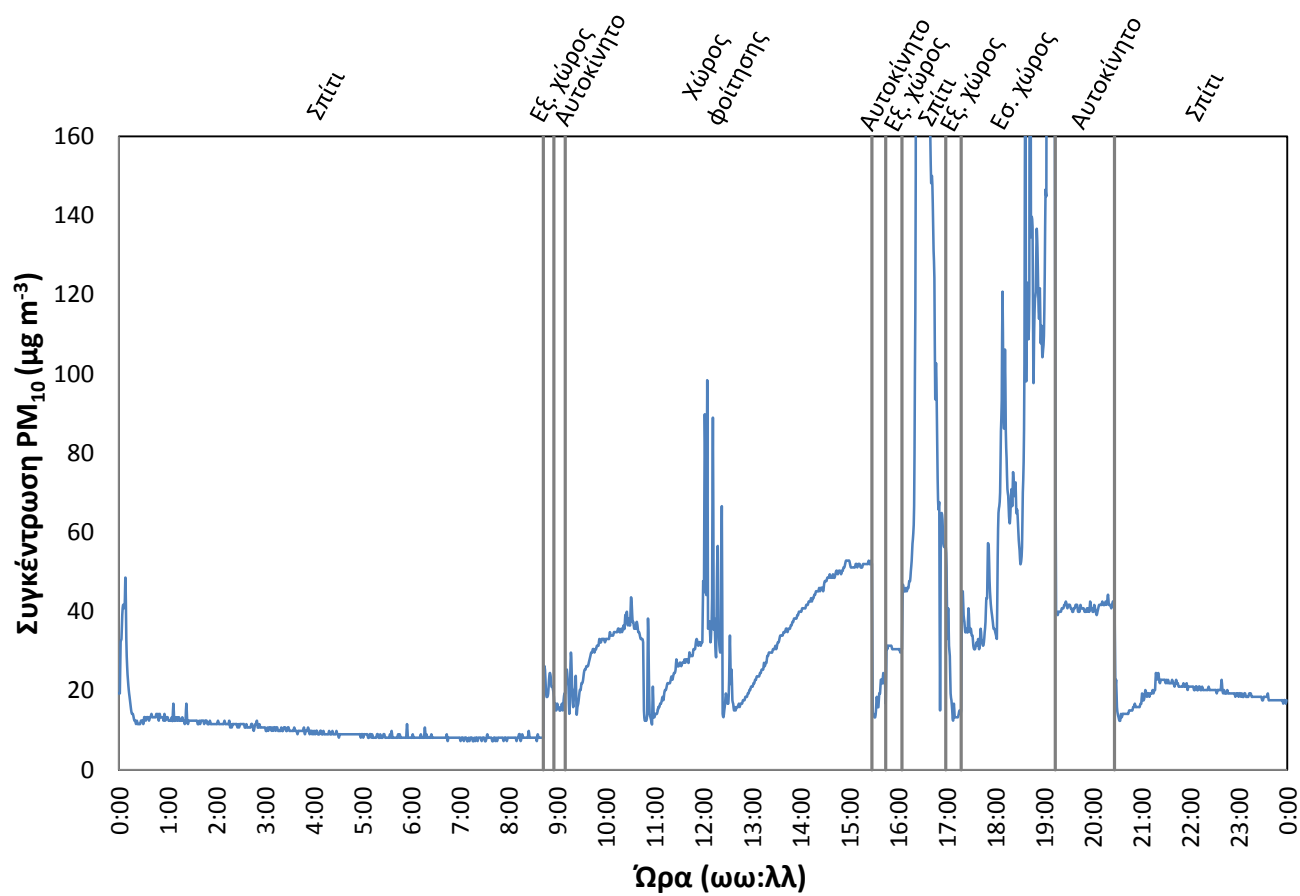
Σχήμα Α.12: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.11 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $100\ \mu g\ m^{-3}$.



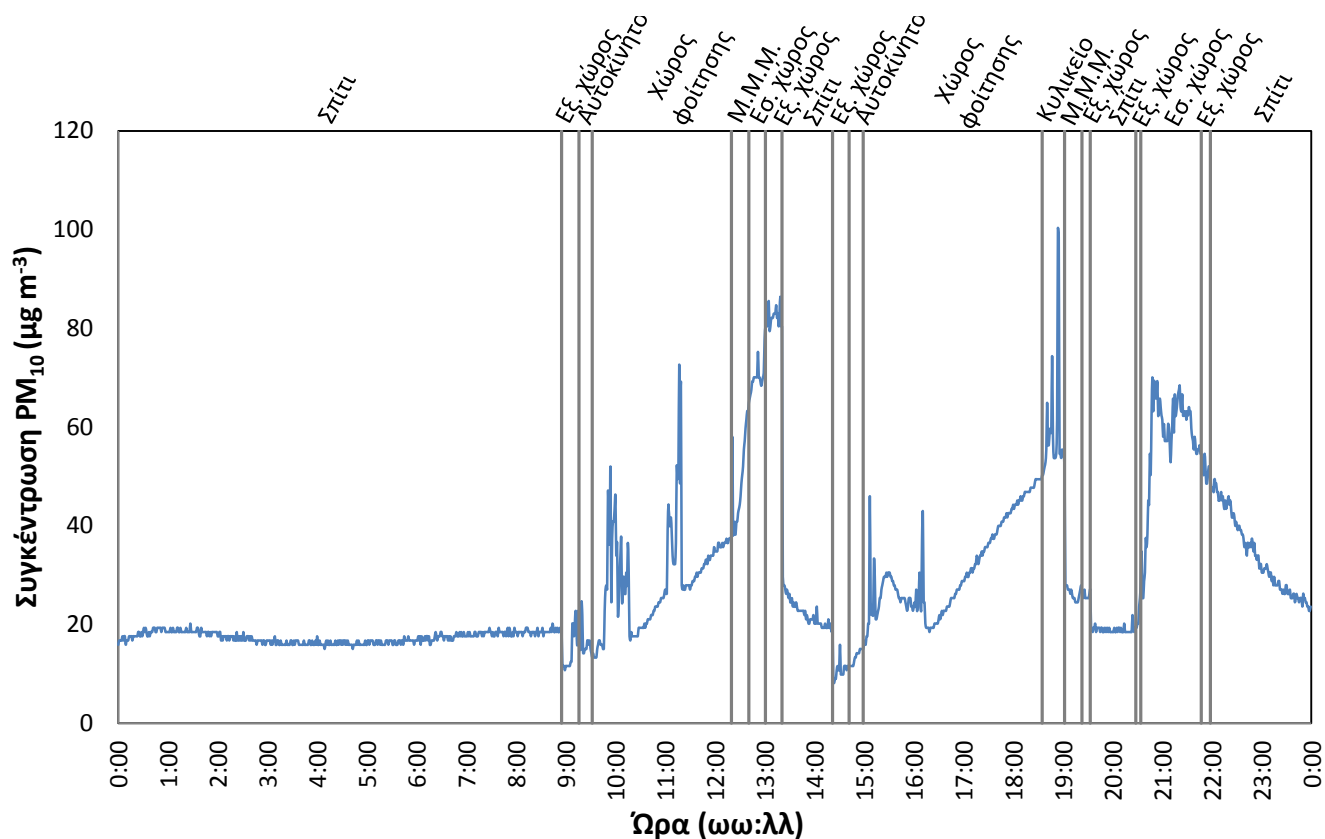
Σχήμα Α.13: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 8^η ημέρα.

Πίνακας Α.8: Δραστηριότητα 8^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	00:42	0,7	Σπίτι	Ανάπαυση	$18,9 \pm 10,2$
00:43	08:43	8,0	Σπίτι	Ύπνος	$9,6 \pm 1,8$
08:44	08:56	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$21,6 \pm 2,6$
08:57	09:10	0,2	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	$16,4 \pm 1,4$
09:11	15:28	6,3	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$33,3 \pm 12,8$
15:29	15:45	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	$18,4 \pm 3,8$
15:46	16:05	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$30,7 \pm 0,5$
16:06	16:59	0,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$175,9 \pm 176,3$
17:00	17:18	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$20,6 \pm 10,8$
17:19	19:14	1,9	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	$88,2 \pm 65,6$
19:15	20:27	1,2	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	$41,0 \pm 1,0$
20:28	00:00	3,5	Σπίτι	Ανάπαυση	$19,1 \pm 2,4$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 8 ^η ημέρα: $32,4 \pm 52,9 \mu g m^{-3}$					



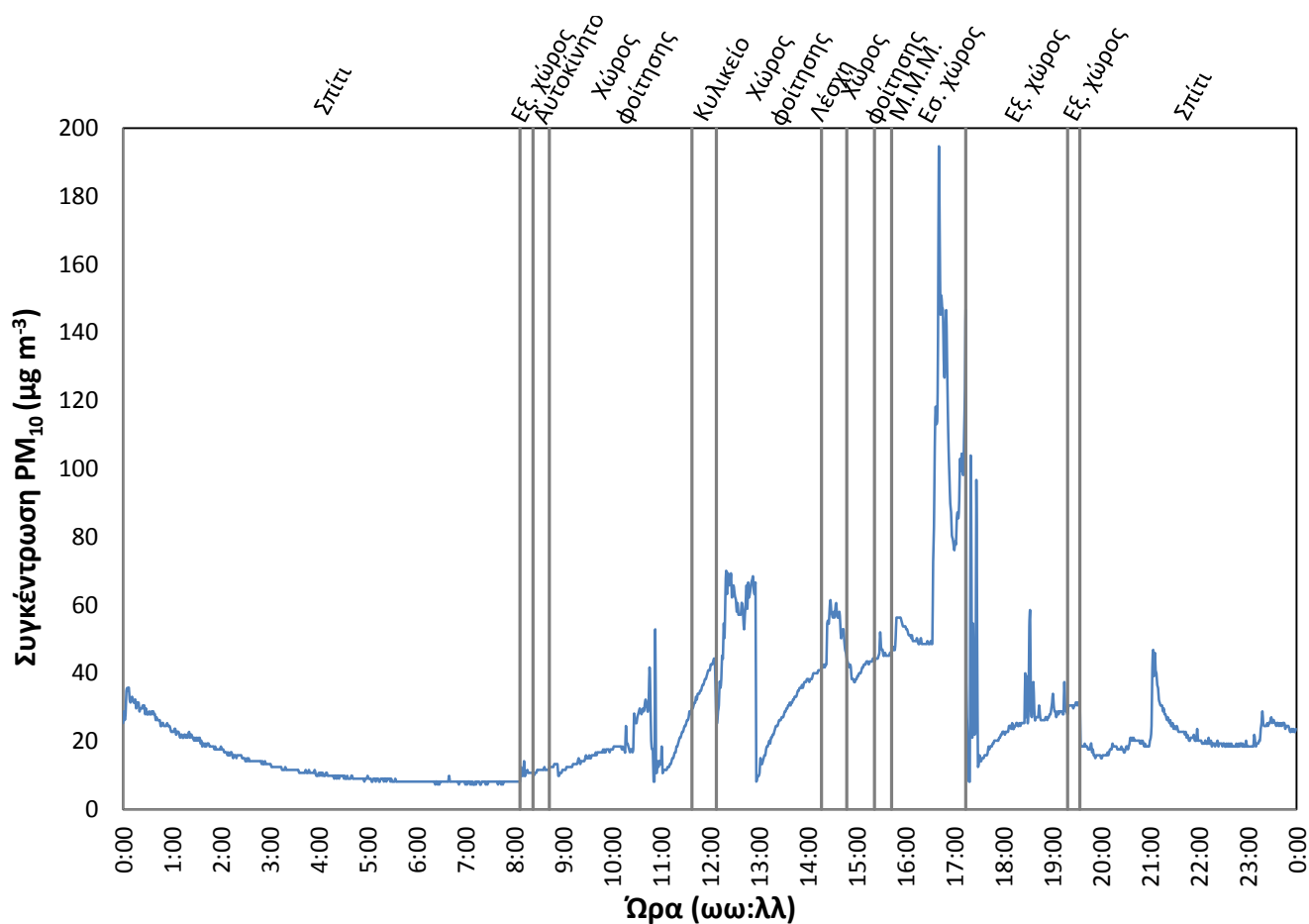
Σχήμα Α.14: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.13 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $160 \mu\text{g m}^{-3}$.



Σχήμα Α.15: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 9^η ημέρα.

Πίνακας Α.9: Δραστηριότητα 9^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

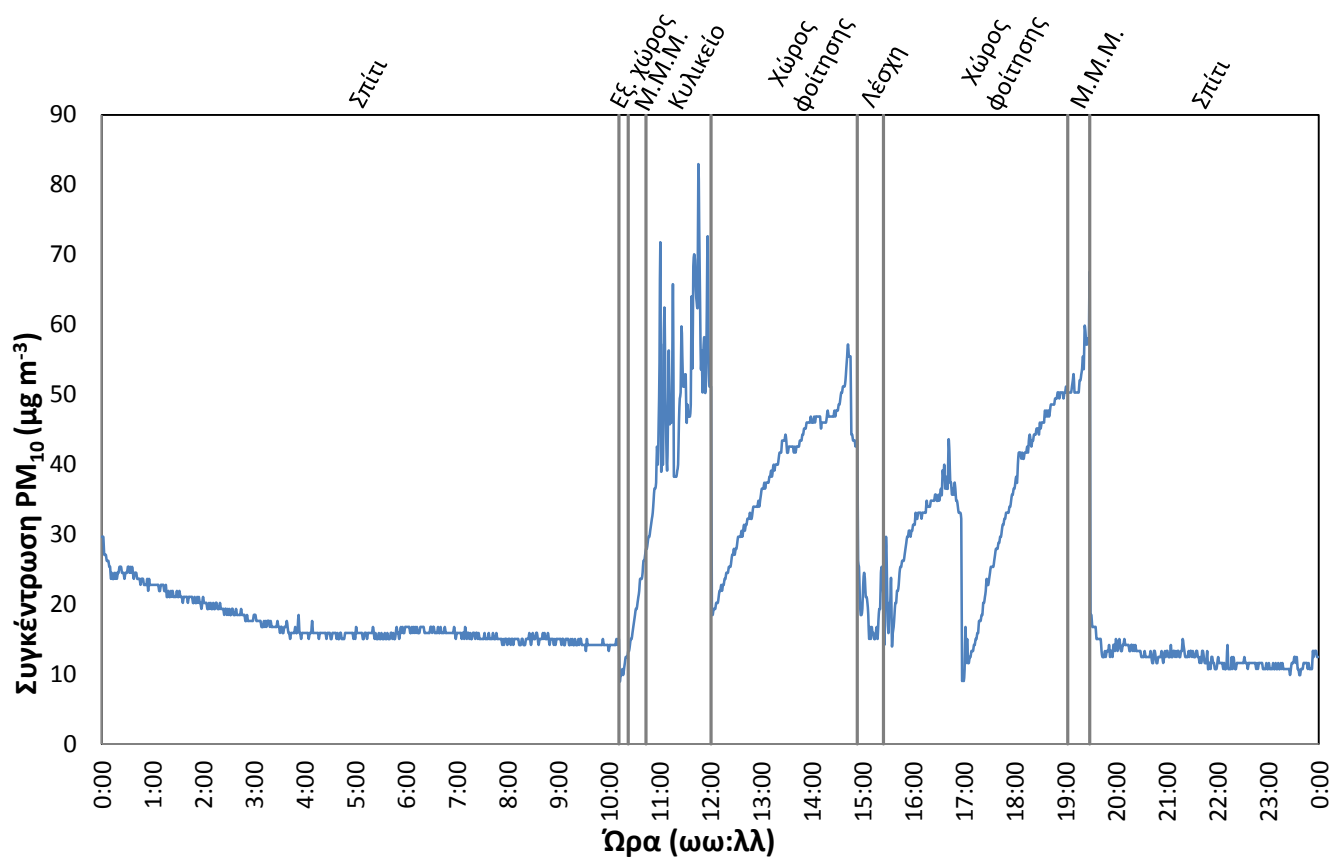
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:00	8,0	Σπίτι	Ύπνος	17,3±1,1
08:01	08:55	0,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	18,6±0,5
08:56	09:16	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	15,0±4,2
09:17	09:32	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	16,3±2,9
09:33	12:20	2,8	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	29,2±9,7
12:21	12:41	0,3	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	49,9±9,2
12:42	13:01	0,3	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	70,5±3,4
13:02	13:21	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	82,2±1,8
13:22	14:22	1,0	Σπίτι	Ανάπαυση	22,2±2,6
14:23	14:42	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	10,7±1,6
14:43	14:59	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	13,5±1,4
15:00	18:35	3,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	31,6±9,4
18:36	19:02	0,4	Κυλικείο	Ανάπαυση	59,4±12,3
19:03	19:23	0,3	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	26,3±1,2
19:24	19:33	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	25,9±0,7
19:34	20:28	0,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	18,9±0,7
20:29	20:34	0,1	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	22,9±3,4
20:35	21:47	1,2	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	57,5±10,4
21:48	21:58	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	51,3±1,7
21:59	00:00	2,0	Σπίτι	Ανάπαυση	33,9±7,9
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 9 ^η ημέρα: 27,8±15,6 $\mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.16: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 10^η ημέρα.

Πίνακας Α.10: Δραστηριότητα 10^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

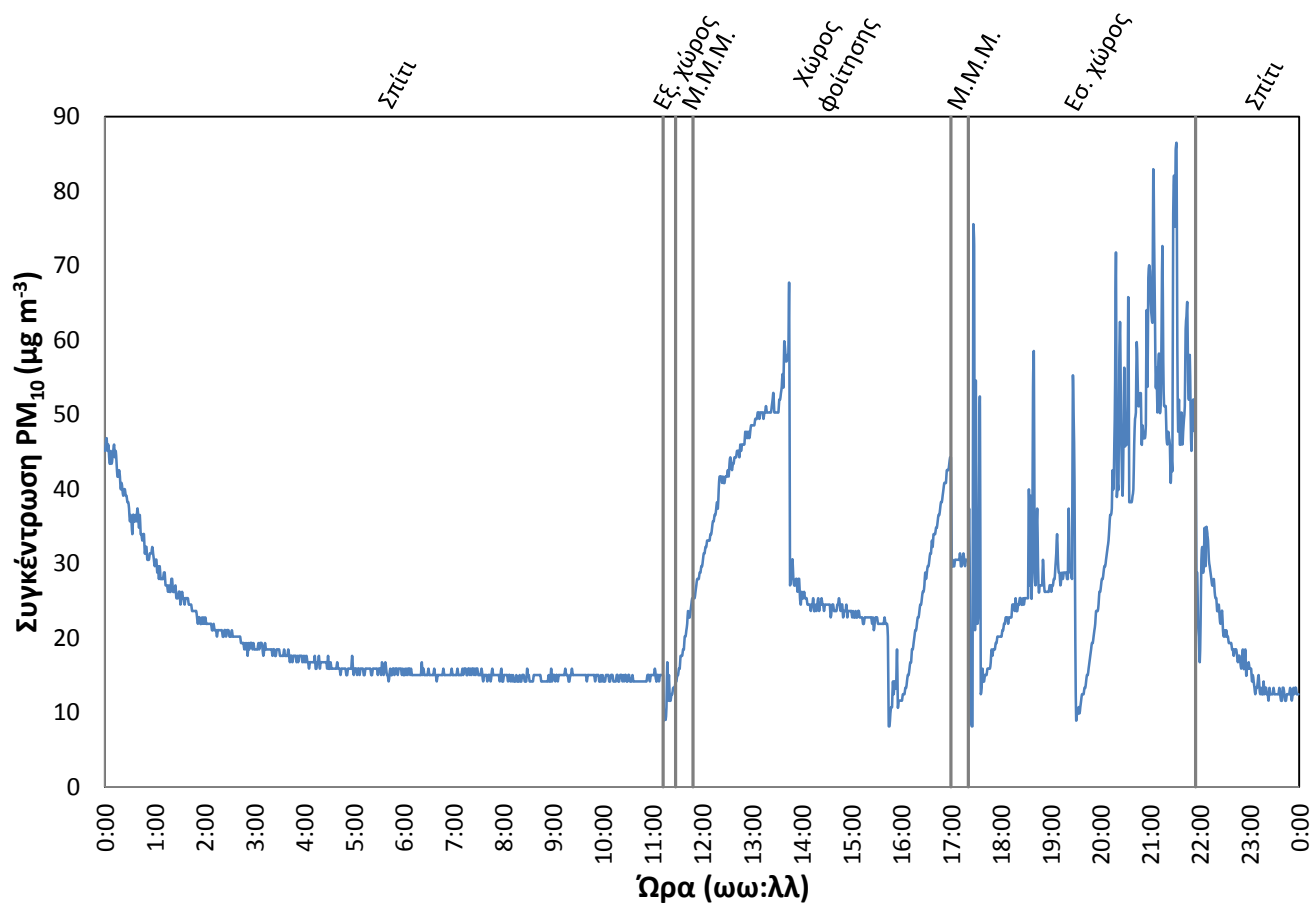
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:07	8,1	Σπίτι	Ύπνος	$13,6 \pm 7,0$
08:08	08:23	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$10,9 \pm 1,1$
08:24	08:43	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	$11,5 \pm 0,6$
08:44	11:38	2,9	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$17,9 \pm 6,5$
11:39	12:08	0,5	Κυλικείο	Ανάπαυση	$36,8 \pm 4,7$
12:09	14:17	2,1	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$39,6 \pm 17,3$
14:18	14:48	0,5	Λέσχη	Ανάπαυση	$52,2 \pm 6,3$
14:49	15:22	0,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$41,4 \pm 2,2$
15:23	15:43	0,3	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$45,8 \pm 1,7$
15:44	17:14	1,5	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	$78,2 \pm 36,0$
17:15	19:19	2,1	Εξωτερικός χώρος	Ανάπαυση	$26,8 \pm 12,8$
19:20	19:34	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$30,7 \pm 0,5$
19:35	00:00	4,4	Σπίτι	Ανάπαυση	$21,3 \pm 4,8$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 10 ^η ημέρα: $25,7 \pm 20,9 \mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.17: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 11^η ημέρα.

Πίνακας Α.11: Δραστηριότητα 11^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

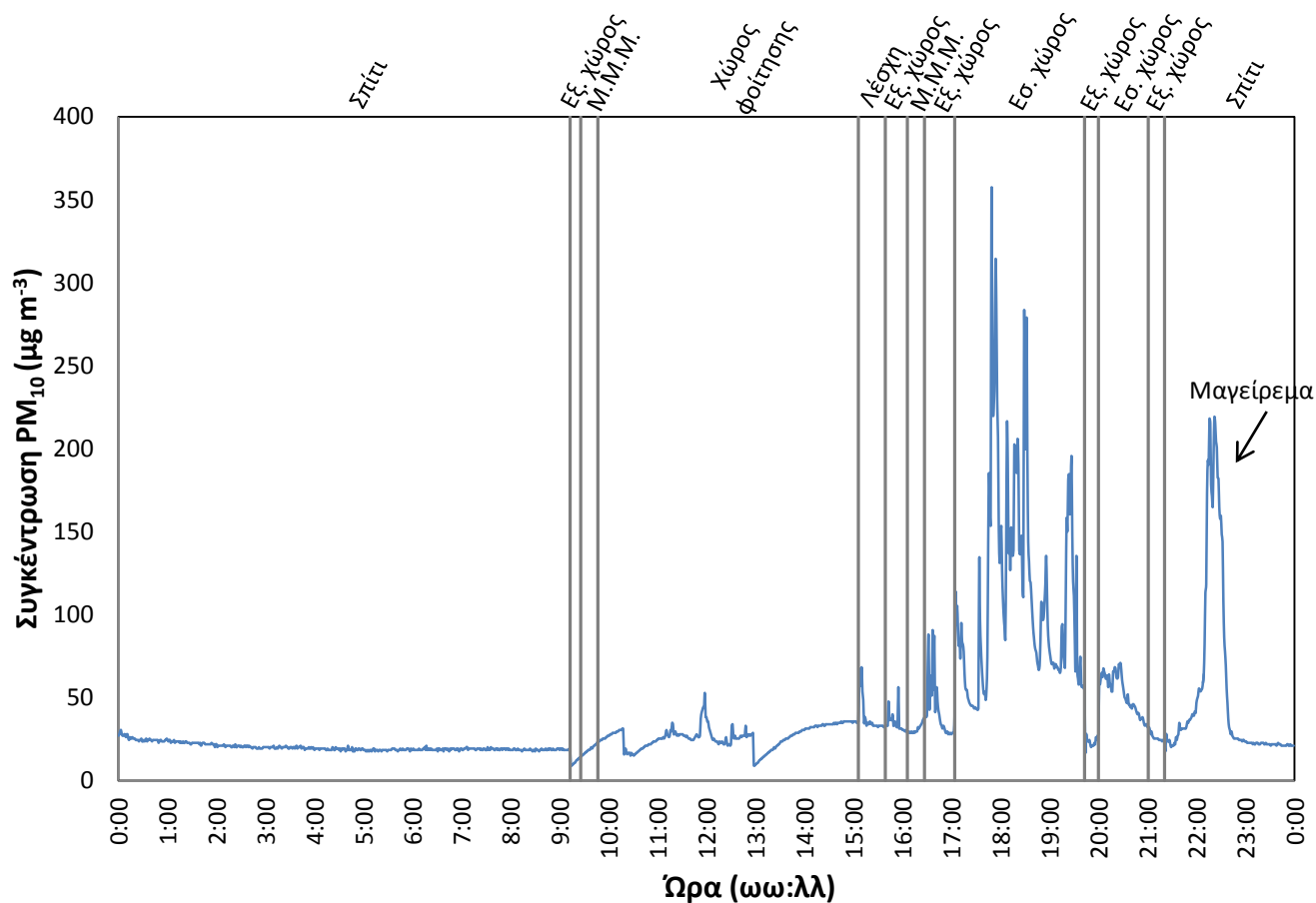
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:00	8,0	Σπίτι	Ύπνος	$18,1 \pm 3,2$
08:01	10:12	2,2	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$14,6 \pm 0,5$
10:13	10:23	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$11,1 \pm 1,3$
10:24	10:44	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$20,5 \pm 4,4$
10:45	12:01	1,3	Κυλικείο	Ανάπαυση	$49,6 \pm 12,0$
12:02	14:54	2,9	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$38,8 \pm 9,3$
14:55	15:25	0,5	Λέσχη	Ανάπαυση	$19,5 \pm 3,5$
15:26	19:03	3,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$32,8 \pm 10,9$
19:04	19:29	0,4	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$53,6 \pm 4,1$
19:30	00:00	4,3	Σπίτι	Ανάπαυση	$12,4 \pm 1,4$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 11 ^η ημέρα: $23,7 \pm 13,3 \mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.18: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 12^η ημέρα.

Πίνακας Α.12: Δραστηριότητα 12^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

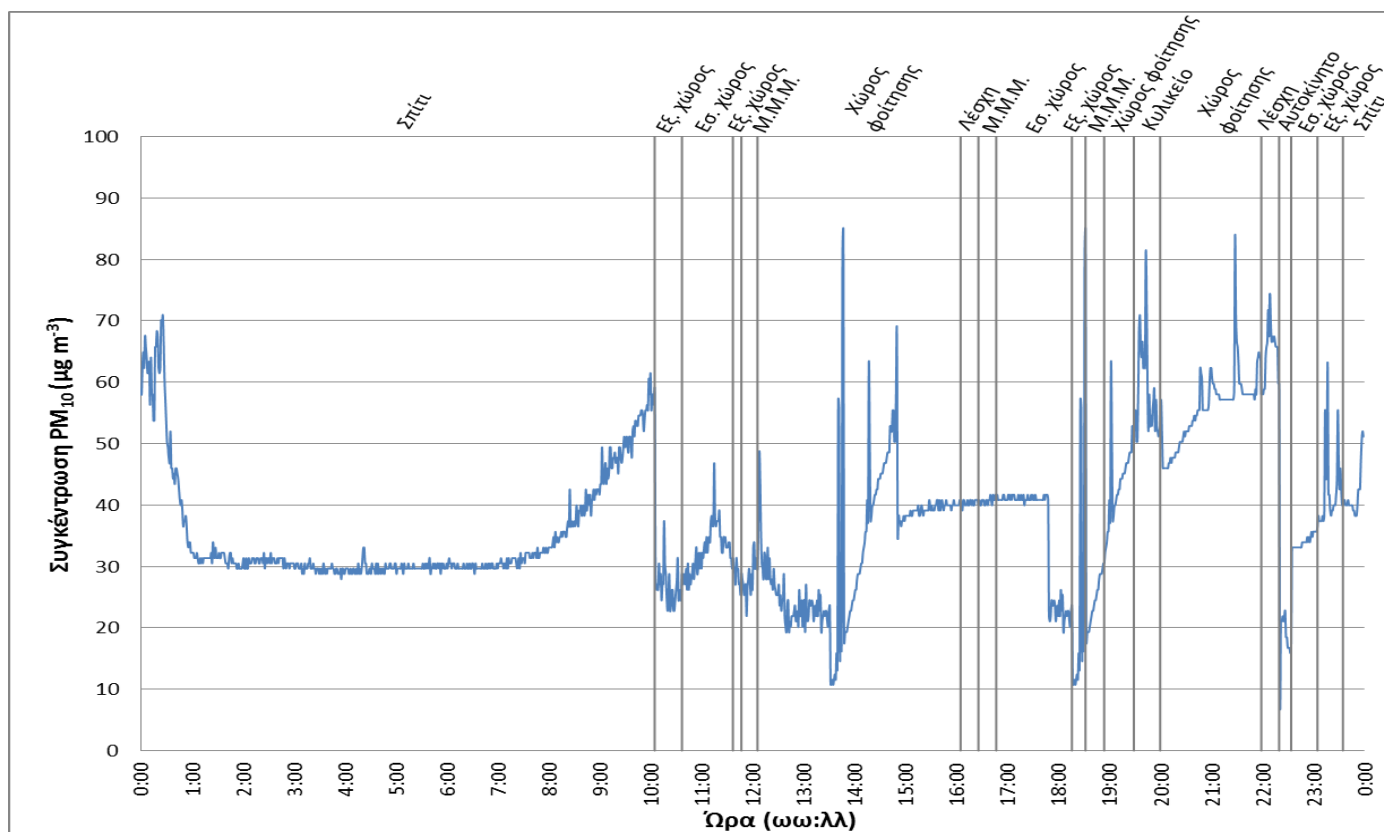
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:00	8,0	Σπίτι	Ύπνος	$20,6 \pm 7,7$
08:01	11:13	3,2	Σπίτι	Ήπια άσκηση	$14,7 \pm 0,5$
11:14	11:28	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	$12,3 \pm 2,1$
11:29	11:49	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$19,9 \pm 3,5$
11:50	17:00	5,2	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	$31,7 \pm 12,3$
17:01	17:21	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	$30,3 \pm 0,5$
17:22	21:55	4,6	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	$35,6 \pm 17,1$
21:56	00:00	2,1	Σπίτι	Ανάπαυση	$17,9 \pm 6,3$
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 12 ^η ημέρα: $24,9 \pm 13,1 \mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.19: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀ την 13^η ημέρα.

Πίνακας Α.13: Δραστηριότητα 13^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀.

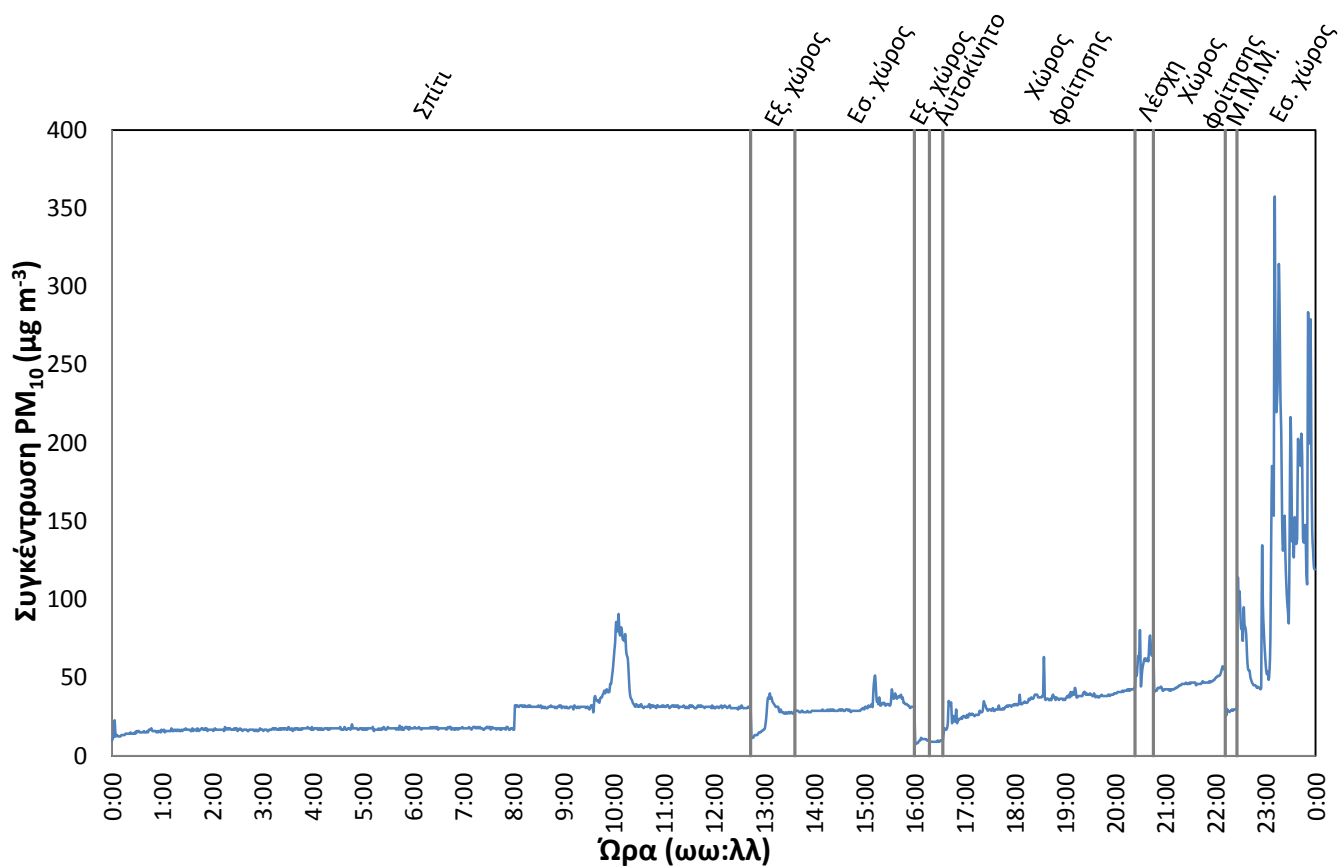
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM ₁₀ (μg m ⁻³)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:00	8,0	Σπίτι	Ύπνος	20,5±2,3
08:01	09:13	1,2	Σπίτι	Ήπια άσκηση	18,6±0,4
09:14	09:26	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	11,6±1,8
09:27	09:47	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	18,9±2,5
09:48	15:06	5,3	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	26,6±6,7
15:07	15:39	0,5	Λέσχη	Ανάπαυση	38,2±10,0
15:40	16:06	0,4	Εξωτερικός χώρος	Ανάπαυση	34,3±5,8
16:07	16:27	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	31,4±3,0
16:28	17:04	0,6	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	42,8±17,3
17:05	19:43	2,6	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	113,3±61,7
19:44	20:00	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	23,4±2,8
20:01	21:01	1,0	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	52,1±11,7
21:02	21:21	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	26,0±2,3
21:22	00:00	2,6	Σπίτι	Ήπια άσκηση	50,6±54,0
Μέση συγκέντρωση PM ₁₀ την 13 ^η ημέρα: 38,0±39,9 μg m ⁻³					



Σχήμα Α.20: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} την 14^η ημέρα.

Πίνακας Α.14: Δραστηριότητα 14^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM_{10} .

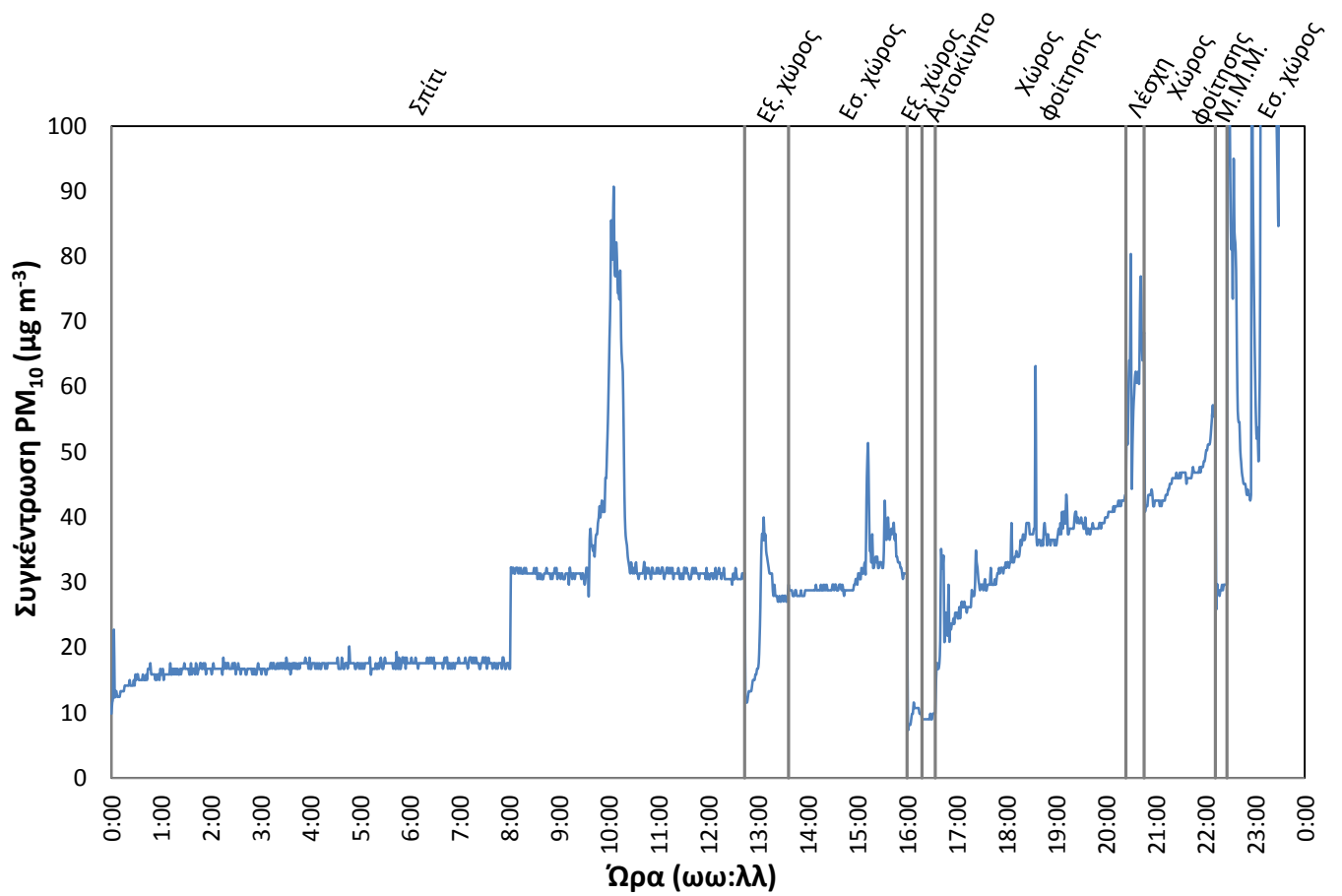
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g m^{-3}$)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	00:30	0,5	Σπίτι	Ανάπαυση	62,4±4,7
00:31	08:21	7,8	Σπίτι	Ύπνος	31,2±3,3
08:22	10:05	1,7	Σπίτι	Ήπια άσκηση	46,6±6,7
10:06	10:37	0,5	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	26,7±3,0
10:38	11:37	1,0	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	32,5±3,8
11:38	11:47	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	28,4±1,7
11:48	12:06	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	28,2±2,8
12:07	16:05	4,0	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	33,1±11,6
16:06	16:26	0,3	Λέσχη	Ανάπαυση	40,3±0,5
16:27	16:47	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	40,7±0,5
16:48	18:16	1,5	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	35,3±8,6
18:17	18:32	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	28,2±25,3
18:33	18:54	0,3	Μ.Μ.Μ.(Λεωφορείο)	Ανάπαυση	24,5±4,0
18:55	19:29	0,6	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	43,8±6,4
19:30	20:00	0,5	Κυλικείο	Ανάπαυση	58,7±7,4
20:01	21:59	2,0	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	55,9±5,7
22:00	22:20	0,3	Λέσχη	Ανάπαυση	65,0±4,5
22:21	22:34	0,2	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	18,4±3,7
22:35	23:05	0,5	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	34,1±1,1
23:06	23:35	0,5	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	42,4±6,1
23:36	00:00	0,4	Σπίτι	Ήπια άσκηση	41,8±4,0
Μέση συγκέντρωση PM_{10} την 14^η ημέρα: 37,4±12,1 $\mu g m^{-3}$					



Σχήμα Α.21: Έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀ την 15^η ημέρα.

Πίνακας Α.15: Δραστηριότητα 15^{ης} ημέρας και έκθεση σε συγκεντρώσεις PM₁₀.

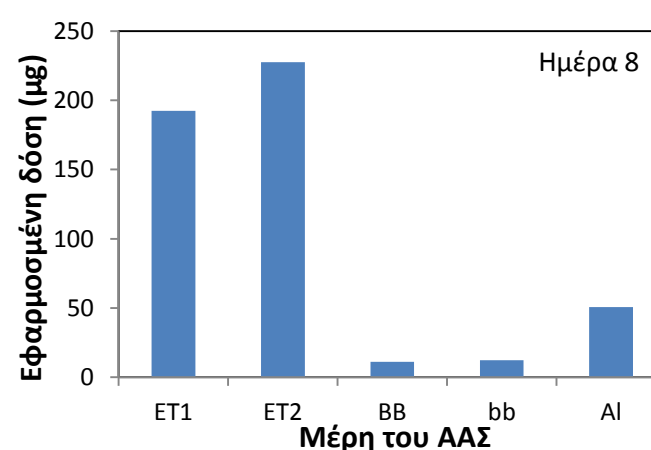
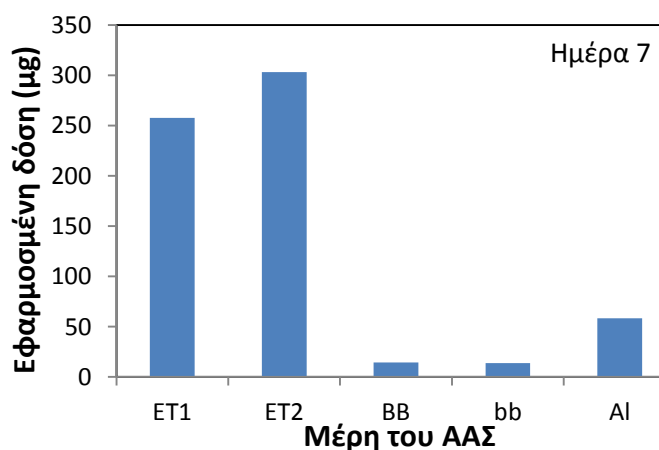
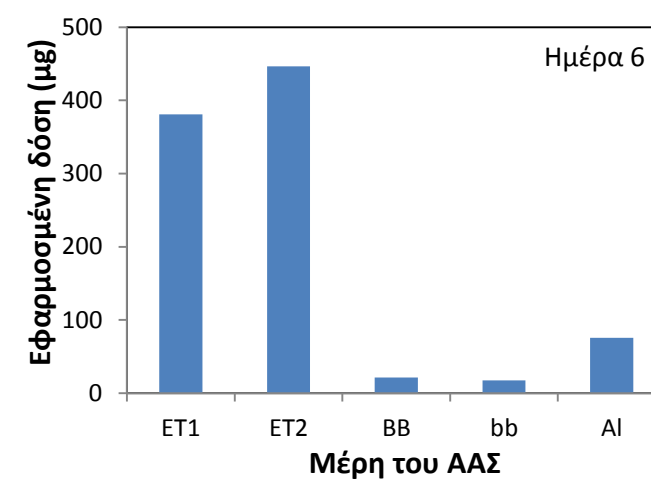
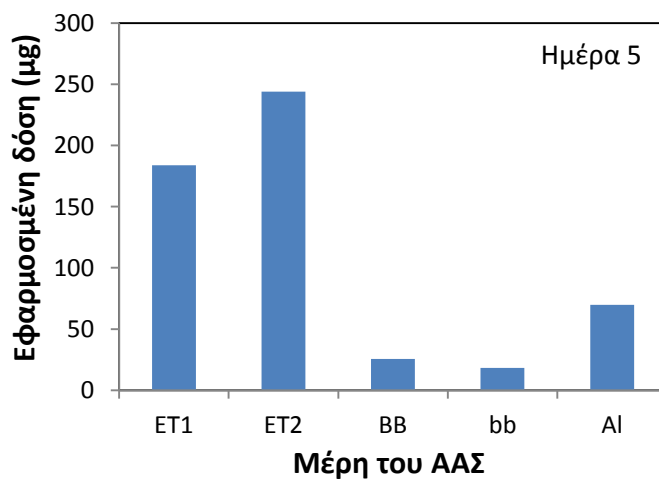
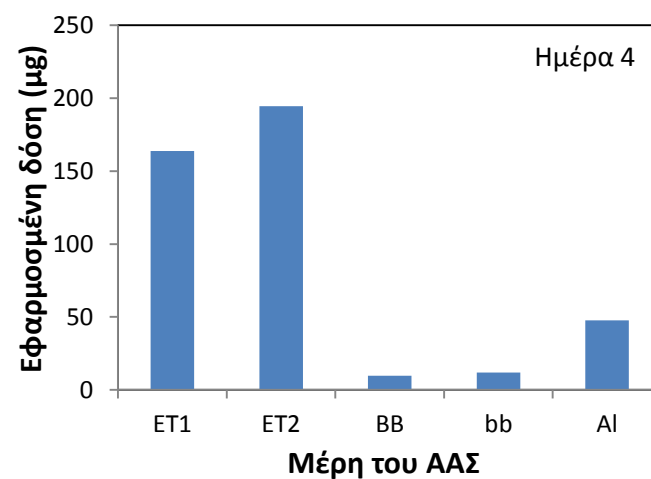
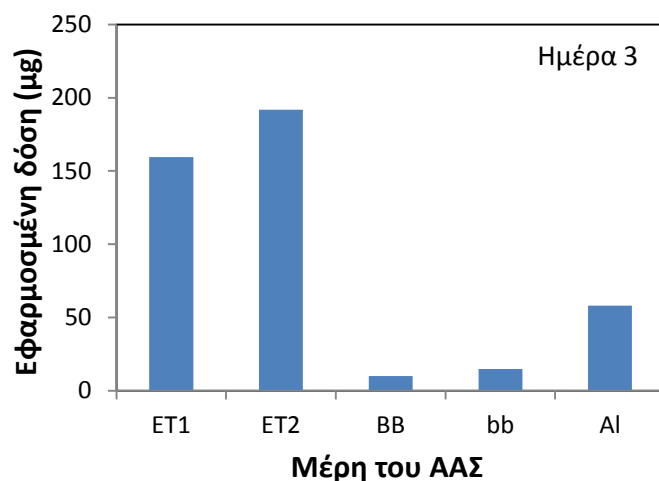
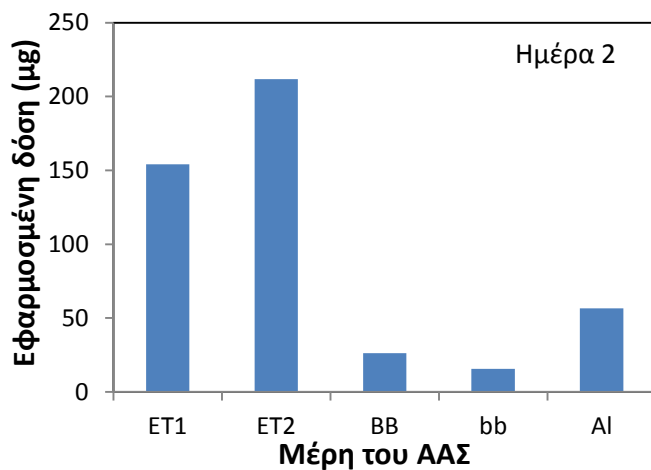
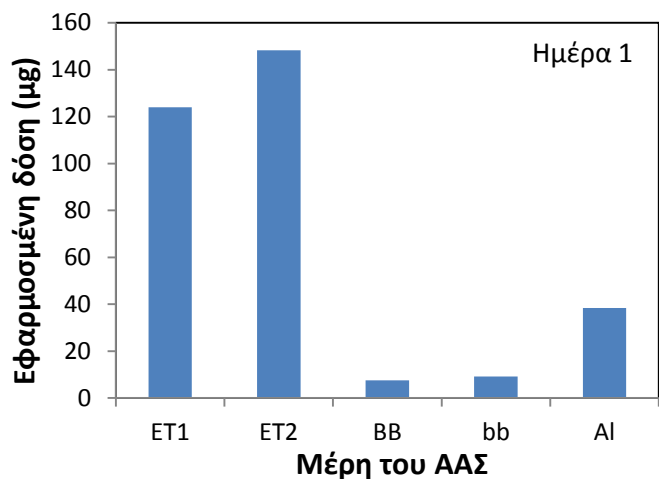
Ώρα		Διάρκεια (h)	Μικροπεριβάλλον	Επίπεδο δραστηριότητας	Συγκέντρωση PM ₁₀ (μg m ⁻³)
Έναρξη	Λήξη				
00:00	08:01	8,0	Σπίτι	Ύπνος	16,9±1,2
08:02	09:55	1,9	Σπίτι	Ήπια άσκηση	32,5±2,9
09:56	12:44	2,8	Σπίτι	Ήπια άσκηση	36,7±13,9
12:45	12:53	0,1	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	12,7±0,9
12:54	13:22	0,5	Εξωτερικός χώρος	Ανάπαυση	27,5±8,1
13:23	13:37	0,2	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	27,6±0,7
13:38	16:00	2,4	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	31,3±4,0
16:01	16:18	0,3	Εξωτερικός χώρος	Ήπια άσκηση	9,7±1,2
16:19	16:34	0,3	Αυτοκίνητο	Ανάπαυση	9,3±0,4
16:35	20:24	3,8	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	34,3±6,3
20:25	20:46	0,3	Λέσχη	Ανάπαυση	62,3±8,0
20:47	22:12	1,4	Χώρος φοίτησης	Ανάπαυση	46,2±3,6
22:13	22:26	0,2	Μ.Μ.Μ. (Λεωφορείο)	Ανάπαυση	29,0±0,9
22:27	00:00	1,6	Εσωτερικός χώρος	Ανάπαυση	128,3±71,6
Μέση συγκέντρωση PM ₁₀ την 15 ^η ημέρα: 34,6±32,8 μg m ⁻³					

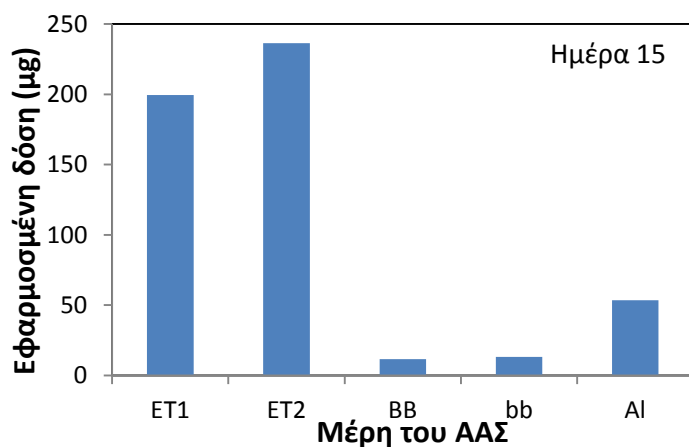
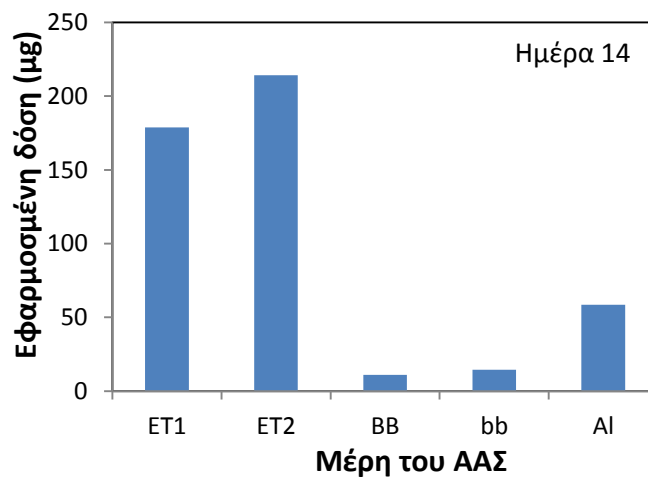
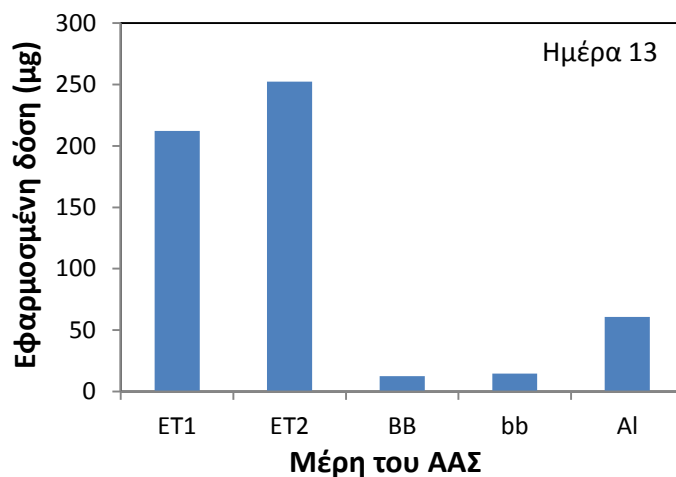
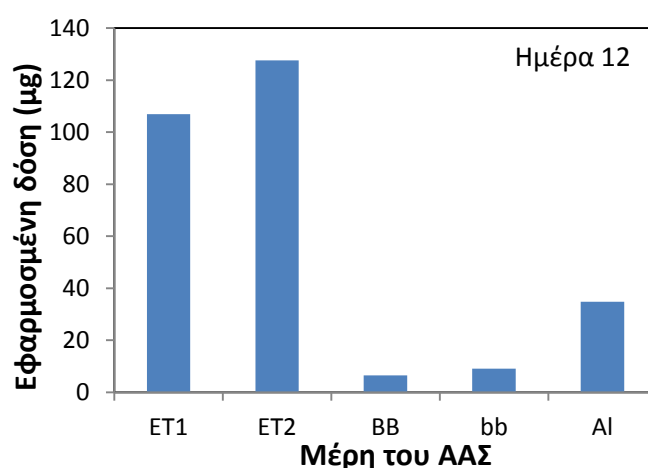
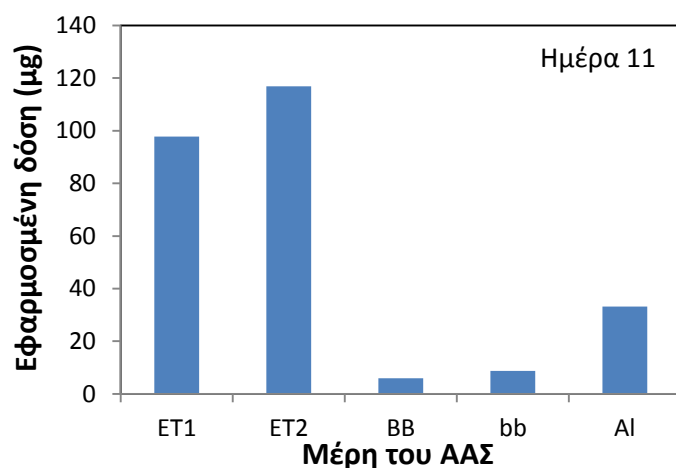
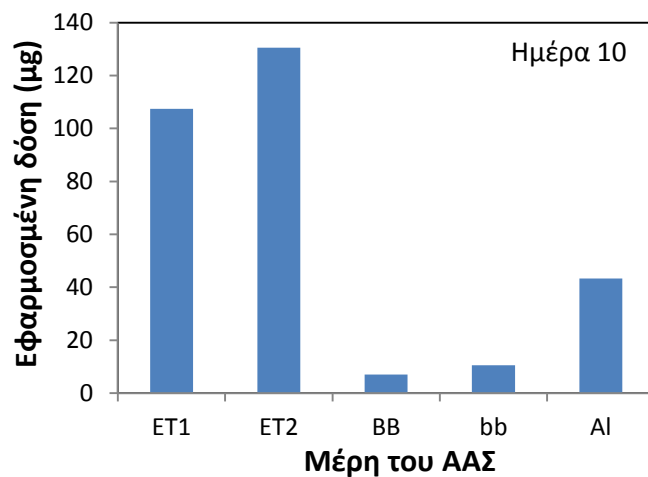
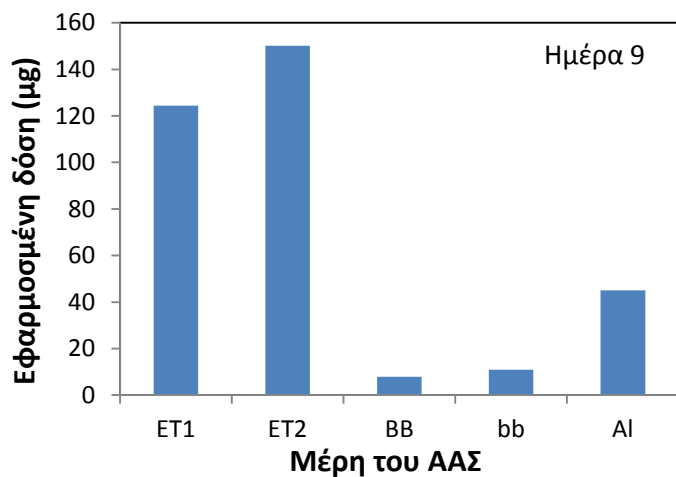


Σχήμα Α.22: Λεπτομέρεια του Σχήματος Α.21 , όπου φαίνονται οι συγκεντρώσεις μέχρι $100 \mu g m^{-3}$.

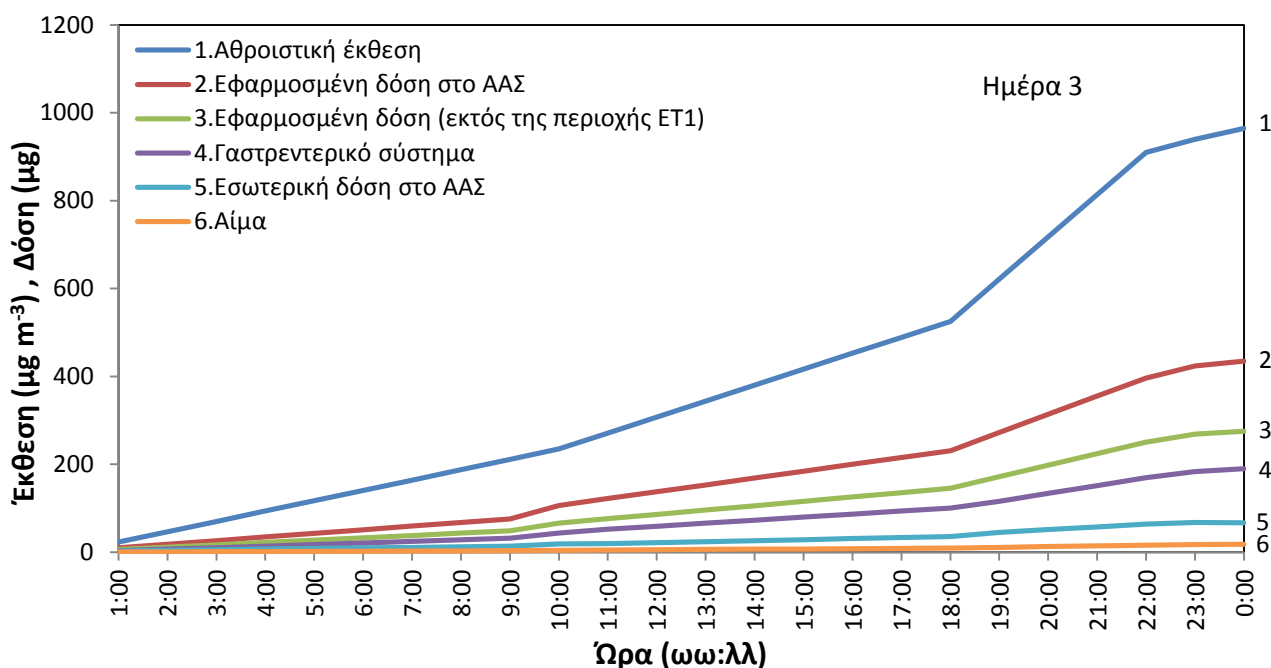
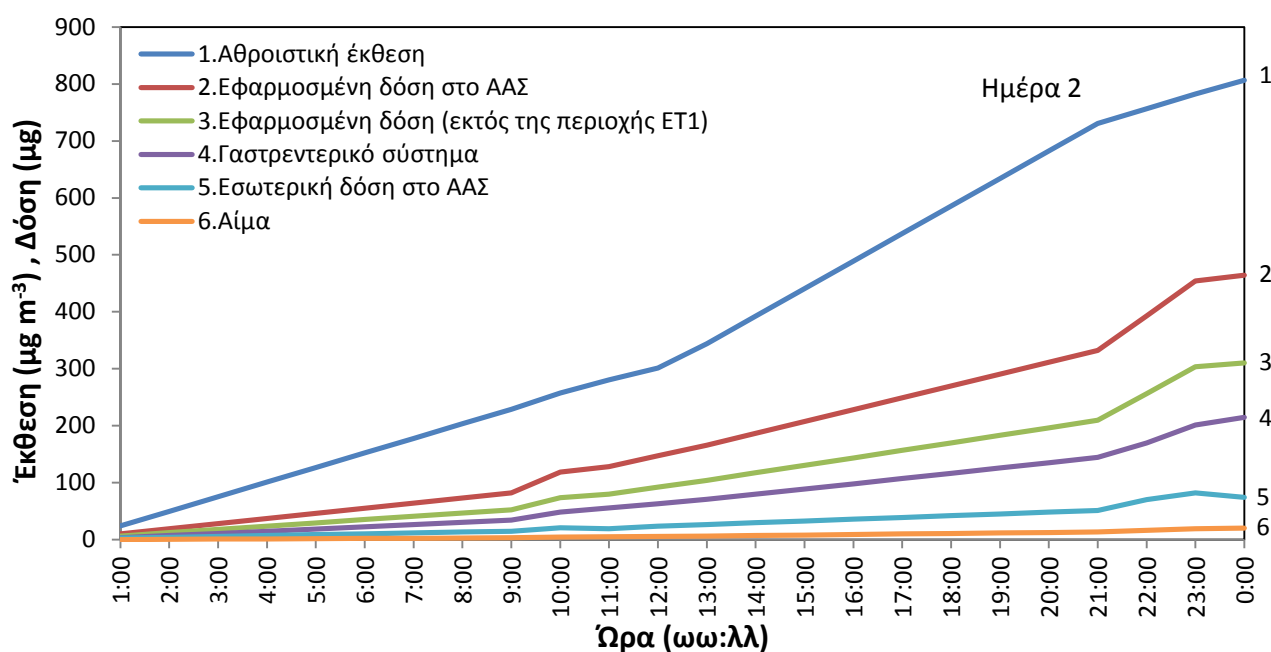
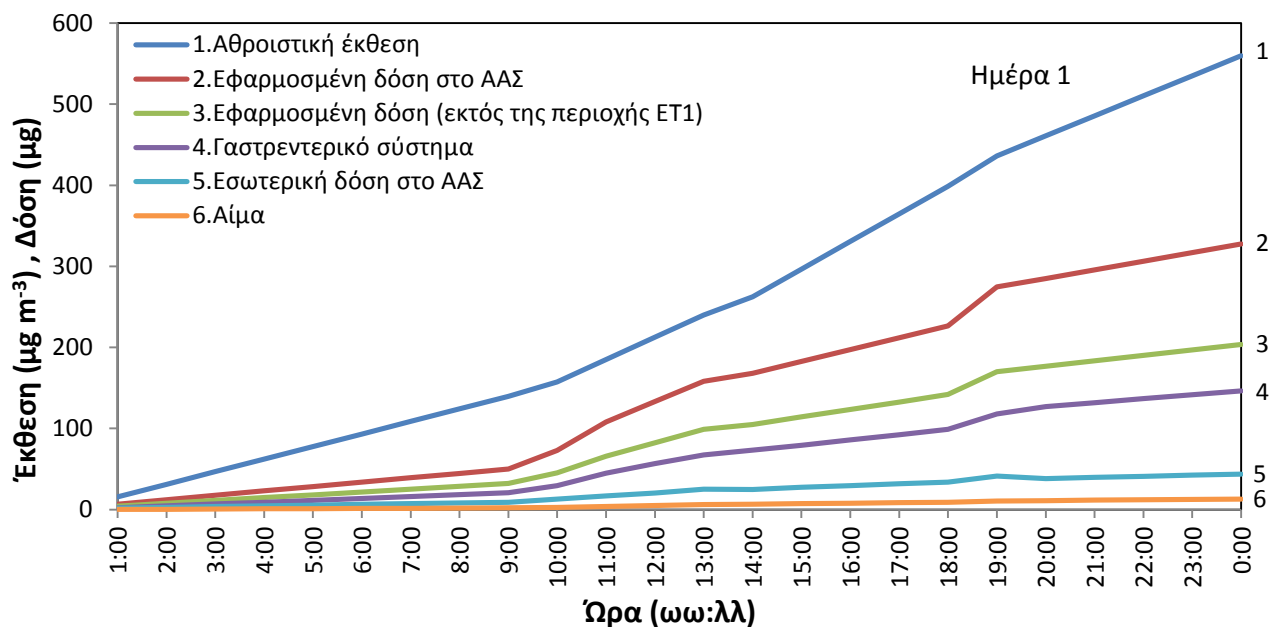
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

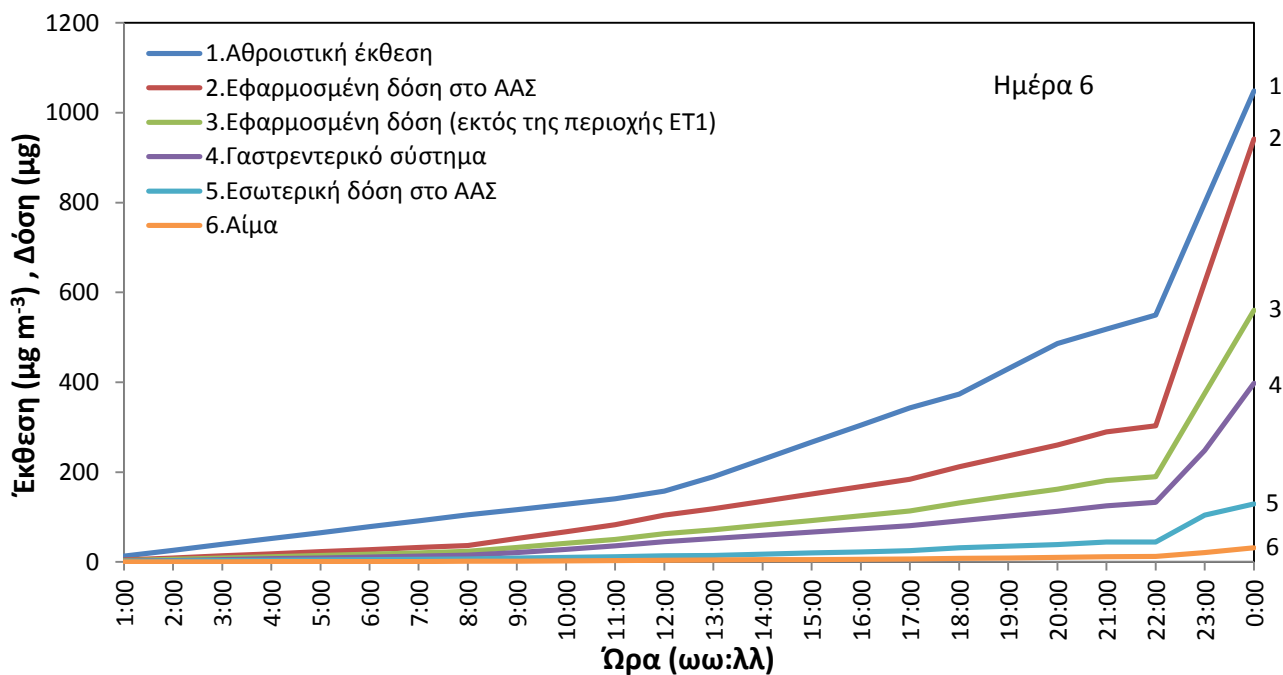
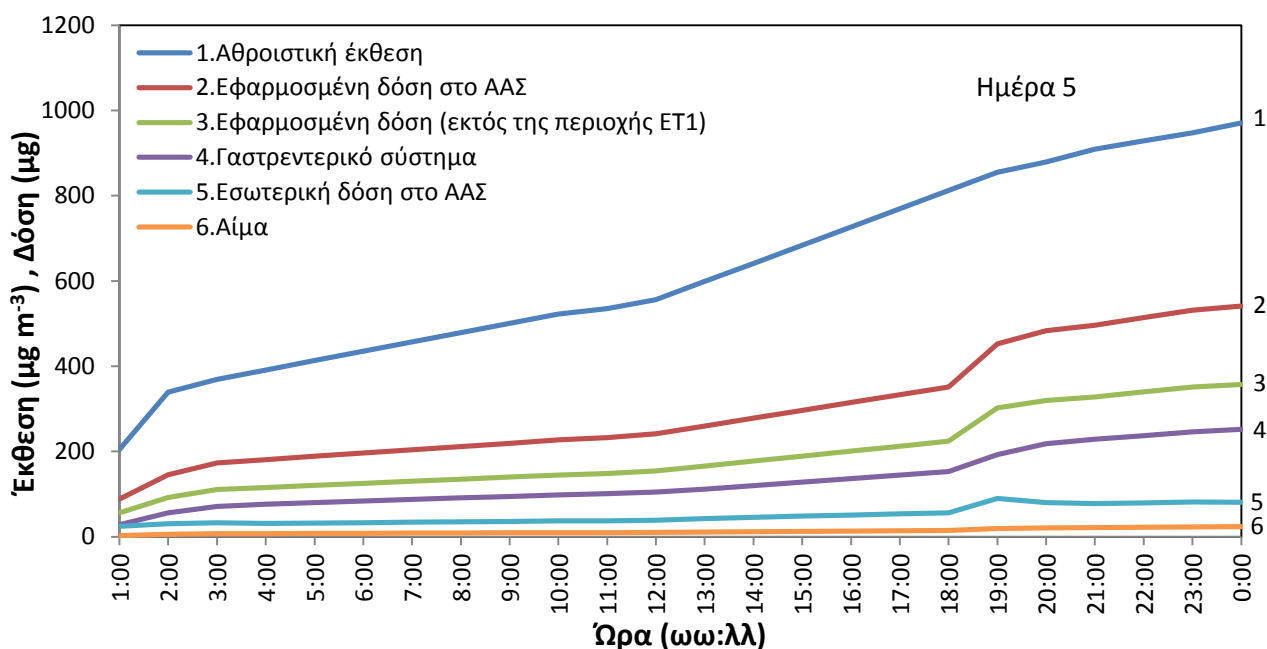
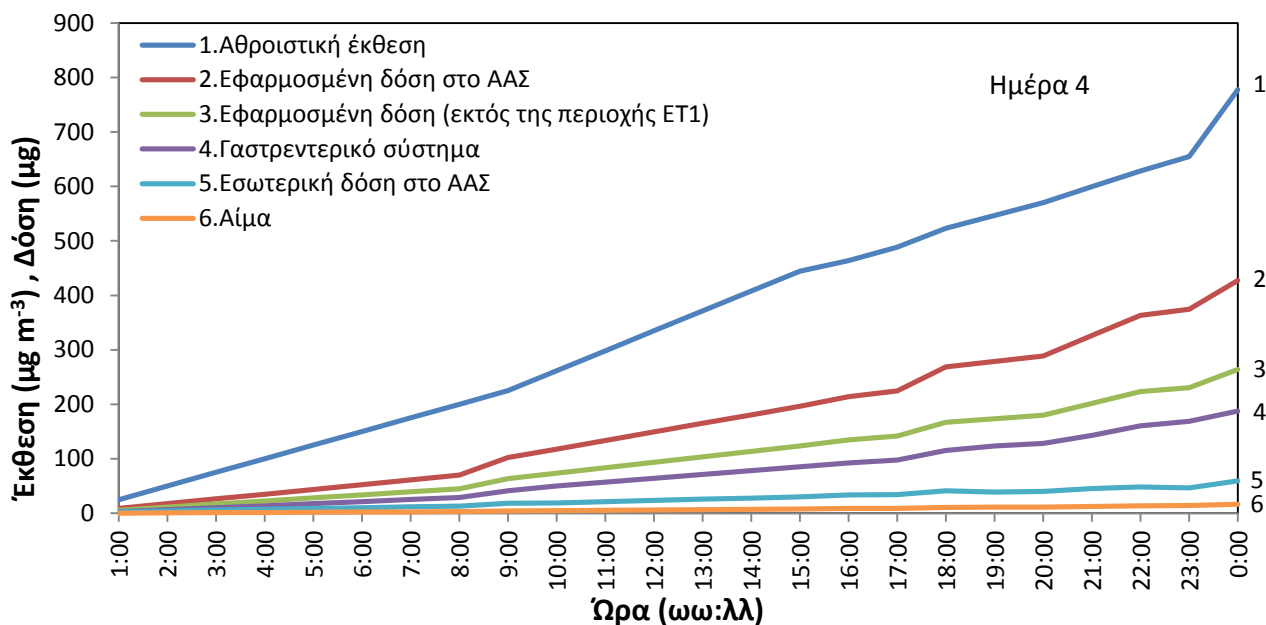
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ PM_{10} ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΑΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ, ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΟΣΗΣ**

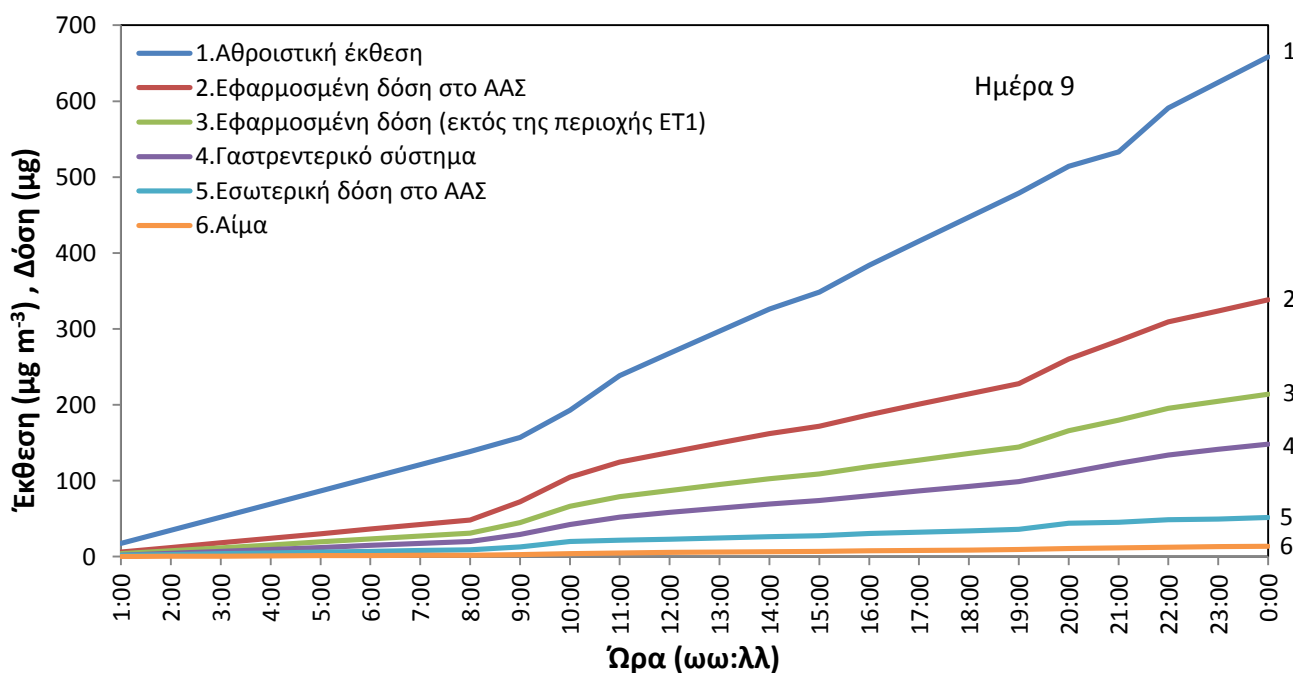
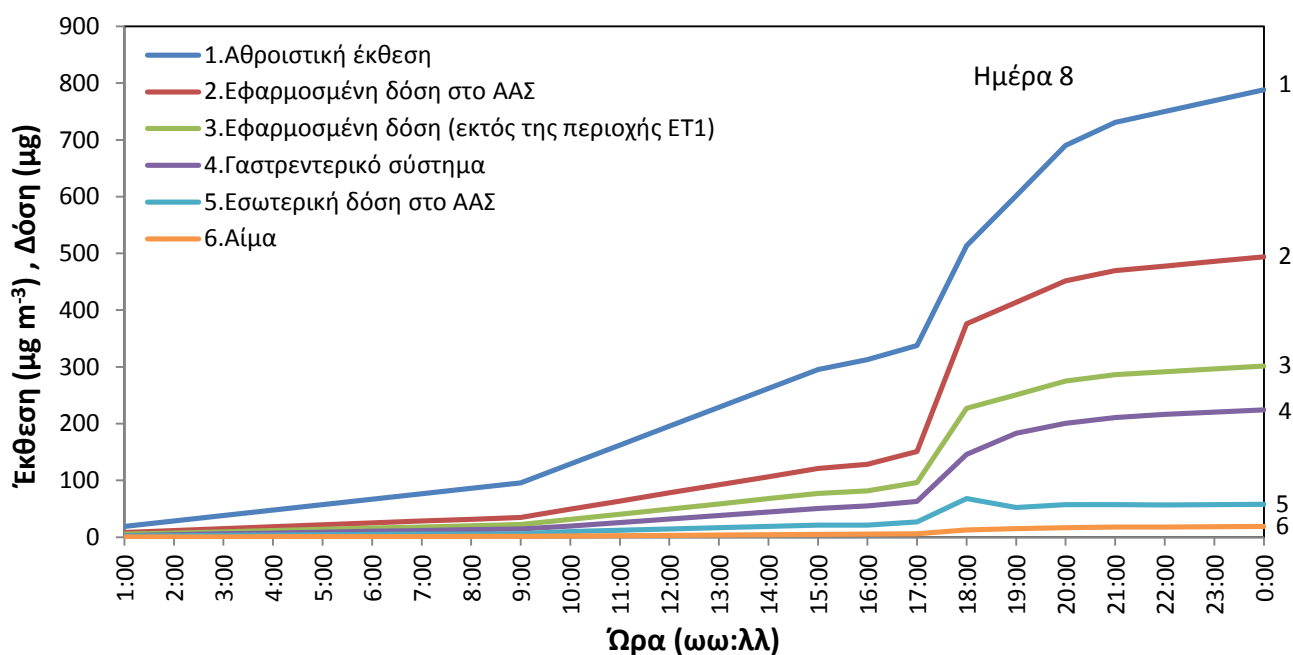
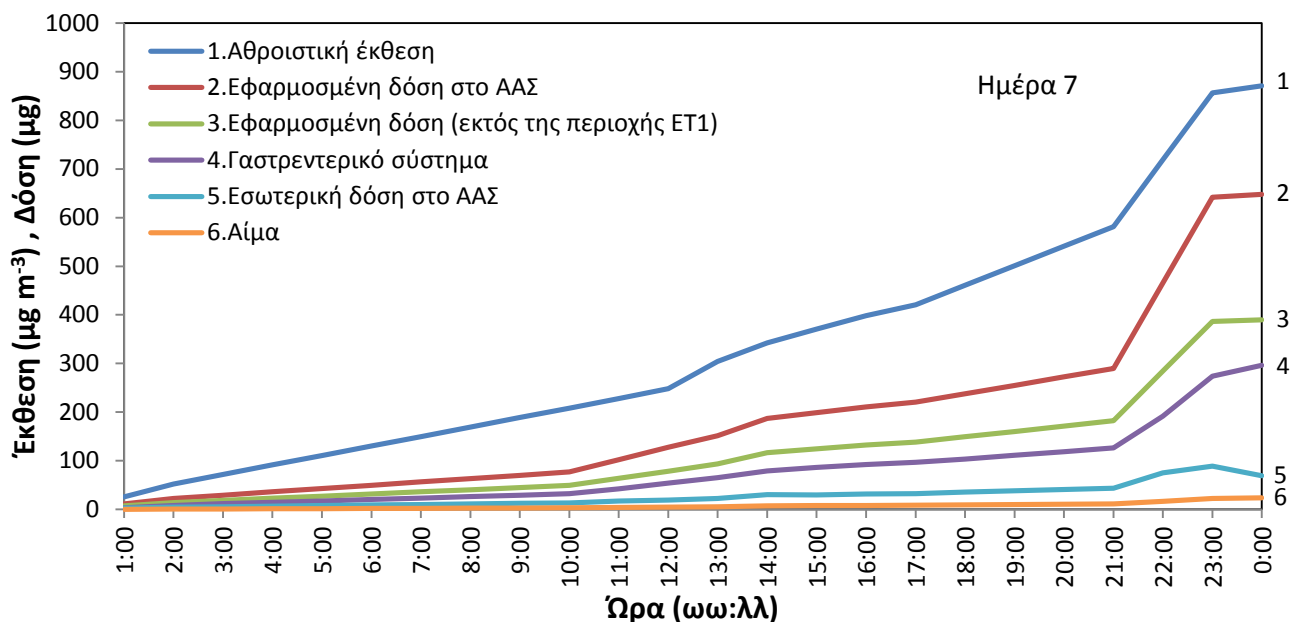


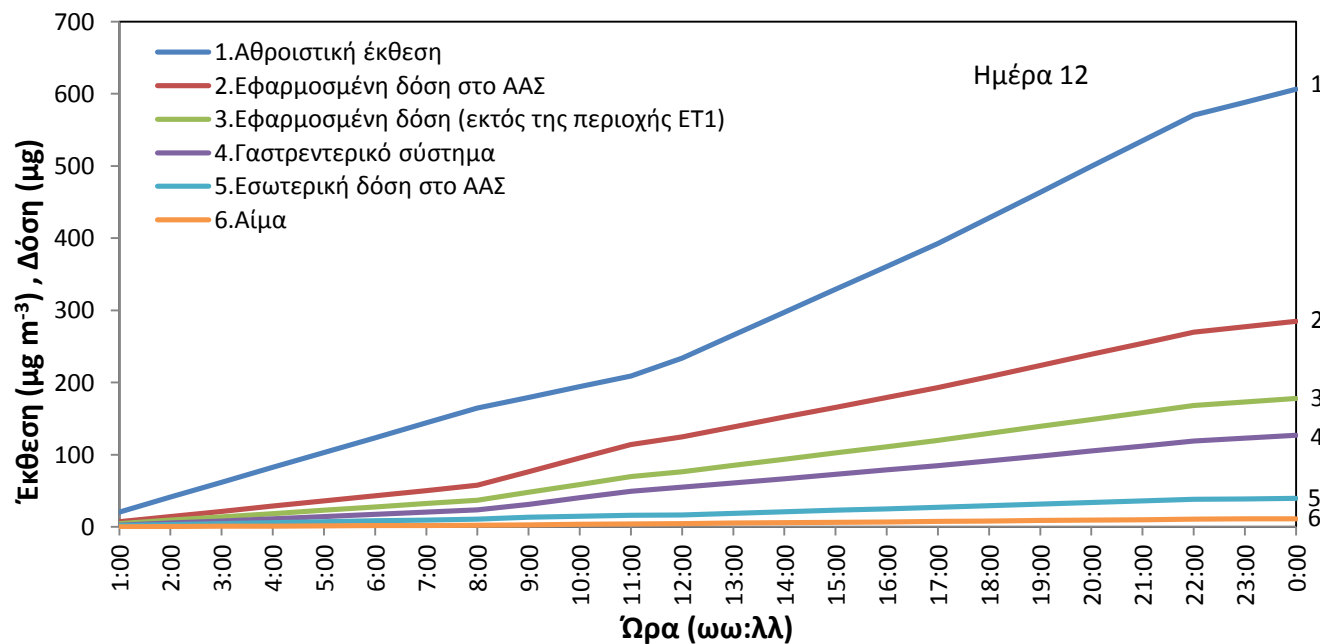
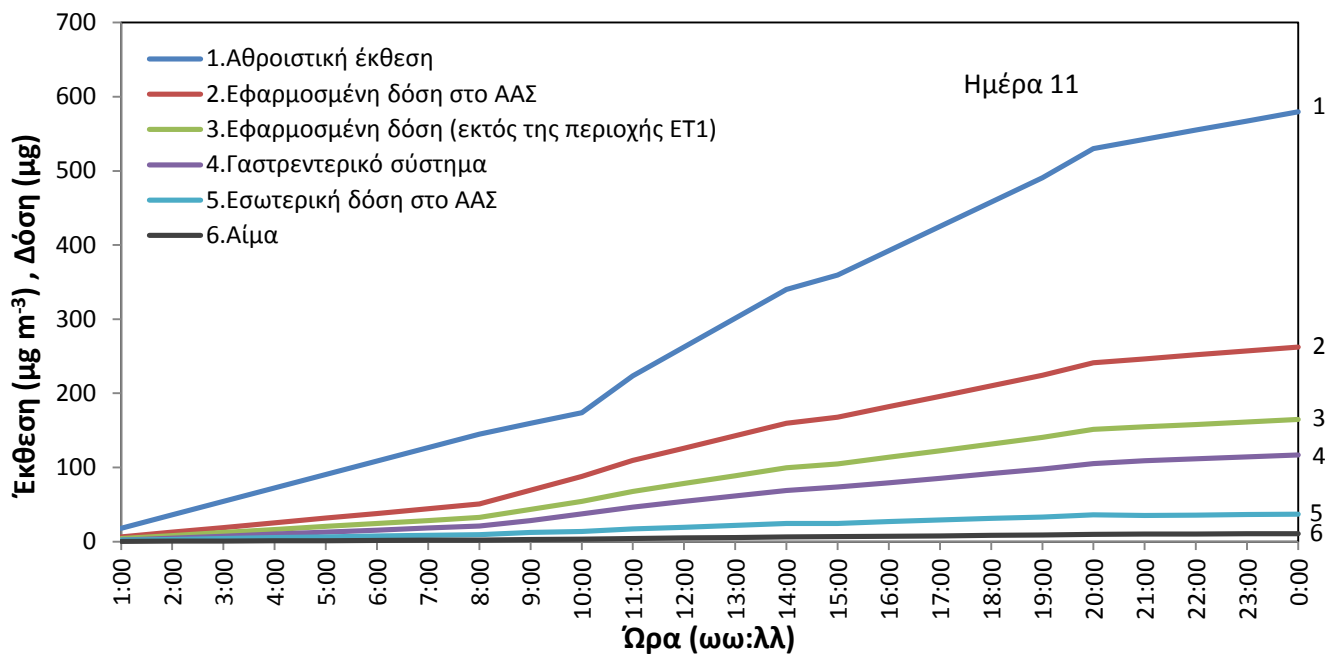
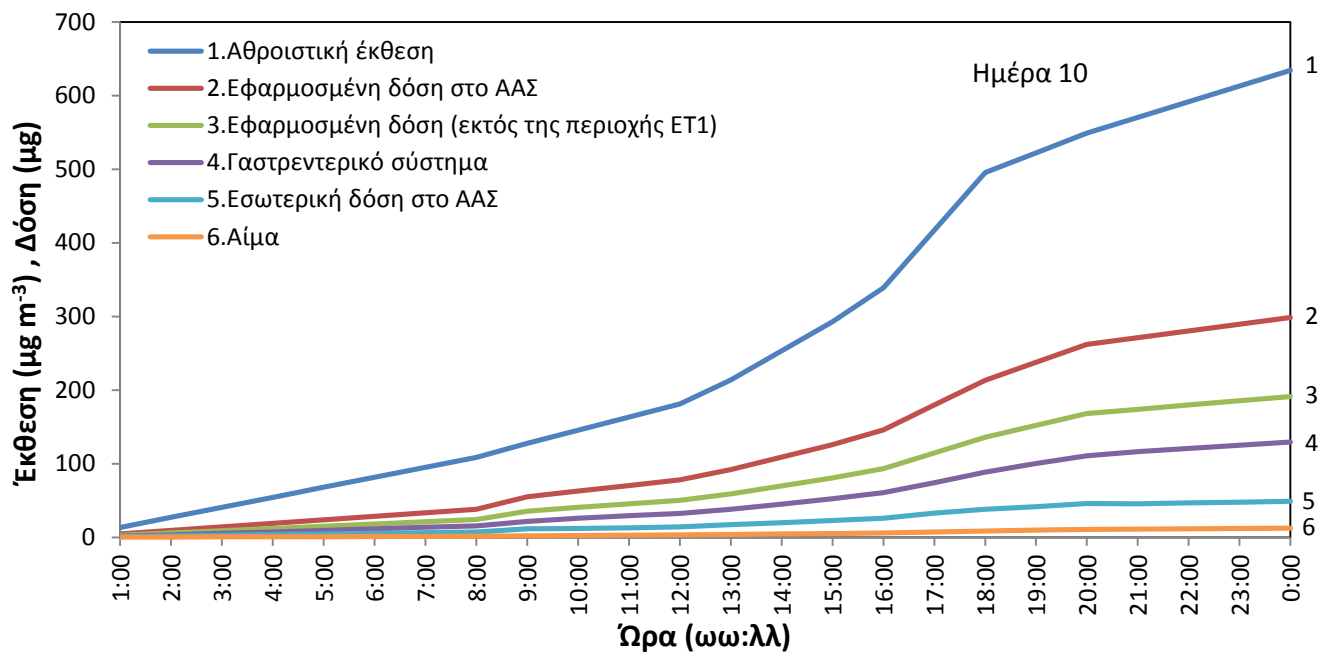


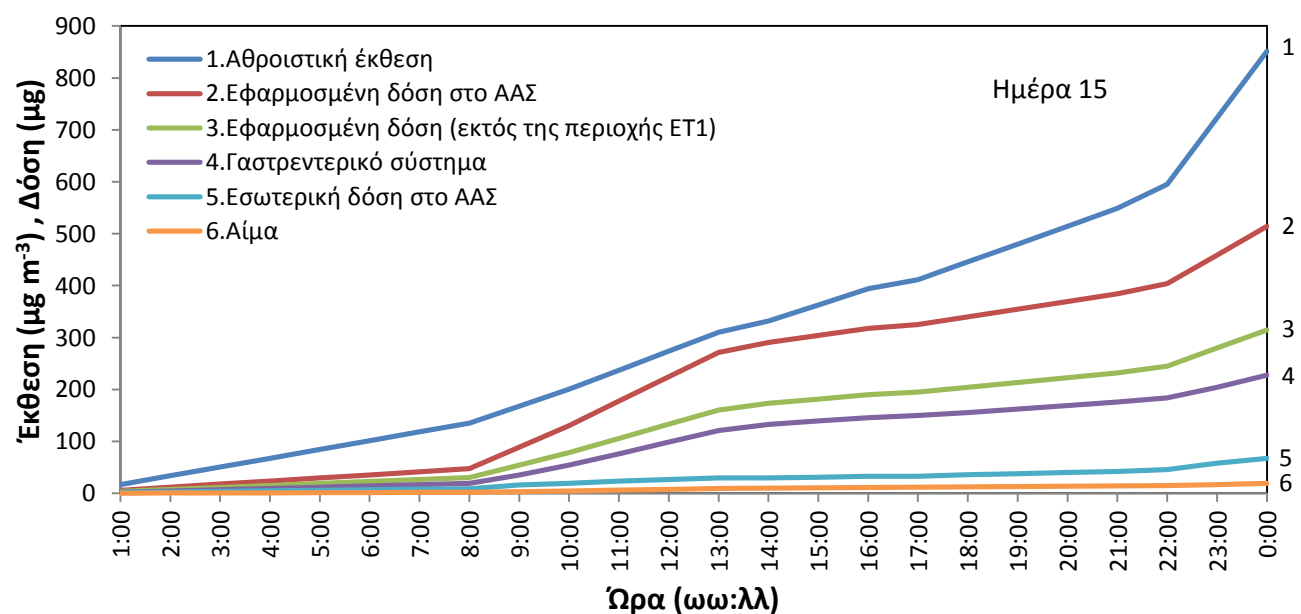
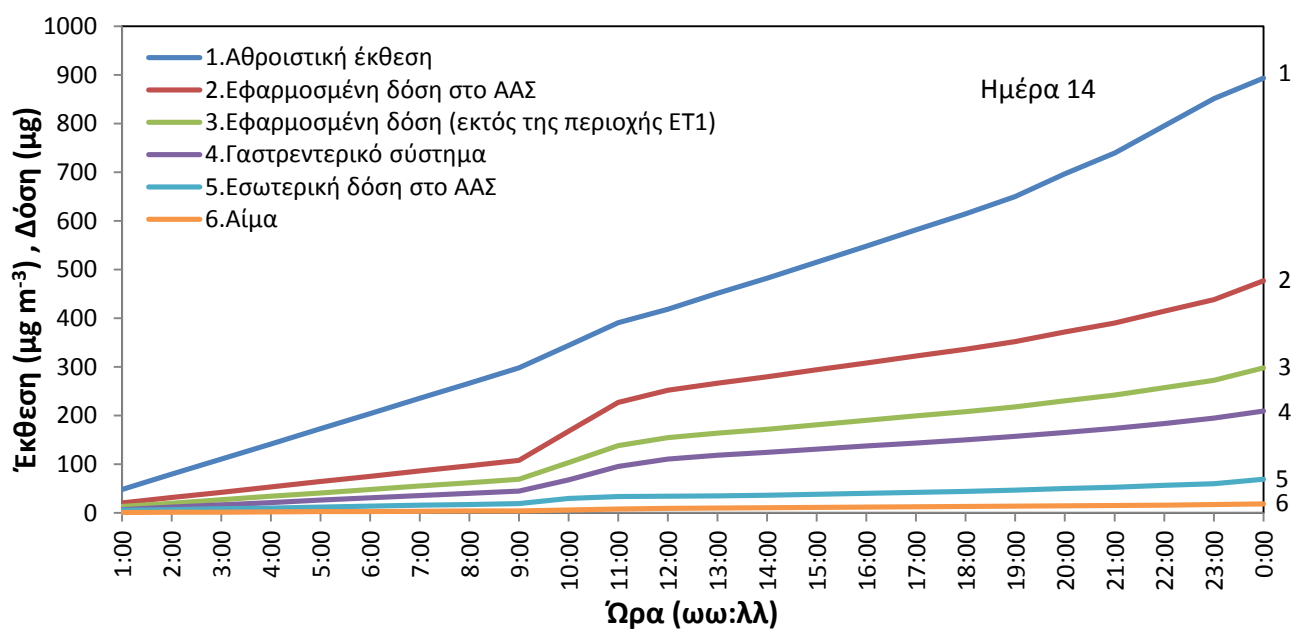
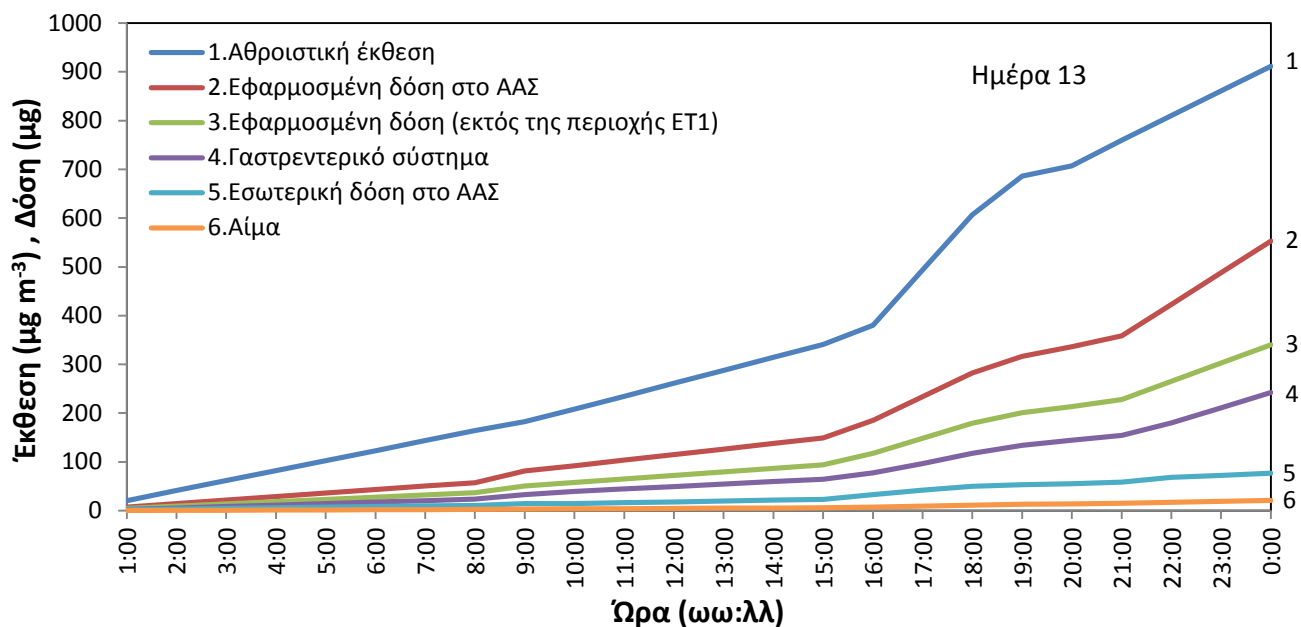
Σχήμα Β.1: Η εφαρμοσμένη δόση PM_{10} (μg) στα διάφορα μέρη του ΑΑΣ όπως υπολογίστηκε με το μοντέλο ExDoM για κάθε μία από τις 15 ημέρες.











Σχήμα Β.2: Αθροιστική έκθεση, εφαρμοσμένη και εσωτερική δόση PM_{10} στο ΑΑΣ για κάθε μία από τις 15 ημέρες. Δίνονται ακόμα η ποσότητα που μεταφέρεται στο γαστρεντερικό σύστημα και στο αίμα.