

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος



Μελέτη της ανθρώπινης έκθεσης και δόσης σε Νοσοκομειακούς Χώρους

Σάντα Βασιλική

Επιβλέπων Καθηγητής : Λαζαρίδης Μιχαήλ

Μέλη επιτροπής:

Κοπανάκης Ηλίας

Τσούτσος Θεοχάρης

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	6
Abstract.....	8
Κεφάλαιο 1 ^ο : Θεωρητικό Υπόβαθρο	10
1. Αιωρούμενα Σωματίδια, ΑΣ (Atmospheric Particulate Matter, PM).....	10
1.1 Γενικά	10
1.2 Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά - Ταξινόμηση σωματιδίων	10
2. Βιοαεροζόλ.....	14
3. Αεροζόλ εσωτερικών χώρων	15
4. Νομοθεσία	16
5. Αιωρούμενα σωματίδια και Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα	17
5.1 Περιγραφή και Λειτουργία του Ανθρώπινου Αναπνευστικού Συστήματος	17
5.2 Δόση και Έκθεση	19
5.3 Εναπόθεση σωματιδίων στο Αναπνευστικό Σύστημα:	21
5.4 Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία	23
Κεφάλαιο 2 ^ο : Πειραματική Διαδικασία	24
2.1 Περιοχή Μελέτης	24
2.2 Οργανολογία.....	25
2.2.1 Όργανο Μέτρησης DustTrak.....	25
2.2.2 Χρήση οργάνου	26
2.2.3 Αρχή λειτουργίας	27
2.3 Περιγραφή του μοντέλου ExDoM2	28
2.3.1 Γραφικό περιβάλλον ExDoM2 και λειτουργία GUI.....	31
Κεφάλαιο 3 ^ο : Αποτελέσματα Μετρήσεων με τον δειγματολήπτη DustTrak.	35
3.1. Αποτελέσματα μετρήσεων δειγματολήπτη DustTrak	35
3.1.1 Πρώτος Χώρος Δειγματοληψίας: Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας.....	35
3.1.2 Δεύτερος Χώρος Δειγματοληψίας: Παθολογικό Τμήμα	41
3.1.3 Τρίτος Χώρος Δειγματοληψίας: Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα.....	46
3.1.4 Εξωτερικός Χώρος.....	50
Κεφάλαιο 4 ^ο : Αποτελέσματα του μοντέλου ExDoM2	54
4.1 Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας- Δραστηριότητα :Κάθισμα – Χωρίς Άσκηση (Activity 2: Sitting).....	56
4.2 Παθολογικό Τμήμα Χωρίς Εφημερία- Δραστηριότητα :Κάθισμα – Χωρίς Άσκηση (Activity 2: Sitting) & Ύπνος (Activity 1: Sleep)	58
4.3 Παθολογικό Τμήμα με Εφημερία- Δραστηριότητα : Ελαφριά Άσκηση (Activity 3: Light Exercise) & Ύπνος (Activity 1: Sleep)	61

4.4 Εκτακτό Καρδιολογικό Τμήμα με Εφημερία- Δραστηριότητα : Ελαφριά Άσκηση (Activity 3: Light Exercise)	63
Κεφάλαιο 5ο : Στατιστική ανάλυση δεδομένων με χρήση του προγράμματος SPSS. 66	
5.1 Περιγραφή και λειτουργία SPSS.	66
5.2 Ερευνητικές υποθέσεις και στόχοι τους.....	66
5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση	67
5.4 Σύγκριση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για τις ώρες που είχε εφημερία το νοσοκομείο σε σχέση με τις ώρες που δεν είχε.	67
5.5 Σύγκριση ΑΣ στους διάφορους νοσοκομειακούς χώρους	69
5.5.1 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με το Γραφείο.....	71
5.5.2 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με το έκτακτο Καρδιολογικό.	72
5.5.3 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με τον Εξωτερικό χώρο	72
5.5.4 Έλεγχος των ΑΣ του Γραφείου σε σύγκριση με το Καρδιολογικό τμήμα	72
5.5.5 Έλεγχος των ΑΣ του Γραφείου σε σύγκριση με τον εξωτερικό χώρο	73
5.5.6 Έλεγχος των ΑΣ του Καρδιολογικού Τμήματος σε σύγκριση με τον εξωτερικό χώρο	73
5.6 Σύγκριση ΑΣ του γραφείου κατά την διάρκεια εργασίας του προσωπικού ανάμεσα σε μη ωράριο εργασίας.	73
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις	76
Βιβλιογραφία	79

Ευρετήριο Πινάκων:

Πίνακας 1: Παρουσιάζονται τα μεγέθη των αερολυμάτων.	14
Πίνακας 2: Παρουσιάζονται οι πηγές και οι καταβόθρες αεροζόλ εσωτερικού χώρου.	16
Πίνακας 3: Παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση ΑΣ στο χώρο του γραφείου.	37
Πίνακας 4: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ στο Παθολογικό Τμήμα.	42
Πίνακας 5: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ ₁₀ στο Καρδιολογικό Τμήμα.....	47
Πίνακας 6: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ στον Εξωτερικό χώρο. .	51
Πίνακας 7. Παρουσιάζεται η σύγκριση μέσης ωριαίας Συγκέντρωσης Εξωτερικού και Εσωτερικών Χώρων.	53
Πίνακας 8: Παρουσιάζονται τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια της αεροδυναμικής διαμέτρου των διαφορετικών σταδίων του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen.	54

Πίνακας 9: Παρουσιάζεται η συγκέντρωση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.	54
Πίνακας 10: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ExDom2 για 1ο Σενάριο.	57
Πίνακας 11: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ExDom2 για 2ο Σενάριο.	60
Πίνακας 12: Αποτελέσματα ExDom2 για 3ο Σενάριο.	62
Πίνακας 13: Αποτελέσματα ExDom2 για 4ο Σενάριο.	65
Πίνακας 14: Μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.	68
Πίνακας 15: Αποτελέσματα σύγκρισης της μέσης τιμής των ΑΣ κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.	69
Πίνακας 16. Παρουσιάζονται τα μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων στους νοσοκομειακούς χώρους.	70
Πίνακας 17. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης της μέσης τιμής των ΑΣ στους νοσοκομειακούς χώρους.	70
Πίνακας 18. Παρουσιάζονται τα μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων στο γραφείο κατά το ωράριο λειτουργίας του και κατά την διάρκεια που ήταν κλειστό.	74
Πίνακας 19: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης της μέσης τιμής ΑΣ κατά την διάρκεια λειτουργίας του γραφείου ή μη λειτουργίας του γραφείου.	75

Ευρετήριο Εικόνων:

Εικόνα 1. Απεικονίζονται οι τυπικές κατανομές αριθμού και όγκου αερολυμάτων. (Λαζαρίδης, 2015, Βασικές Αρχές της Επιστήμης των αεροζόλ).	11
Εικόνα 2: Αναπνευστικό σύστημα.	18
Εικόνα 3: Διάκριση του ΑΑΣ σε τρία μέρη. (Bonanno J. L., 2008)	19
Εικόνα 4: Μηχανισμοί Εναπόθεσης.	22
Εικόνα 5: Υπολογισμός εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.	23
Εικόνα 6: Γενικό Νοσοκομείο ΕΛΠΙΣ το 1970.	25
Εικόνα 7: Γενικό Νοσοκομείο ΕΛΠΙΣ 2020.	25
Εικόνα 8: Απεικονίζεται το όργανο μέτρησης DustTrak.	26
Εικόνα 9: Παρουσιάζεται σχηματικά η λειτουργία του οργάνου DustTrak.	28
Εικόνα 10: Απεικονίζονται οι εκτός θωρακικές περιοχές ΑΑΣ.	30
Εικόνα 11: Απεικονίζονται οι θωρακικές Περιοχές ΑΑΣ.	31
Εικόνα 12: Παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον gui.	32
Εικόνα 13: Απεικονίζεται η εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων στην πλατφόρμα gui.	33
Εικόνα 14: : Απεικονίζεται η εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων στην πλατφόρμα gui.	33
Εικόνα 15: Απεικονίζεται η εκκίνηση του προγράμματος gui.	33
Εικόνα 16: Παρουσιάζονται τα δυναμικά αποτελέσματα του μοντέλου gui.	34
Εικόνα 17. Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 14-16/12 στο Παθολογικό Τμήμα.	44

Εικόνα 18: Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 18-10/12 στο Παθολογικό Τμήμα.	45
Εικόνα 19: Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 22-14/12 & 27/12 στο Παθολογικό Τμήμα.	46

Ευρετήριο Γραφήματων

Γράφημα 1: Ραβδόγραμμα 1 ^η Περιόδου: Μέσης Συγκέντρωσης για το χώρο του Γραφείου.....	38
Γράφημα 2: Ραβδόγραμμα 2 ^η Περιόδου: Μέσης Συγκέντρωσης για το χώρο του Γραφείου.....	38
Γράφημα 3: Ραβδόγραμμα 3 ^η Περιόδου: Μέσης Συγκέντρωσης για το χώρο του Γραφείου.....	39
Γράφημα 4: Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο Χώρο του Γραφείου (Εκτός Σ/Κ).....	40
Γράφημα 5: Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο Χώρο του Γραφείου μια τυχαία καθημερινή ημέρα.....	41
Γράφημα 6: Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο Χώρο του Γραφείου Σ/Κ.....	42
Γράφημα 7: Σύγκριση Καθημερινών Ημερών με Σ/Κ στο Χώρο του Γραφείου.....	43
Γράφημα 8: Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσης PM ₁₀ Καρδιολογικό Τμήμα 31/12...48	
Γράφημα 9: Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσης PM ₁₀ Καρδιολογικό Τμήμα 1/1.....48	
Γράφημα 10: Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσης PM ₁₀ Καρδιολογικό Τμήμα 2/1.....49	
Γράφημα 11: Ραβδόγραμμα 3 ημερών του Καρδιολογικού Τμήματος.....50	
Γράφημα 12: Διάγραμμα Ωριαίας Εξωτερική Συγκέντρωση 3 ημερών- 4ώρων.....51	
Γράφημα 13: Ραβδόγραμμα Εξωτερικής Συγκέντρωσης τριών τετράωρων.....52	
Γράφημα 14: Ραβδόγραμμα Μέσης Εξωτερικής Ωριαίας Συγκέντρωσης.....53	
Γράφημα 15: Σύγκριση Εξωτερικού Χώρου με Εσωτερικούς Χώρους.....53	
Γράφημα 16: Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.....55	
Γράφημα 17: Ραβδόγραμμα Δόσης Ενήλικης Γυναίκας στο Χώρο του Γραφείου.....56	
Γράφημα 18: Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικης γυναίκας στο χώρο του γραφείου.....58	
Γράφημα 19: Ραβδόγραμμα Δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος χωρίς Εφημερία59	
Γράφημα 20: Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος χωρίς Εφημερία.....60	
Γράφημα 21: Ραβδόγραμμα Δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος με Εφημερία.....61	
Γράφημα 22: Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο Παθολογικό τμήμα με εφημερία.....62	
Γράφημα 23: Ραβδόγραμμα Δόσης ενήλικου άνδρα στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα με Εφημερία.....63	
Γράφημα 24: Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο Έκτακτο Καρδιολογικό τμήμα με εφημερία.....64	

Γράφημα 25: Μέση τιμή των PM_{10} κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.....	68
Γράφημα 16: Μέση τιμή PM_{10} κατά το ωράριο λειτουργίας του γραφείου και κατά την διάρκεια που ήταν κλειστό.....	74

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες η ρύπανση της ατμόσφαιρας ολοένα και αυξάνεται. Ο όρος ατμοσφαιρική ρύπανση χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ύπαρξη χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις που είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον, την υγεία του ανθρώπου, καθώς και όλων των έμβιων οργανισμών. Οι χημικές αυτές ενώσεις γενικά χαρακτηρίζονται ως ρύποι, καθώς μεταβάλλουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται υπεύθυνη για διάφορα προβλήματα υγείας, κυρίως αναπνευστικά, για τη μείωση του προσδόκιμου ζωής αλλά και για πρόωρους θανάτους. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν κύριο ατμοσφαιρικό ρύπο. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, είναι επικίνδυνα για την δημόσια υγεία, καθώς έχουν την ικανότητα να διεισδύουν στον ανθρώπινο οργανισμό και να αποτίθενται σε διάφορα μέρη του ανθρώπινου σώματος.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της σωματιδιακής ρύπανσης σε νοσοκομειακούς χώρους. Τρεις διαφορετικοί Νοσοκομειακοί χώροι (Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας, Παθολογικό Τμήμα και Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα) μελετήθηκαν στην εργασία αυτή στο νοσοκομείο «Η Ελπίς» στην Αθήνα. Η μέση συγκέντρωση στο Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας μετρήθηκε ίση με $30,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με τυπική απόκλιση $\pm 12,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, στο Παθολογικό Τμήμα ίση με $64,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με τυπική απόκλιση $\pm 54,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα ίση με $24,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με τυπική απόκλιση $\pm 21,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στον εξωτερικό χώρο του Νοσοκομείου μετρήθηκε ίση με $31,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με τυπική απόκλιση $\pm 9,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Με την βοήθεια του μοντέλου ExDoM2 υπολογίστηκε η εναποτιθέμενη δόση σε για μία ενήλικη γυναίκα στο χώρο του γραφείου κατά το ωράριο εργασίας της, για έναν ενήλικα άνδρα στο Παθολογικό τμήμα όταν αυτό εφημέρευε, για έναν ενήλικα άνδρα στο Παθολογικό τμήμα όταν αυτό δεν εφημέρευε, καθώς και στο Έκτακτο Καρδιολογικό τμήμα για έναν ενήλικα άνδρα, όταν εφημέρευε. Τέλος, με την βοήθεια του προγράμματος SPSS έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων με σκοπό την σύγκριση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων στους διάφορους

χώρους. Έγινε σύγκριση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων για τις ώρες που είχε εφημερία το νοσοκομείο σε σχέση με τις ώρες που δεν είχε, σύγκριση για τους τρεις εσωτερικούς και τον εξωτερικό χώρο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, καθώς και σύγκριση των συγκεντρώσεων κατά την διάρκεια εργασίας του προσωπικού στο γραφείο σε σύγκριση με το χρονικό διάστημα που το γραφείο ήταν κλειστό. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (συγκριτικά με τους άλλους χώρους) ήταν στο Παθολογικό Τμήμα. Αυτό οφείλεται στην εικοσιτετράωρη παραμονή των ασθενών στο χώρο του Νοσοκομείου, το συχνό καθαρισμό και αερισμό του χώρου, στα συστήματα θέρμανσης, καθώς και την επίσκεψη συγγενών, γιατρών και του νοσηλευτικού προσωπικού στο χώρο.

Abstract

In recent decades, air pollution has become increasingly noticeable. The term atmospheric pollution is used to describe the presence of various natural and chemical factors in the atmosphere, which are harmful of both the environment and human health, as well as all living organisms. These factors are generally referred to as pollutants, and they alter the natural characteristics of the atmosphere, with negative consequences for global public health. It is considered responsible for various respiratory and other health problems, as well as a reduction in life expectancy and premature deaths. One such pollutant is particulate matter, which, apart from its environmental impact, also has significant effects on the respiratory system and poses a danger to public health due to its ability to penetrate the human body and deposit in various parts of the human system.

The purpose of this dissertation is to determine particulate pollution in three different hospital areas (Nursing Service Office, Pathology Department, and Emergency Cardiology Department). The average concentration in the Nursing Service Office was calculated to be $30.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with a standard deviation of $\pm 12.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in the Pathology Department $64.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with a standard deviation of $\pm 54.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and in the Emergency Cardiology Department $24.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with a standard deviation of $\pm 21.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In the hospital's outdoor area, it was calculated to be $31.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with a standard deviation of $\pm 9.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Using the ExDoM2 model, the deposited dose for an adult woman in the Nursing Service Office during her working hours, for an adult man in the Pathology Department when it was in operation, for an adult man in the Pathology Department when it was not in operation, and in the Emergency Cardiology Department when it was in operation were calculated.

Finally, with the help of the SPSS program, a statistical analysis of the data was conducted to compare the concentrations of particulate matter in the various areas, studying three hypotheses. Specifically, the hypotheses concerned the comparison of particulate matter concentrations during the hospital's on-call hours compared to non-on-call hours, the comparison of concentrations for the three indoor and outdoor areas where measurements were taken, as well as the comparison of concentrations

during working hours of the office compared to the time when the office is closed. The results of the program showed that the highest concentration of particulate matter (compared to other areas) was found in the Pathology Department. This is attributed to the 24 hours stay of patients in the hospital, frequent cleaning and ventilation of the space, heating systems, as well as visits from relatives, doctors, and nursing staff to the area.

Κεφάλαιο 1^ο : Θεωρητικό Υπόβαθρο

1. Αιωρούμενα Σωματίδια, ΑΣ (Atmospheric Particulate Matter, PM)

1.1 Γενικά

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) αναφερόμαστε στα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, σε υγρή ή στερεά φάση με μέγεθος που κυμαίνεται από 2 nm ως και 200 μm . Σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω μηχανισμών πυρηνοποίησης, συμπύκνωσης και εξάτμισης είτε μέσω των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. (Seinfeld & Pandis 2006, Wark., et al., 1998, Manahan, 1994). Οι πηγές προέλευσης τους κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στις φυσικές (σκόνη, βλάστηση, θάλασσα) και τις ανθρωπογενείς (βιομηχανική δραστηριότητα, καύση αποβλήτων, θέρμανση). Τις περισσότερες φορές συναντάμε στη βιβλιογραφία τα αιωρούμενα σωματίδια να ταυτίζονται με την έννοια των αερολυμάτων (Λαζαρίδης, 2008). Το αερόλυμα ορίζεται ως ένα σταθερό αιώρημα υγρών ή στερεών σωματιδίων σε ένα ρευστό μέσο που ως επί το πλείστον είναι ο αέρας.

1.2 Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά - Ταξινόμηση σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος, το σχήμα, την πηγή προέλευσης, την πυκνότητα και τη χημική σύσταση τους. Αποτελούνται από ένα σύνολο από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα, ανόργανα ιόντα και ιχνοστοιχεία. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθορίζουν την συμπεριφορά τους στην ατμόσφαιρα αλλά και την πρόσληψη και εναπόθεση τους στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Ταξινόμηση Σωματιδίων :

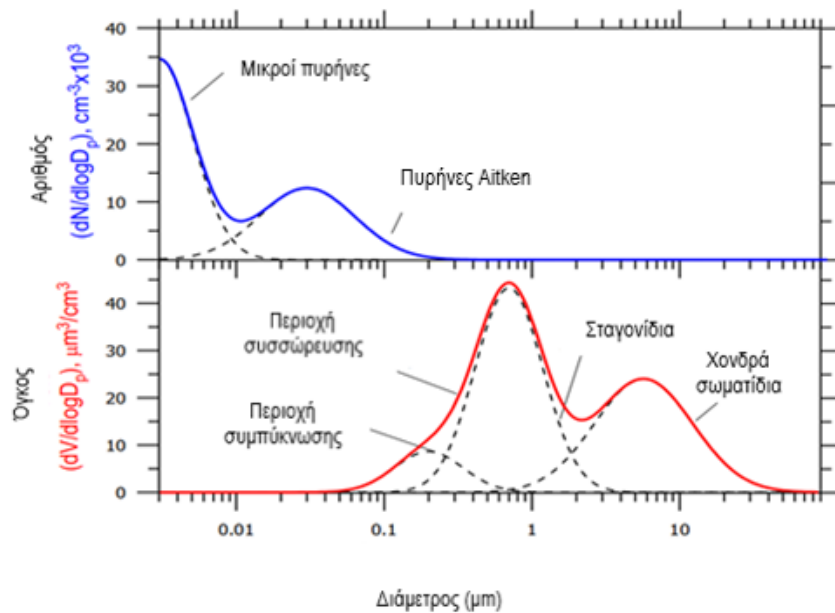
Μέγεθος: Τα αιωρούμενα σωματίδια ως προς το μέγεθος τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε (Εικόνα 1):

- Χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse particles): $> 2.5 \mu\text{m}$
- Λεπτόκοκκα σωματίδια (fine particles): $2.5 - 0.1 \mu\text{m}$
- Πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια * (ultra fine particles): $< 0.1 \mu\text{m}$

*(Στα λεπτόκοκκα σωματίδια περιλαμβάνονται οι κατηγορίες συσσώρευσης και Aitken και πυρηνοποίησης ($0.1 \mu\text{m} < d < 1-3 \mu\text{m}$))

Πιο αναλυτικά τα σωματίδια διακρίνονται σε :

- Συστάδες μορίων των 10\AA ($10\text{\AA} = 1\text{nanometer} = 10^{-9}\text{meters}$)
- Σταγονίδια σύννεφων και σωματίδια σκόνης διαμέτρου μέχρι $100\text{ }\mu\text{m}$
- Μικρή πυρήνες (nucleation mode): $3\text{ nm} - 10\text{ nm}$ που έχουν σχηματιστεί πρόσφατα μέσω διεργασιών πυρηνοποίησης
- Σωματίδια προερχόμενα από συσσώρευση με διάμετρο $0.1\text{ }\mu\text{m} < d < 1-3\text{ }\mu\text{m}$ και δημιουργούνται κατά τη συσσωμάτωση μικρότερων σωματιδίων ή από τη συμπύκνωση αερίων



Εικόνα 1. Απεικονίζονται οι τυπικές κατανομές αριθμού και όγκου αερολυμάτων. (Λαζαρίδης, 2015, Βασικές Αρχές της Επιστήμης των αεροζόλ).

Το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αρκετά πολύπλοκο χωρίς καμία συμμετρία για τα περισσότερα από αυτά. Τα ασύμμετρα αυτά σωματίδια δημιουργούνται από μηχανικές διεργασίες, χημικές αντιδράσεις και αντιδράσεις καύσης. Σε αντίθετη περίπτωση, τα σωματίδια που περιέχουν μεγάλη ποσότητα νερού παρουσιάζουν σχήμα σφαιρικό. Η μελέτη των ασύμμετρων σωματιδίων μπορεί να γίνει με τις διάφορες ιδιότητες τους. Το μέγεθός τους είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για το πόσο βλαβερή ή όχι είναι η εναπόθεσή τους στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

Επίσης, χρησιμοποιείται πολλές φορές η έννοια της ισοδύναμης διαμέτρου. Αυτή ορίζεται ως η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει την ίδια τιμή

μετρούμενης φυσικής ιδιότητας, με το ακαθορίστου σχήματος σωματιδίου. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες ισοδύναμες διάμετροι είναι η αεροδυναμική διάμετρος και η διάμετρος του Stokes. Η αεροδυναμική διάμετρος (D_p) ορίζεται από την σχέση (1) ως η διάμετρος σφαίρας με πυκνότητα 1 g/cm^3 και τελική ταχύτητα κατακρήμνισης ίση με αυτή του υπό εξέταση σωματιδίου.

$$D = D_g \cdot k \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

- D_g : η γεωμετρική διάμετρος σφαίρας,
- k : συντελεστής σχήματος που στην περίπτωση σφαίρας λαμβάνει την τιμή 1 (Chen και Fryrear, 2001),
- ρ_p : η πυκνότητα του υπό εξέταση σωματιδίου,
- ρ_0 : η πυκνότητα αναφοράς ($\rho_0=1 \text{ g/mL}$).

Η διάμετρος Stokes, ορίζεται ως η διάμετρος σφαίρας με πυκνότητα και τελική ταχύτητα κατακρήμνισης ίσες με αυτές του υπό εξέταση σωματιδίου.

Χημική Σύσταση: Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει σημαντικά και αντανακλά την πηγή από την οποία προέρχονται. Η συνεισφορά τους διαφέρει σε σχέση με τη συνολική μάζα των σωματιδίων. Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) αποτελούνται από μία ανόργανη φάση (στερεό ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας κ.ά.) και μία οργανική φάση (οργανικός και στοιχειακός άνθρακας). Η συνεισφορά ανόργανου και οργανικού υλικού στη συνολική μάζα εξαρτάται από παράγοντες όπως, η πηγή εκπομπής, το μέγεθος και οι επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Στις αστικές περιοχές τα μικρά σωματίδια αποτελούνται από στοιχειακό άνθρακα (αιθάλη), ανόργανα ιόντα, υδρατμούς, μεταλλικά στοιχεία, καθώς και από οργανικά συστατικά. Τα μεγάλα σωματίδια αποτελούνται κυρίως από οξείδια στοιχείων εδαφικής προέλευσης (Al, Fe, Si), σκόνη επαναιώρησης, άλατα, θαλάσσια αερολύματα, ιπτάμενη τέφρα, υπολείμματα φθαρμένων ελαστικών και βιολογικών διεργασιών. Οι χημικές ιδιότητες των

αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλουν ανάλογα με τη σύστασή τους, ενώ οι περισσότερες από τις φυσικές ιδιότητες (π.χ. όγκος, επιφάνεια, ταχύτητα πτώσης διάχυση Brown κ.ά.) αποτελούν συνάρτηση του μεγέθους τους.

Τρόπος Σχηματισμού: Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα πρωτογενώς εκπεμπόμενα (πρωτογενή) και τα δευτερογενώς παραγόμενα (δευτερογενή), δηλαδή ανάλογα με τον τρόπο που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Ο διαχωρισμός τους είναι σημαντικός γιατί έχουν διαφορετικό μέγεθος και ιδιότητες.

Τα πρωτογενή συνήθως είναι μεγάλου μεγέθους και ανήκουν στο χοντρόκοκκο κλάσμα. Φτάνουν στην ατμόσφαιρα από ανθρώπινες και φυσικές εκπομπές, εκπέμπονται απευθείας από την πηγή ρύπανσης και προέρχονται κυρίως από μηχανικές διεργασίες (Borsos., et al., 2012, Dockery., et al., 1993). Για παράδειγμα, η σκόνη εδάφους, το θαλάσσιο σπρέι, η ηφαιστειακή σκόνη και τα βιολογικά υλικά (πχ. γύρη, ιοί) είναι από φυσική προέλευση και η σκόνη από βιομηχανικές διεργασίες και κατασκευές, καθώς και διεργασιών καύσης είναι από ανθρωπογενή προέλευση.

Τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) δεν εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Σχηματίζονται σε αυτή είτε ως νέα σωματίδια, είτε μετασχηματίζονται σε ήδη υπάρχοντα σωματίδια συνήθως μικρού μεγέθους 0,1 – 1 μm μέσα σε λίγες ώρες. Τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια είναι αποτέλεσμα χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στις αντιδράσεις αυτές συνήθως συμμετέχουν υδρατμοί, ατμοσφαιρικό οξυγόνο, αντιδρώντα μόρια, όπως το όζον (O_3) και οι αέριοι ρύποι, όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Οι δευτερογενείς αέριοι ρύποι σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν ίσως τον μεγαλύτερο κίνδυνο για τον ανθρώπινο οργανισμό και τα οικοσυστήματα. Οι μηχανισμοί σχηματισμού είναι η συσσωμάτωση, η συμπύκνωση αερίων και η πυρηνοποίηση. Η πυρηνοποίηση μπορεί να συμβεί με την παρουσία ή την απουσία ετερογενούς υλικού και διακρίνεται σε ομογενή και ετερογενή ή συμπύκνωση.

2. Βιοαεροζόλ

Βιοαεροζόλ (βιοαερολύματα) είναι τα αιωρούμενα σωματίδια σε στερεά ή υγρή μορφή της ατμόσφαιρας που προέρχονται από τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα (βιολογική προέλευση). Τα βιοαερολύματα αποτελούνται από μεγάλα μόρια, πτητικές ενώσεις ή προέρχονται από ζώντες οργανισμούς, όπως μύκητες, γύρη, βακτήρια και ιούς, καθώς και από μη ζωντανά συστατικά.

Το μέγεθος τους διαφέρει ανάλογα το είδος των σωματιδίων και τον τρόπο σχηματισμού τους στην πηγή τους. Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 1, το μέγεθός τους κυμαίνεται από 15 nm (σωματίδια ιού) έως και 100 μm (κόκκοι γύρης- σκόνης). Όλα τα σωματίδια υπακούουν στο νόμο της βαρύτητας, επηρεάζονται από τις κινήσεις του αέρα και μεταφέρονται με τις αναταράξεις και τη διάχυση. Για παράδειγμα, τα βιοαερολύματα γύρης είναι μεγαλύτερα από τους ιούς, επομένως λόγω του βάρους τους παραμένουν λιγότερο χρονικό διάστημα αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα σε σχέση τα βακτήρια, τους μύκητες και τους ιούς.

Πίνακας 1: Παρουσιάζονται τα μεγέθη των αερολυμάτων.

Είδος Σωματιδίων	Μέγεθος
Ιοί	15 έως 400 nm
Βακτήρια	0.3 έως 10 μm
Σπόρια Μυκήτων	1 έως 100 μm
Γύρη-Σκόνη	1 έως 100 μm

Οι πηγές εκπομπής των βιοαεροζόλ των εξωτερικών χώρων είναι ο άνεμος, η βροχή, η άρδευση με ψεκασμό, η δραστηριότητα επεξεργασίας λυμάτων, οι πύργοι ψύξης και συστήματα ψεκασμού νερού διαχείρισης αέρα, οι γεωργικές διεργασίες, όπως η συγκομιδή, η άρση και η κομποστοποίηση, η κτηνοτροφία και η βιομηχανία, όπως η παραγωγή τροφίμων και φαρμάκων. Οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν ήδη στους εσωτερικούς χώρους (στους τοίχους, στα χαλιά, στα φυτά) πολλαπλασιάζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού

(HVAC), συσκευές ψεκασμού νερού (π.χ. κεφαλές ντους και υγραντήρες) και ο καθαρισμός (π.χ. ξεσκόνισμα, σκούπισμα, σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα και σφουγγάρισμα) έχουν ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μικροβίων στον αέρα. Η ομιλία και ο βήχας παράγουν βιοαερολύματα, όπου μερικά από αυτά μπορεί να μεταδώσουν μολυσματικές ασθένειες. Οι εγκαταστάσεις με ιατρικές, οδοντιατρικές ή πρακτικές φροντίδας ζώων μπορούν να δημιουργήσουν μολυσματικά μικροβιακά αερολύματα (Nazaroff, 2016). Η έκθεση σε αυτούς τους παράγοντες εκτός μολυσματικές ασθένειες, μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές ασθένειες, οξείες τοξικές επιδράσεις, αναπνευστικές ασθένειες, νευρολογικές επιδράσεις και πιθανώς καρκίνο. Επιπλέον, τα βιοαεροζόλ έχει αποδεχτεί ότι ευθύνονται για το σύνδρομο «του άρρωστου κτιρίου» («Sick Building Syndrome»). (Xu et al, 2011). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει την δυσμενή κατάσταση, συνήθως, εργαζομένων που βιώνουν κατά το ωράριο εργασίας τους λόγω βιοαεροζόλ. Τα συμπτώματα που παρουσιάζονται είναι πονοκέφαλος, βήχας-ξηρότητα λαιμού, δερματικά συμπτώματα. Τα αίτια του συνδρόμου οφείλονται στην κακή λειτουργία ή μη συντήρηση των συστημάτων εξαερισμού και κλιματισμού, τον ελλιπή καθαρισμό των αεραγωγών, καθώς και της δραστηριότητας των εργαζομένων (κάπνισμα). (Δούκα Μ., 2003)

3. Αεροζόλ εσωτερικών χώρων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα αεροζόλ εσωτερικού χώρου υπάρχουν ως σωματίδια διαμέτρου σε νανόμετρα έως αρκετές εκατοντάδες μικρόμετρα και μπορεί να οριστούν ευρύτερα ως εξαιρετικά λεπτά ($< 0,1 \mu\text{m}$), λεπτά ($0,1 - 2,5 \mu\text{m}$) και τα χονδρόκοκκα ($> 2,5 \mu\text{m}$) που κάποια μπορεί να είναι επιβλαβή στον ανθρώπινο οργανισμό. Τέτοιοι βλαβεροί παράγοντες που υπάρχουν στους εσωτερικούς χώρους είναι το διοξείδιο του άνθρακα από την ανθρώπινη εκπνοή και από τα φυτά, ο καπνός του τσιγάρου, οι εκπομπές από εξοπλισμό γραφείου (εκτυπωτές), αέρια από υγρά καθαριστικά προϊόντα, έπιπλα, χάλια όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα σκόνης, μύκητες από τον ανεπαρκή αερισμό του χώρου σε συνδυασμό με την υψηλή υγρασία, καθώς και αρώματα αποσμητικά.

Πίνακας 2: Παρουσιάζονται οι πηγές και οι καταβόθρες αεροζόλ εσωτερικού χώρου.

Πηγές	Καταβόθρες
Εξωτερικό περιβάλλον	Μεταφορά στο εξωτερικό περιβάλλον
Εκπομπές από εσωτερικές πηγές	Φιλτράρισμα του αέρα
Επαναιώρηση	Εναπόθεση σε επιφάνειες
	Διεργασίες που οδηγούν στην αλλαγή του μεγέθους

4. Νομοθεσία

Η αναθεώρηση του Πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ του 2012 στη Σύμβαση UNECE LRTAP έθεσε στόχους μείωσης των εκπομπών για τα $PM_{2.5}$ με βάση το σύνολο των εκπομπών του 2005, που πρέπει να τηρούν οι χώρες εντός ή πριν από το 2020. Ο νόμος για τον καθαρό αέρα απαιτεί από την ΕΕΑ (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος) να ορίσει εθνικά πρότυπα ποιότητας του αέρα για τα σωματίδια και για πέντε άλλους ρύπους (όζον, τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και ο μολυβδος) που θεωρούνται επιβλαβείς για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Σύμφωνα με το Σχέδιο Δράσης Μηδενικής Ρύπανσης της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έθεσε ως στόχο το 2030 τη μείωση του αριθμού των πρόωρων θανάτων που προκαλούνται από λεπτά σωματίδια ($PM_{2.5}$) κατά τουλάχιστον 55 % σε σύγκριση με το επίπεδο του 2005 (Quinsey & Butterfield, 2009). Η Ευρωπαϊκή Ένωση σύμφωνα με το παράρτημα III της αίτησης 1999/30/ΕΚ που εξέδωσε θέτει ως ανώτατο ημερήσιο όριο για τα PM_{10} τα $50 \mu g/m^3$, το οποίο τα κράτη μέλη δεν πρέπει να υπερβαίνουν πάνω από 35 ημέρες το χρόνο, ενώ ως αντίστοιχο ετήσιο όριο θέτει τη συγκέντρωση των $40 \mu g/m^3$. Αυστηρότερη είναι, όμως, η νεότερη κοινοτική οδηγία 2008/50/ΕΚ, αφού οριοθετούνται από το 2010 και τα $PM_{2.5}$. Συγκεκριμένα, ως ανώτατο ετήσιο όριο ορίζεται η συγκέντρωση των $25 \mu g/m^3$ (ΕΥ, 2014), τη στιγμή που τα αντίστοιχα πρότυπα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας ανέρχονται στα $5 \mu g/m^3$. Τα παιδιά λαμβάνουν αυξημένη δόση σωματιδιακής μάζας στους πνεύμονες τους σε σχέση με τους ενήλικες. Η πραγματικότητα αυτή στηρίζεται στο μικρό μέγεθος των

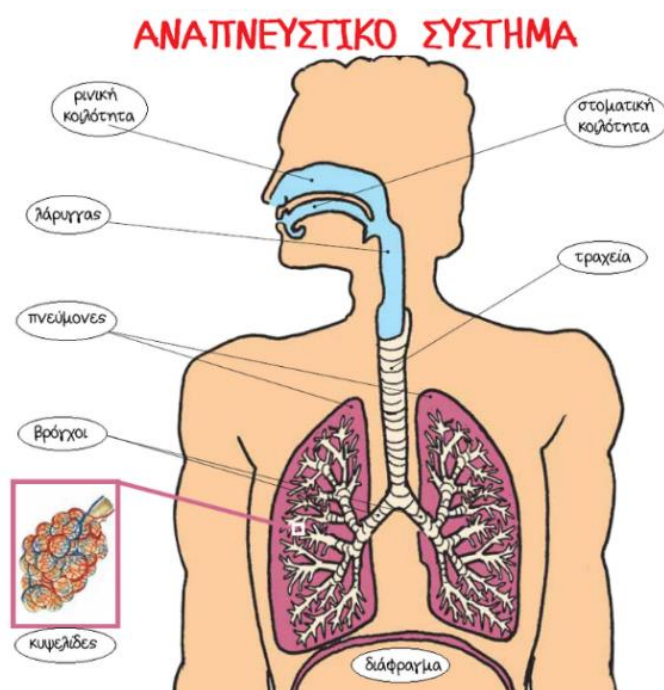
πνευμόνων τους, που οδηγεί σε υψηλότερο ποσοστό εναπόθεσης των ΑΣ με κάθε αναπνοή (Kleinstreuer και Zhang, 2010).

5. Αιωρούμενα σωματίδια και Ανθρώπινο Αναπνευστικό Σύστημα

5.1 Περιγραφή και Λειτουργία του Ανθρώπινου Αναπνευστικού Συστήματος

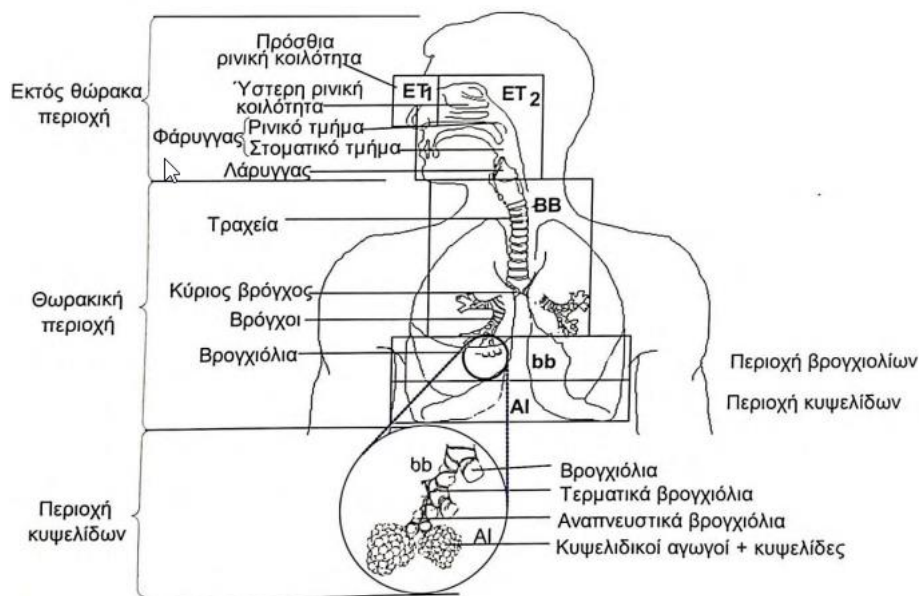
Το αναπνευστικό σύστημα είναι το σύστημα, όπου τα όργανα του ανθρώπου δεσμεύουν το οξυγόνο από το περιβάλλον κατά την εισπνοή και απομακρύνουν το διοξείδιο του άνθρακα κατά την εκπνοή. Η καλή λειτουργία του είναι απαραίτητη για την οξυγόνωση των ανθρώπινων οργάνων και της διατήρηση της ζωής. Το αναπνευστικό σύστημα χωρίζεται στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα (άνω διόδους αεραγωγών) και στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα (κάτω διόδους αεραγωγών). Οι άνω αεραγωγοί περιλαμβάνουν τη μύτη, το στόμα, τον φάρυγγα μέχρι και τις φωνητικές χορδές στον λάρυγγα και έχουν ως στόχο τη μεταφορά του οξυγόνου από το περιβάλλον στους πνεύμονες. Η αναπνοή γίνεται είτε με τη μύτη είτε με το στόμα. Η μύτη μπορεί να θεωρηθεί «καλύτερη οδός», διότι οι τρίχες που περιέχονται σε αυτή μπορούν να αποτελέσουν ως «φίλτρο» για τα σωματίδια του ατμοσφαιρικού αέρα. Κατά την έντονη άσκηση η αναπνοή συνήθως πραγματοποιείται από το στόμα μιας και χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου συγκριτικά με όταν είμαστε σε κατάσταση ηρεμίας. Στη συνέχεια, ο ατμοσφαιρικός αέρας περνάει στον φάρυγγα, στον λάρυγγα και καταλήγει στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από το θώρακα, όπου στην αρχή βρίσκεται η επιγλωττίδα, η οποία εμποδίζει την είσοδο τροφών και υγρών στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Οι κατώτερες δίοδοι αεραγωγών ξεκινούν από την τραχεία. Η τραχεία έχει σχήμα μακρόστενου σωλήνα, αποτελεί τον μεγαλύτερο αεραγωγό και μεταφέρει τον αέρα στους βρόγχους. Οι βρόγχοι είναι μικρότεροι αεραγωγοί και μεταφέρουν οξυγόνο στις κυψελίδες του πνεύμονα, όπου αποτελούν την τελική κατάληξη των αεραγωγών. Οι κυψελίδες βρίσκονται βαθιά στον πνεύμονα. Είναι μικροσκοπικές σακοειδείς δομές και περιβάλλονται από ένα δίκτυο αιμοφόρων αγγείων. Κατά την εισπνοή το οξυγόνο περνάει από του αεραγωγούς στο αίμα, οξυγονώνει την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών μας αιμοσφαιρίων και το δεσμευμένο

οξυγόνο πλέον στα ερυθρά αιμοσφαίρια μεταφέρεται στην καρδιά, όπου και μεταφέρει το οξυγόνο σε όλα τα όργανα του ανθρώπινου οργανισμού. Στη συνέχεια, οι πνεύμονες μέσω της εκπνοής αναλαμβάνουν την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα που έχει παραχθεί στο ανθρώπινο σώμα. Το διοξείδιο του άνθρακα αρχικά φτάνει στις κυψελίδες του πνεύμονα μέσω του αίματος και διαμέσου των αεραγωγών αποβάλλεται στο περιβάλλον από τη μύτη και το στόμα, δηλαδή ακολουθεί την αντίθετη πορεία από το οξυγόνο.



Εικόνα 2: Αναπνευστικό σύστημα.

Για την εναπόθεση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ο Bailey (1994) και ο Λαζαρίδης (2015) προτείνουν την διάκριση του αναπνευστικού συστήματος σε τρία μέρη για την κατηγοριοποίηση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα (Εικόνα 3):



Εικόνα 3: Διάκριση του ΑΑΣ σε τρία μέρη. (Bonanno J. L., 2008)

1. Το ανώτερο αναπνευστικό ή η εκτός θώρακα περιοχή (Extrathoracic-ET), όπου αποτελούνται από την (ET1) πρόσθια ρινική κοιλότητα και στην ύστερη ρινική κοιλότητα και (ET2) το λάρυγγα τον φάρυγγα και τη στοματική κοιλότητα.
2. Την τραχειοβρογχική περιοχή (Thoracic Bronchial-TB) όπου περιλαμβάνει την τραχεία και τους πρωτεύοντες βρόγχους (BB, γενιές 0 έως 8), καθώς και τις επόμενες γενιές βρόγχων και βρογχολίων μέχρι τα τερματικά (bb, γενιές 9 έως 15).
3. Την κυψελιδική περιοχή (Alveolar Interstitial- AI), όπου περιλαμβάνει τα βρογχιόλια, τα αεροθυλάκια, τους κυψελιδικούς αγωγούς και τις κυψελίδες.

5.2 Δόση και Έκθεση

Αρκετά συχνά συγχέουμε την έννοια της δόσης και της έκθεσης του ανθρώπου από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν έρθει σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα σε ορισμένη χρονική περίοδο ονομάζεται **έκθεση**. Η **δόση** διακρίνεται σε δυνητική (potential),

εφαρμοζόμενη (applied) και εσωτερική (interval). Ως δυνητική δόση ορίζεται πραγματική ποσότητα του ρύπου που εισέρχεται στον οργανισμό, ως εφαρμοζόμενη ορίζεται όση δόση αποτίθεται στους ιστούς των πνευμόνων και ως εσωτερική όση δόση τελικά απορροφάτε από τους ιστούς.

Η συνολική ανθρώπινη έκθεση περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E_i = \sum_{j=1}^n C_j t_{ij} \quad (2)$$

E_i : συνολική έκθεση του ατόμου i

C_j : συγκέντρωση σωματιδίων στο περιβάλλον j

t_{ij} : χρόνος παραμονής του ατόμου i στο χώρο j

n : ο αριθμός των διαφορετικών χώρων στους οποίους εκτίθεται το άτομο i

Η δόση ανά ώρα περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$H = n_0 \cdot c_A \cdot B (a \sum_i n_{fine,i} + (1 - a) \sum_i n_{coarse,i}) \quad (3)$$

όπου:

H : ρυθμός δόσης (mg/h)

n_0 : κλάσμα αναπνεύσιμων σωματιδίων (εισπνευσιμότητα *)

c_A : συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (μ/m^3)

B : ρυθμός αναπνοής (m^3/h)

a : μαζικό κλάσμα μικρών σωματιδίων

$n_{fine,i}$: συγκράτηση λεπτόκοκκων σωματιδίων στους πνεύμονες

$n_{coarse,i}$: συγκράτηση χονδρόκοκκων σωματιδίων στους πνεύμονες

Ως εισπνευσιμότητα ορίζουμε τον παράγοντα εκείνον που καθορίζει την ικανότητα εισαγωγής (εισπνοής) των αεροζόλ (από το στόμα και την μύτη). Ο υπολογισμός της εναπόθεσης των σωματιδίων εφαρμόζεται για κάθε μέσο εκτεθειμένο άτομο που εκτελεί μέση δραστηριότητα. Για τα σφαιρικά και σταθερής πυκνότητας σωματίδια, η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,001 έως 100 μm και για τα μη σφαιρικά

σταθερής πυκνότητας σωματίδια κυμαίνεται: $d_{ae} > 0,5 \mu m$ $d_{φυσική} < 0,5 \mu m$. (Λαζαρίδης 2016). Παρακάτω φαίνεται η εξίσωση (4), όπου απεικονίζει το (IF) Εισπνεύσιμο κλάσμα σωματιδίων:

$$IF = 1 - 0.5 \left(1 - [7.6 \cdot 10^{-4} \cdot d_{ae}^{2.8} + 1]^{-1} \right) + 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot U^{2.75} \cdot e^{(0.055 \cdot d_{ae})} \quad (4)$$

Όπου: IF = Εισπνεύσιμο κλάσμα σωματιδίων

U : ταχύτητα ανέμου (0 -9 m/sec)

d_{ae} = αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (< 100 μm)

5.3 Εναπόθεση σωματιδίων στο Αναπνευστικό Σύστημα:

Η εναπόθεση των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα γίνεται με τους παρακάτω μηχανισμούς εναπόθεσης:

Πρόσκρουση:

Λόγω αδράνειας τα σωματίδια αδυνατούν να ακολουθήσουν τις ροϊκές γραμμές του ρευστού και αλλάζουν απότομα κατεύθυνση ή ταχύτητα (> 1 μm).

Καθίζηση:

Όταν ένα σωματίδιο κινείται μέσα σε ένα ρευστό και επιδρά σε αυτό η δύναμη της βαρύτητας, τότε θα καθιζάνει και θα εναποτεθεί με αυτό τον τρόπο στο τοίχωμα του αεραγωγού (> 1 μm).

Διασπορά:

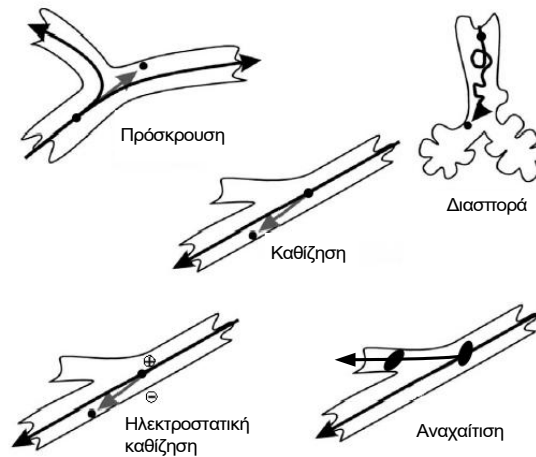
Τα μικρά σωματίδια σε συνδυασμό με τα μόρια του αέρα ακολουθούν τυχαίες πορείες και έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια της αναπνευστικής οδού (< 1 μm)

Ηλεκτροστατική εναπόθεση:

Η εναπόθεση των σωματιδίων οφείλεται στο ηλεκτρικό τους φορτίο. Τα σωματίδια που φέρουν ηλεκτρικό φορτίο, καθώς κινούνται στην γραμμή ροής του αέρα αναπτύσσουν μεταξύ τους δυνάμεις Coulomb, όπου έλκονται ή απωθούνται μεταξύ τους με σκοπό να ξεφύγουν από την ροή του αέρα και να καθιζάνουν σε κάποιο τμήμα του αγωγού (Bailey, 1997, Finlay, 2001).

Αναχαίτιση/ Παρεμπόδιση

Λόγω της φυσικής επαφής των σωματιδίων και του μικρού μεγέθους τους (ινώδη σωματίδια) εισβάλλουν στα τοιχώματα της αναπνευστικής οδού. Οφείλεται κυρίως στο μέγεθός τους.



Εικόνα 4: Μηχανισμοί Εναπόθεσης.

Για τον υπολογισμό του ρυθμού εναπόθεσης των σωματιδίων στο Αναπνευστικό Σύστημα, ανάλογα με την περιοχή, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις :

Για την εκτός θώρακα περιοχή:

$$DF_{ET} = IF \left(\frac{1}{1 + \exp(6,84 + 1,183 \ln d_p)} + \frac{1}{1 + \exp(0,924 - 1,885 \ln d_p)} \right) \quad (5)$$

Όπου: IF είναι η εισπνευσιμότητα σε ταχύτητα ανέμου 0 m s^{-1} και d_p η διάμετρος των σωματιδίων σε μm .

Για την τραχειοβρογχική περιοχή:

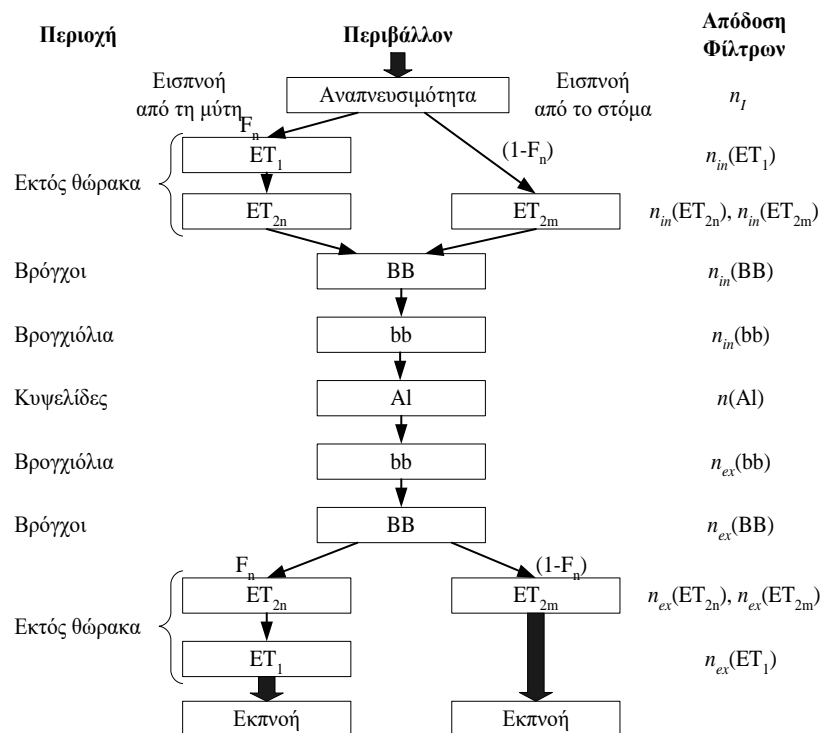
$$DF_{TB} = \left(\frac{0,00352}{d_p} \right) \left[\exp(-0,234(\ln d_p + 3,40)^2) + 63,9 \exp(-0,816(\ln d_p - 1,61)^2) \right] \quad (6)$$

Για την κυψελιδική περιοχή:

$$DF_{AL} = \left(\frac{0,0155}{d_p} \right) \left[\exp(-0,416(\ln d_p + 2,84)^2) + 19,11 \exp(-0,482(\ln d_p - 1,362)^2) \right] \quad (7)$$

Το **ολικό ποσοστό εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα** δίνεται από το άθροισμα των ποσοστών εναπόθεσης τοπικά.

$$DF_{ET} = IF \left(0,0587 + \frac{0,911}{1 + \exp(4,77 + 1,485 \ln d_p)} + \frac{0,943}{1 + \exp(0,508 - 2,58 \ln d_p)} \right) \quad (8)$$



Εικόνα 5: Υπολογισμός εναπόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.

5.4 Επιπτώσεις στην Ανθρώπινη Υγεία

Η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου, καθώς σχετίζεται με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα. Τα λεπτά σωματίδια (διάμετρος $<10 \mu m$) λόγω του μικρού τους μεγέθους δημιουργούν μεγαλύτερα προβλήματα στον άνθρωπο, γιατί μπορούν να εισχωρήσουν βαθιά στους πνεύμονες και να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος. Η έκθεση σε τέτοια σωματίδια μπορεί να επηρεάσει τόσο τους πνεύμονες όσο και την καρδιά (Kohanski et al, 2020). Τα άτομα με καρδιακές ή πνευμονικές παθήσεις, τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι πιο πιθανό να επηρεαστούν από την έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε σωματίδια (ώρες ή ημέρες) μπορεί να επιδεινώσει την πνευμονική νόσο, προκαλώντας κρίσεις άσθματος, οξεία βρογχίτιδα, αλλά και αύξηση της ευαισθησίας σε λοιμώξεις του αναπνευστικού. Σε άτομα με καρδιακές παθήσεις, οι βραχυπρόθεσμες εκθέσεις έχουν συνδεθεί με καρδιακές προσβολές.

Κεφάλαιο 2^ο: Πειραματική Διαδικασία

Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, σκοπός της παρούσας πειραματικής διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μέτρηση της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ) σε τρεις διαφορετικού χώρους του Νοσοκομείου «Η Ελπίς» με στόχο τον προσδιορισμό της ανθρώπινης έκθεσης και δόσης αιωρούμενων σωματιδίων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του γραφείου της Νοσηλευτικής υπηρεσίας, στο Παθολογικό Τμήμα και στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα. Για την πραγματοποίηση του πειράματος έγινε χρήση εργαστηριακού οργάνου και συγκεκριμένα του DUSTRAK για την μέτρηση συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων. Για την διεξαγωγή και την ολοκλήρωση του πειράματος, πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες δειγματοληπτικές μετρήσεις σε διάφορους χώρους του Νοσοκομείου. Συγκεκριμένα, στο χώρο του γραφείου της Νοσηλευτικής υπηρεσίας για οκτώ εικοσιτετράωρα, στο Παθολογικό τμήμα για 10 εικοσιτετράωρα και στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα για 3 εικοσιτετράωρα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ενδεικτική μέτρηση για τρία τετράωρα στον εξωτερικό χώρο του Νοσοκομείου. Τέλος, με την βοήθεια μοντέλου και συγκεκριμένα με το μοντέλο ExDoM2, προσδιορίζεται η ανθρώπινη έκθεση και δόση αιωρούμενων σωματιδίων.

2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή λήψης του δείγματος πραγματοποιήθηκε στο Γενικό Νοσοκομείο «Η Ελπίς» στην περιοχή των Αμπελοκήπων της Αθήνας. Ιδρύθηκε το έτος 1842 και πρόκειται για το αρχαιότερο ενεργό νοσοκομείο της χώρας. Το Νοσοκομείο περιέθαλψε τραυματίες των βαλκανικών πολέμων, στήριξε τους πρόσφυγες που εγκαταστάθηκαν στην Αθήνα, υποστήριξε τον αθηναϊκό λαό κατά την περίοδο του μεγάλου λιμού της Κατοχής και υπήρξε στο κέντρο των πολεμικών συγκρούσεων στα Δεκεμβριανά και τον Εμφύλιο.



Εικόνα 6: Γενικό Νοσοκομείο ΕΛΠΙΣ το 1970.

Σήμερα, το Γ.Ν.Α. "Η ΕΛΠΙΣ" αποτελείται από 260 κλίνες και λειτουργεί με σύγχρονο εξοπλισμό και άριστο ιατρικό και λοιπό προσωπικό στην υπηρεσία του πολίτη και της δημόσιας υγείας.



Εικόνα 7: Γενικό Νοσοκομείο ΕΛΠΙΣ 2020.

2.2 Οργανολογία

2.2.1 Όργανο Μέτρησης DustTrak

Για την μέτρηση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής Dusttrak της εταιρείας TSI. Το Dusttrak είναι ένα φορητό φωτόμετρο λέιζερ

που έχει τη δυνατότητα με την αλλαγή της κεφαλής να λαμβάνει ακριβή μέτρηση των συγκεντρώσεων μάζας PM_{10} , $PM_{2,5}$ και PM_1 . Βασικό πλεονέκτημά του είναι το μικρό μέγεθός του και ότι είναι φορητό, παρέχοντας έτσι την δυνατότητα μέτρησης με χρήση μπαταρίας σε οποιονδήποτε χώρο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τον έλεγχο ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους, σε χώρους βιομηχανίας όσο και για περιβαλλοντικές μετρήσεις. Το όργανο μετράει σε mg/m^3 , με πραγματικό μέγεθος σωματιδίων μεταξύ 0,1 και 10 μm με διακριτικότητα 0,1 %, ή 0,001 μm^3 . Έχει μέγιστο βάρος 1,5 kg και διαστάσεις 150 x 221 x 87 mm. Στην εικόνα 8 φαίνεται το όργανο μέτρησης Dusttrak.



Εικόνα 8: Απεικονίζεται το όργανο μέτρησης DustTrak.

2.2.2 Χρήση οργάνου

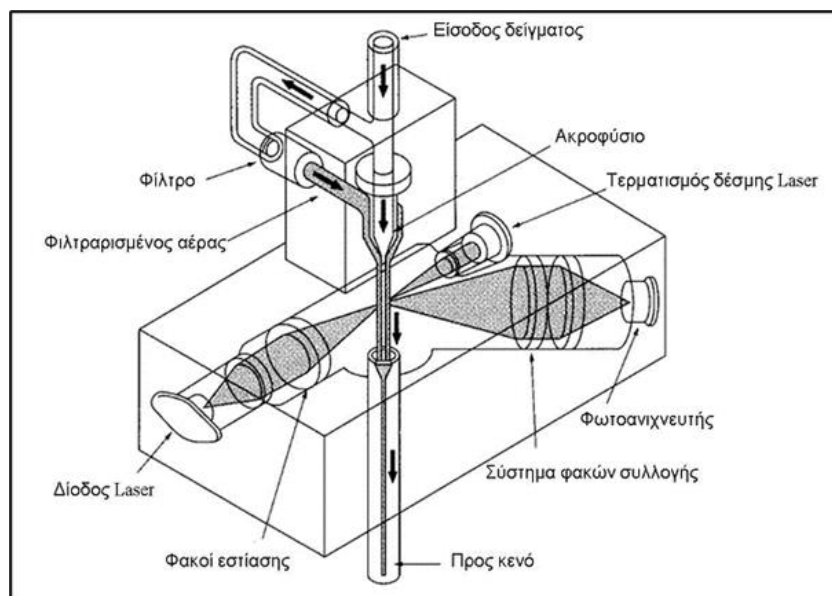
Το Survey, το LOG1, το LOG2 και το LOG3 είναι οι τέσσερις λειτουργίες που διαθέτει το όργανο μέτρησης DustTrak. Μόλις ενεργοποιηθεί το όργανο μεταβαίνει σε λειτουργία Survey, όπου εμφανίζει στην οθόνη μετρήσεις συγκέντρωσης αερολύματος σε πραγματικό χρόνο (real-time). Παράλληλα, λαμβάνονται στατιστικά στοιχεία (μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή) για το συγκεκριμένο δείγμα.

Η συνάρτηση LOG1 καταγράφει δεδομένα σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πρωτόκολλο για μελλοντική ανάκτηση και ανάλυση των δεδομένων. Οι μέθοδοι LOG2 και LOG3 εκτελούν την ίδια διεργασία σύμφωνα με ένα προσαρμοσμένο πρωτόκολλο

που καθορίζονται από τον χρήστη. Τα δεδομένα που συλλέγονται σε λειτουργίες LOG μπορούν να αναλυθούν χρησιμοποιώντας το TRAKPRO, ενώ τα δεδομένα της λειτουργίας Survey δεν μπορούν. Για την ορθή δειγματοληψία θα πρέπει η ροή του αέρα που περνάει από το όργανο να παραμένει σταθερή. Αυτό πραγματοποιείται με τη σωστή συντήρησή του, τον σωστό καθαρισμό της κεφαλής του οργάνου, καθώς και πραγματοποιώντας βαθμονόμηση του οργάνου όποτε απαιτείται. Η βαθμονόμηση είναι απαραίτητη να γίνεται πριν από μεγάλο όγκο μετρήσεων αλλά και μετά από περιβαλλοντικές αλλαγές (αύξηση ή μείωση θερμοκρασίας). Για την λήψη μίας ορθής μέτρησης ο χρήστης τοποθετεί το όργανο σε υψηλό και σταθερό σημείο και επιλέγει το επιθυμητό «πρόγραμμα», το συνδέει στην πρίζα, ενεργοποιείται και τίθεται σε λειτουργία.

2.2.3 Αρχή λειτουργίας

Η αρχή της λειτουργίας του οργάνου DustTrak βασίζεται στη σκέδαση του φωτός (σκέδαση Tyndall) από τα αερολύματα. Έχει ενσωματωμένη αντλία δειγματοληψίας αέρα, όπου συλλέγεται το δείγμα του αέρα με τα αιωρούμενα σωματίδια και εισέρχεται στο εσωτερικό του οργάνου. Εκεί χωρίζεται σε δύο τμήματα. Στο ένα τμήμα περνάει μέρος του ρεύματος αέρα από ένα φίλτρο, όπου και καθαρίζεται πλήρως από τα αιωρούμενα σωματίδια και διοχετεύεται στο θάλαμο μέτρησης. Στο άλλο τμήμα οδηγείται κατευθείαν σε θάλαμο μέτρησης η ροή δείγματος. Σ' αυτό το τμήμα γίνεται η ακτινοβολήση του δείγματος από ακτίνα μονοχρωματικού φωτός (Laser) και εστιάζεται κατάλληλα πάνω στο δείγμα μέσα από ένα σύστημα φακών. Το σκεδασμένο φως ανακλάται σε φακό επικαλυμμένο με χρυσό και στη συνέχεια κατευθύνεται σε έναν φωτοανιχνευτή που μετατρέπει την ένταση του φωτός που δέχεται σε τάση. Η τάση του ανιχνευτή είναι ανάλογη της μάζας των σκεδαζόμενων σωματιδίων του δείγματος πολλαπλασιάζοντάς τα με μια σταθερά βαθμονόμησης. Η σταθερά αυτή προκύπτει από την απόκριση του οργάνου σε γνωστή συγκέντρωση συγκεκριμένου δείγματος αιωρούμενων σωματιδίων. Επομένως, για την χρήση του οργάνου σε πραγματικά περιβάλλοντα συνιστάται η βαθμονόμηση του σύμφωνα με τα χαρακτηρίστηκαν των σωματιδίων που μετρούνται.



Εικόνα 9: Παρουσιάζεται σχηματικά η λειτουργία του οργάνου DustTrak.

2.3 Περιγραφή του μοντέλου ExDoM2

Η ατμοσφαιρική ρύπανση με το πέρασμα των χρόνων όλο και αυξάνεται. Γι'αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα υπολογισμού της εναποτιθέμενης δόσης και της απομάκρυνσης/μεταφοράς αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Τα μοντέλα προσδιορισμού της εναποτιθέμενης δόσης μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, τα στατιστικά/ημιεμπειρικά και στα μηχανιστικά ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού του ποσοστού εναπόθεσης σωματιδίων σε κάθε περιοχή του αναπνευστικού συστήματος. Τα ημιεμπειρικά μοντέλα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες προέκυψαν τα πειραματικά δεδομένα. Θεωρούνται πιο αξιόπιστα από τα μηχανιστικά, καθώς λόγω της στατιστικής τους φύσης λαμβάνουν υπόψη όλους τους μηχανισμούς που επιδρούν στα σωματίδια.

Στην συγκεκριμένη εργασία ο υπολογισμός της δόσης στο ΑΑΣ έγινε με το ημιεμπειρικό μοντέλο ExDoM2 (Chalvatzaki & Lazaridis, 2015). Το ExDoM2 είναι μια αναθεωρημένη έκδοση του μοντέλου αναπνευστικής οδού ExDoM (Aleksandropoulou & Lazaridis, 2010) που ενσωματώνει έναν νέο μηχανισμό

κάθαρσης σωματιδίων στο μοντέλο της αναπνευστικής οδού και ένα μοντέλο Φαρμακοκινητικής Φυσιολογικής Βάσης (PBPK). Το αναθεωρημένο μοντέλο της αναπνευστικής οδού χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εναπόθεσης, της κάθαρσης και της κατακράτησης σωματιδίων στην ανθρώπινη αναπνευστική οδό και της μάζας που μεταφέρεται στον οισοφάγο (γαστρεντερική οδό) και στο αίμα. Η μονάδα PBPK χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της κατανομής μετάλλων (As, Pb, Cd, Cr και Mn) από το σύστημα κυκλοφορίας του αίματος σε άλλα όργανα ή ιστούς όπως το ήπαρ, τα νεφρά, η καρδιά, ο εγκέφαλος, οι μύες και τα οστά.

Ο ρυθμός της εναποτιθέμενης δόσης δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (9) [Αλεξανδροπούλου, 2010] :

$$H_j = \sum B \cdot C_i \cdot DE_{i,j} \quad (9)$$

Όπου:

H_j : Ο ρυθμός εναποτιθέμενης δόσης ($\mu g/h$)

C_i : Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu g/m^3$)

$DE_{i,j}$: Το ποσοστό εναπόθεσης αιωρούμενων σωματιδίων στην κάθε περιοχή του αναπνευστικού συστήματος

B : Ο ρυθμός εισπνοής (m^3/h)

i : Προσδιορίζει το μέγεθος του σωματιδίου

j : Προσδιορίζει την περιοχή του αναπνευστικού συστήματος

Το ποσοστό εναποτιθέμενης δόσης κατά την εισπνοή και κατά την εκπνοή υπολογίζεται σε κάθε μία από τις πέντε περιοχές του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος (ET1, ET2, BB, bb, Al) :

$$DE_{ET1} = DE1 + DE9$$

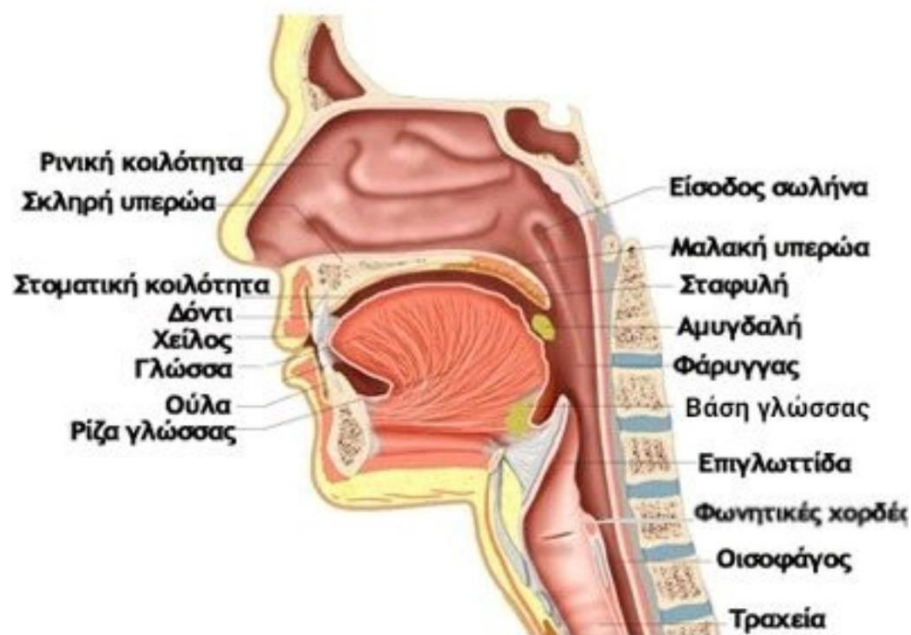
$$DE_{ET2} = DE2 + DE8$$

$$DE_{BB} = DE3 + DE7$$

$$DE_{bb} = DE4 + DE6$$

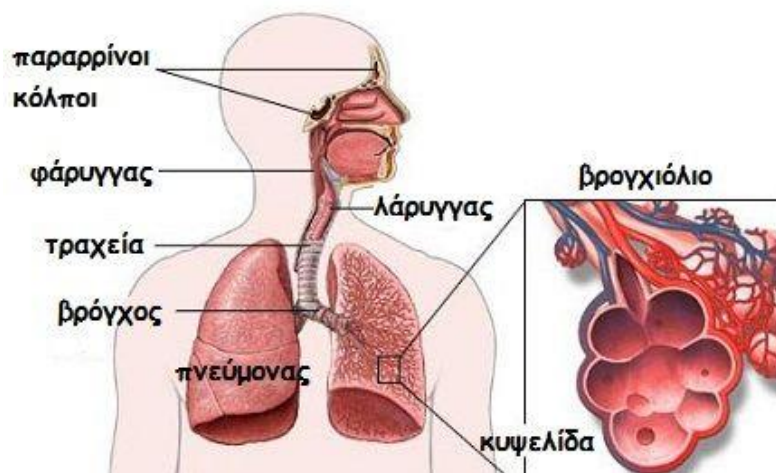
$$DEA1 = DE5$$

Οι πέντε αυτές περιοχές αποτελούνται από τις εκτός θώρακα περιοχές και τις θωρακικές περιοχές. Στις εκτός θώρακα περιοχές εναποτίθεται τα χονδρόκοκκα σωματίδια, καθώς αποτελούν την κύρια είσοδο των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό. Περιλαμβάνονται η περιοχή ρινικής κοιλότητας (ET1) και η περιοχή της στοματικής κοιλότητας του λάρυγγα και του φάρυγγα (ET2).



Εικόνα 10: Απεικονίζονται οι εκτός θωρακικές περιοχές ΑΑΣ.

Αντίθετα στις θωρακικές περιοχές εναποτίθενται τα λεπτά σωματίδια, όπου έχουν διαπεράσει από τις εκτός θωρακικές περιοχές. Στις θωρακικές περιοχές ανήκουν οι πνεύμονες, όπου ανήκου οι περιοχές των βρόγχων (BB) και των βρογχιολίων (bb), αλλά και η περιοχή των κυψελίδων (AI).



Εικόνα 11: Απεικονίζονται οι θωρακικές Περιοχές ΑΑΣ.

Με την χρήση του ημιεμπειρικό μοντέλο ExDoM2 θα λάβουμε αποτελέσματα για την τιμή της δόσης της κάθε περιοχής που εναποτίθεται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, καθώς και την συνολική δόση που εναποτίθεται στο οργανισμό τόσο στο ανώτερο όσο και στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα μελέτης.

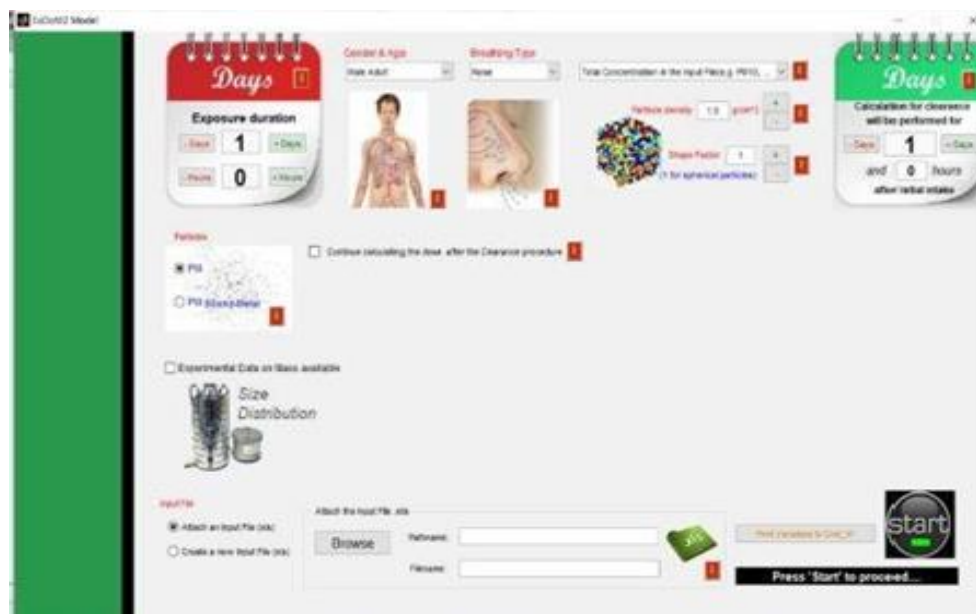
2.3.1 Γραφικό περιβάλλον ExDoM2 και λειτουργία GUI

Το ημιεμπειρικό μοντέλο ExDoM2 είναι φιλικό προς τον χρήστη. Αρχικά ανοίγουμε το πρόγραμμα της MATLAB και της πλατφόρμας GUI για την εκκίνηση του μοντέλου ExDom2. Με την εκκίνησή του, παρουσιάζονται οι πέντε περιοχές του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει την μορφή δεδομένου εισόδου για την μοντελοποίηση τους είτε συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε αριθμό είτε σε μάζα. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε συγκέντρωση μάζας (mass concentration).

Σε δεύτερο χρόνο ο χρήστης επιλέγει:

1. Τον χρόνο έκθεσης, το φύλο και την ηλικία του εκτιθέμενου ατόμου, καθώς και τον τρόπο αναπνοής του (στομά ή μύτη).

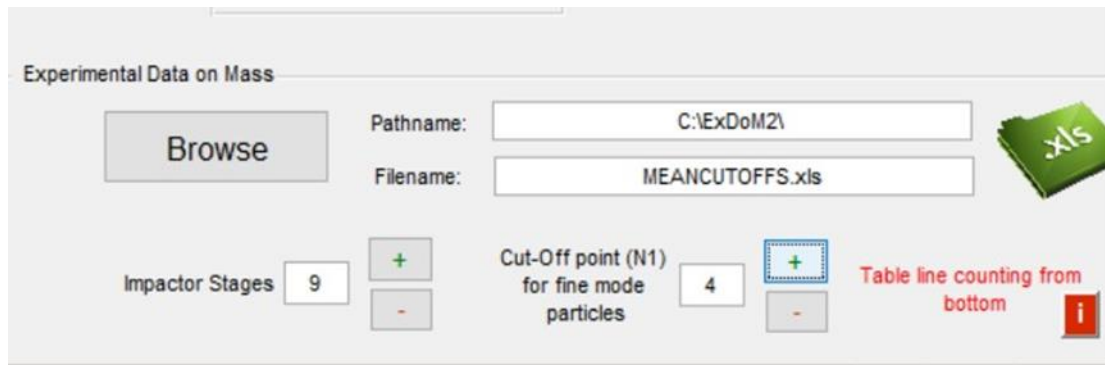
2. Τον τύπο δεδομένων συγκέντρωσης σωματιδίων, δηλαδή σε ξεχωριστές συγκεντρώσεις για λεπτά ή χονδρά σωματίδια είτε μια συνολική συγκέντρωση για όλα τα σωματίδια.
3. Την πυκνότητα και το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων (για τα σφαιρικά σωματίδια ο συντελεστής ισούται με 1)
4. Τα PM αιωρούμενα σωματίδια ή τα PM-Bound-Metal και την απορρόφηση μέσω του αίματος.
5. Την παραμονή του εκτιθέμενου ανθρώπου στο ίδιο μικροπεριβάλλον κατά την διάρκεια της μελέτης.



Εικόνα 12: Παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον gui.

Στη συνέχεια, γίνεται η επιλογή των δεδομένων επεξεργασίας στο μοντέλο ExDom2.

1. Εισαγωγή του αρχείου Excel που αφορά τα πειραματικά δεδομένα σύμφωνα με την κατανομή μάζας των σωματιδίων, που έχουν προκύψει από τον προσκρουστήρα. (Impactor Stages: Τα 9 Στάδια του Προσκρουστήρα Διαχωρισμού, Cut-Off Point: Το στάδιο 4 του προσκρουστήρα, όπου η διάμετρος 2,1 ανήκει στο όριο και των λεπτών και των χονδρών σωματιδίων)



Εικόνα 13: Απεικονίζεται η εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων στην πλατφόρμα gui.

2. Εισαγωγή του αρχείου εισόδου Excel που αφορά δεδομένα συγκέντρωσης μάζας των σωματιδίων, την ταχύτητα ανέμου και τη δραστηριότητα του εκτιθέμενου ατόμου.



Εικόνα 14: : Απεικονίζεται η εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων στην πλατφόρμα gui.

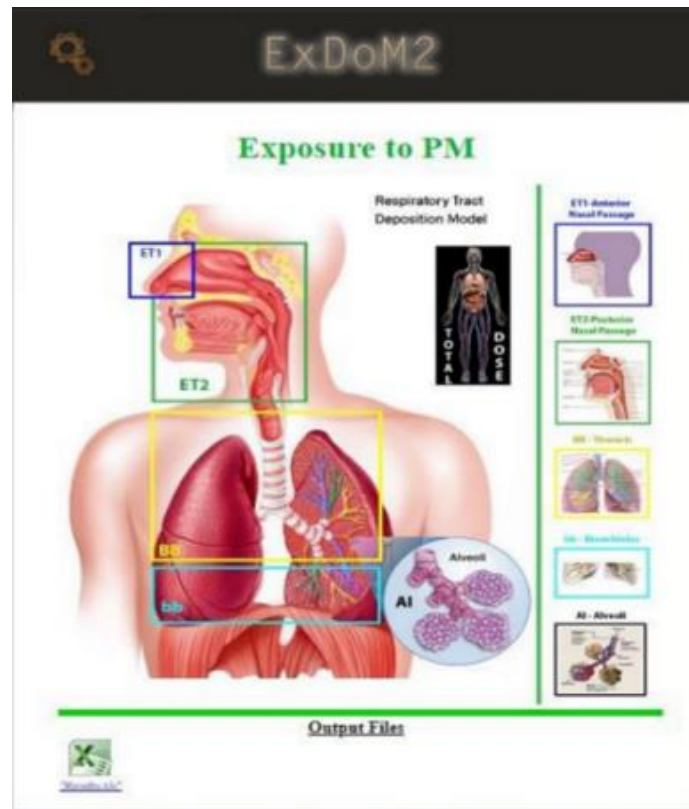
3. Επιλέγω START ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία διεξαγωγής αποτελεσμάτων.



Εικόνα 15: Απεικονίζεται η εκκίνηση του προγράμματος gui.

Τέλος, τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται στην Εικόνα 16, όπου ο χρήστης μπορεί να πατήσει πάνω στις περιοχές του αναπνευστικού συστήματος για να γίνει η λήψη των αποτελεσμάτων για την δόση που έχει λάβει το εκτιθέμενο άτομο.

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να «κατεβάσει» όλα τα αποτελέσματα σε μορφή αρχείου Excel, το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες για τις συγκεντρώσεις για την κάθε περιοχή.



Εικόνα 16: Παρουσιάζονται τα δυναμικά αποτελέσματα του μοντέλου gui.

Κεφάλαιο 3^ο: Αποτελέσματα Μετρήσεων με τον δειγματολήπτη DustTrak.

3.1. Αποτελέσματα μετρήσεων δειγματολήπτη DustTrak

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στο Γενικό Νοσοκομείο «ΕΛΠΙΣ» σε 3 διαφορετικούς χώρους προκειμένου να μελετηθεί η ποιότητα του αέρα. Ο πρώτος χώρος ήταν το γραφείο της Νοσηλευτικής Υπηρεσίας, ο δεύτερος χώρος το παθολογικό τμήμα και συγκεκριμένα στο δωμάτιο ανάρρωσης ασθενών και ο τρίτος χώρος το καρδιολογικό τμήμα όπου λαμβάνουν χώρα οι εξετάσεις των πολιτών από τον γιατρό βάρδιας του νοσοκομείου.

3.1.1 Πρώτος Χώρος Δειγματοληψίας: Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας.

Το γραφείο της Νοσηλευτικής Υπηρεσίας απαρτίζεται από 3 εργαζόμενους την Διευθύντρια Νοσηλευτικής Υπηρεσίας, την Προϊσταμένη 1ου Νοσηλευτικού Τομέα και την Προϊσταμένη 2ου Νοσηλευτικού Τομέα. Το ωράριο εργασίας είναι 7:00 π.μ. - 15:00 μ.μ..

Η περίοδος λήψης του δείγματος ήταν από τις 29/11/2019 έως τις 13/12/2019 και για οκτώ εικοσιτετράωρα. Η λήψη του δείγματος δεν γινόταν καθημερινά λόγω ξεκούρασης του οργάνου και αποθήκευσης των μετρήσεων. Ο δειγματολήπτης είχε την δυνατότητα να λαμβάνει μετρήσεις ανά 5 λεπτά. Δεδομένου αυτού και του ωραρίου εργασίας του προσωπικού, για την καλύτερη μελέτη των αποτελεσμάτων χωρίζουμε την κάθε ημέρα σε τρεις περιόδους ανά 5 λεπτά μετρήσεων. Η πρώτη περίοδος είναι: 07:00 π.μ. έως 15:00 μ.μ., δηλαδή το ωράριο εργασίας, η δεύτερη είναι: 15:00 μ.μ. έως 00:00 π.μ. και η τρίτη περίοδος είναι: 00:00 π.μ. έως 07:00 π.μ.. Στον Πίνακα 3 αναγράφονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης ανά περίοδο. Για κάθε χρονική περίοδο αλλά και συνολικά έχει υπολογιστεί η μέση τιμή αλλά και η τυπική απόκλιση των τιμών των συγκεντρώσεων. Η συνολική μέση συγκέντρωση για όλες τις ημέρες εσωτερικών μετρήσεων βρέθηκε ίση με $30,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η τυπική απόκλιση $12,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Για την πρώτη περίοδο (7:00 π.μ. - 15:00 μ.μ.) η μέση τιμή είναι $29,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ η τυπική απόκλιση είναι $9,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη δεύτερη περίοδο (15:00 μ.μ.- 00:00 π.μ.) η μέση τιμή είναι $31,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η τυπική απόκλιση $13,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και για

την τρίτη περίοδο (00:00 π.μ.-07:00 μ.μ.) η μέση τιμή είναι 27,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και η τυπική απόκλιση είναι 10,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3 των αποτελεσμάτων δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις τιμές των συγκεντρώσεων στις τρεις περιόδους. Οι τιμές και στις τρεις περιόδους είναι υψηλές χωρίς κάποια ιδιαίτερη διακύμανση. Αυτό συμβαίνει διότι την πρώτη περίοδο, δηλαδή τις εργάσιμες ώρες βρίσκονται τρία άτομα στο χώρο, που δικαιολογεί τις μεγάλες συγκεντρώσεις, λόγω ομιλιών μεταξύ των συναδέλφων, ομιλιών στο τηλέφωνο, καθώς και περιφορά στο χώρο ή και επίσκεψη από άλλο προσωπικό του Νοσοκομείου στο γραφείο της Νοσηλευτικής Υπηρεσίας. Στην δεύτερη περίοδο, δεν παρατηρείται μείωση των σωματιδίων αλλά καταγράφονται οι ίδιες τιμές ή και λίγο υψηλότερες. Μεταξύ αυτών των ωρών πραγματοποιείται η καθαριότητα του χώρου. Ανάμεσα στην πρώτη και στη δεύτερη περίοδο τα σωματίδια δεν έχουν εναποτεθεί στο χώρο (στις επιφάνειες και στο πάτωμα κλπ.).

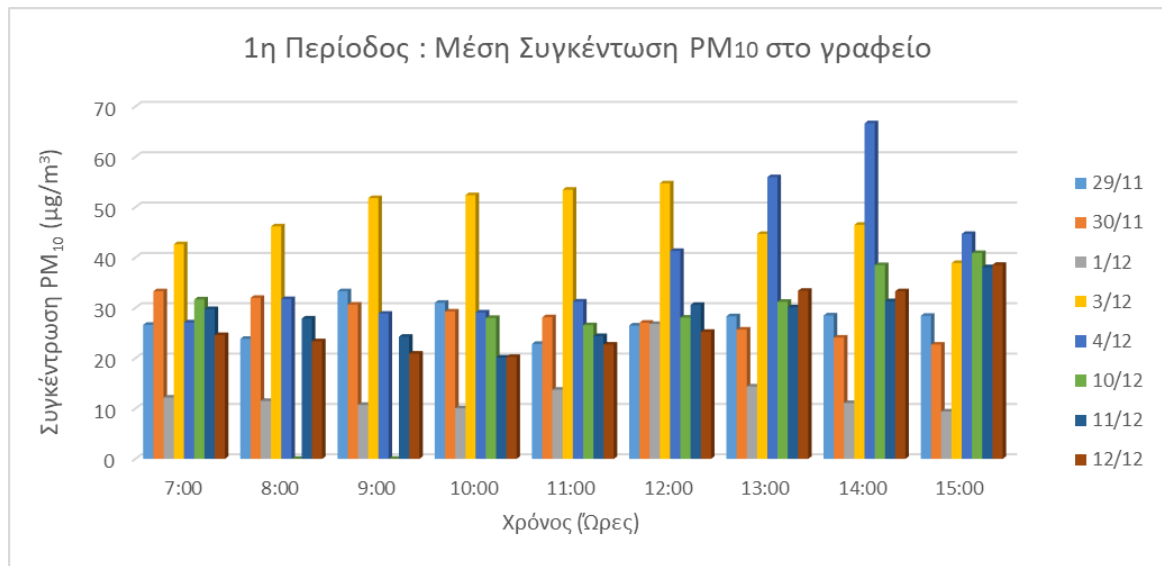
Η εναπόθεση μπορούμε να υποθέσουμε ότι συμβαίνει στην τρίτη περίοδο μιας και αρχίζουμε να βλέπουμε μια μικρή μείωση στις τιμές.

Είναι χρήσιμο να σχολιαστούν οι ημερομηνίες από 30/11 έως και 1/12. Σ' αυτές τις δύο ημέρες δεν έχουμε καθόλου αύξηση των σωματιδίων, αλλά συνεχόμενη μείωση. Το Σαββατοκύριακο δεν υπάρχει κανένας στο χώρο και παρατηρείται καλύτερα η εναπόθεση των σωματιδίων, όπως διακρίνεται στο Γράφημα 6.

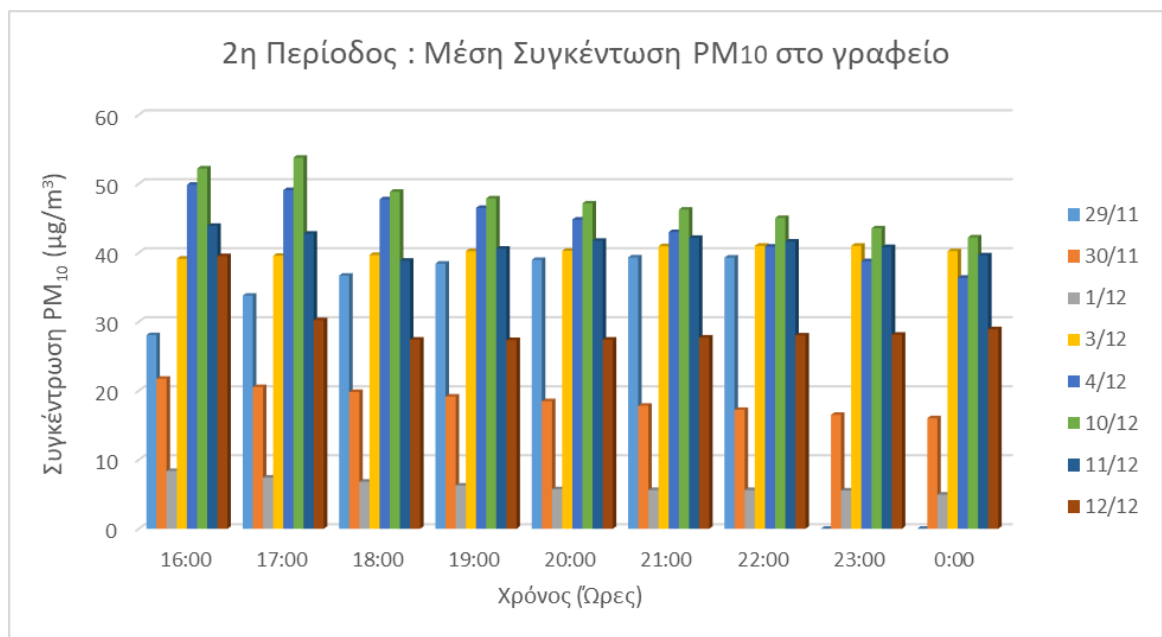
Πίνακας 3: Παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση ΑΣ στο χώρο του γραφείου.

<i>Ημερ/νια</i>	1^η περίοδος	2^η περίοδος	3^η περίοδος
<i>29/11</i>	27,70	28,28	37,02
<i>30/11</i>	28,09	18,59	15,49
<i>1/12 (ΚΥΡΙΑΚΗ)</i>	13,32	6,26	5,47
<i>3/12</i>	47,92	40,23	35,94
<i>4/12</i>	39,63	44,11	29,04
<i>10/12</i>	24,99	47,43	35,97
<i>11/12</i>	28,50	41,34	32,54
<i>12/12</i>	26,92	29,40	29,08
<i>Μέση συγκέντρωση PM₁₀ (μg/m³)</i>	29,63	31,96	27,57
<i>Τυπική Απόκλιση</i>	9,60	13,24	10,57

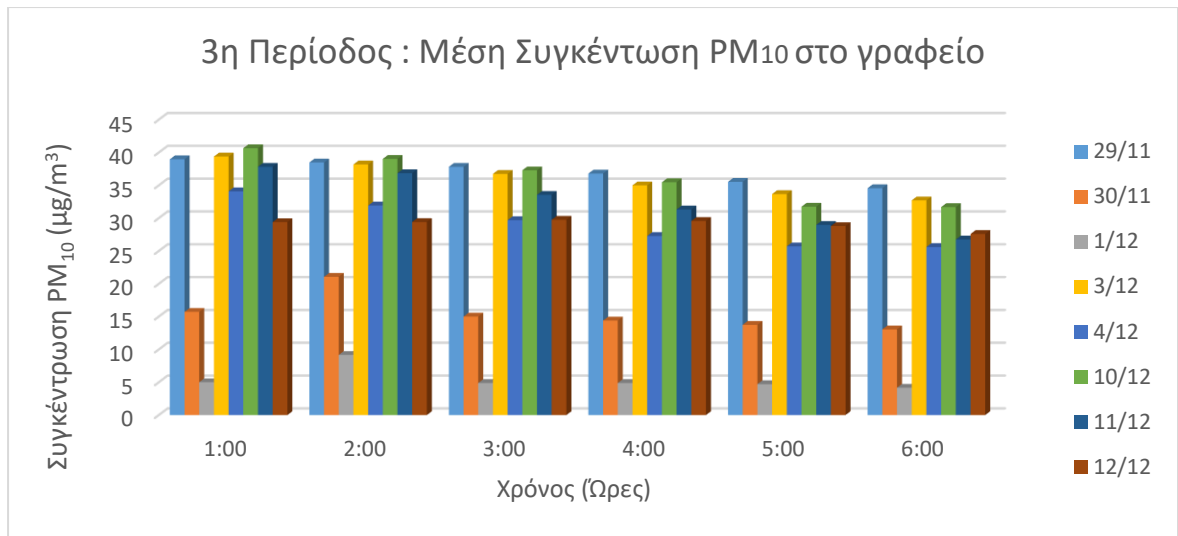
Στα παρακάτω Γραφήματα 1, 2 και 3, απεικονίζεται η μέση συγκέντρωση των οκτώ 24ώρων χωρισμένα στις τρεις περιόδους. Φαίνεται καλύτερα ότι δεν παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις, όπως ήδη έχει αναφερθεί μέσα στη μέρα.



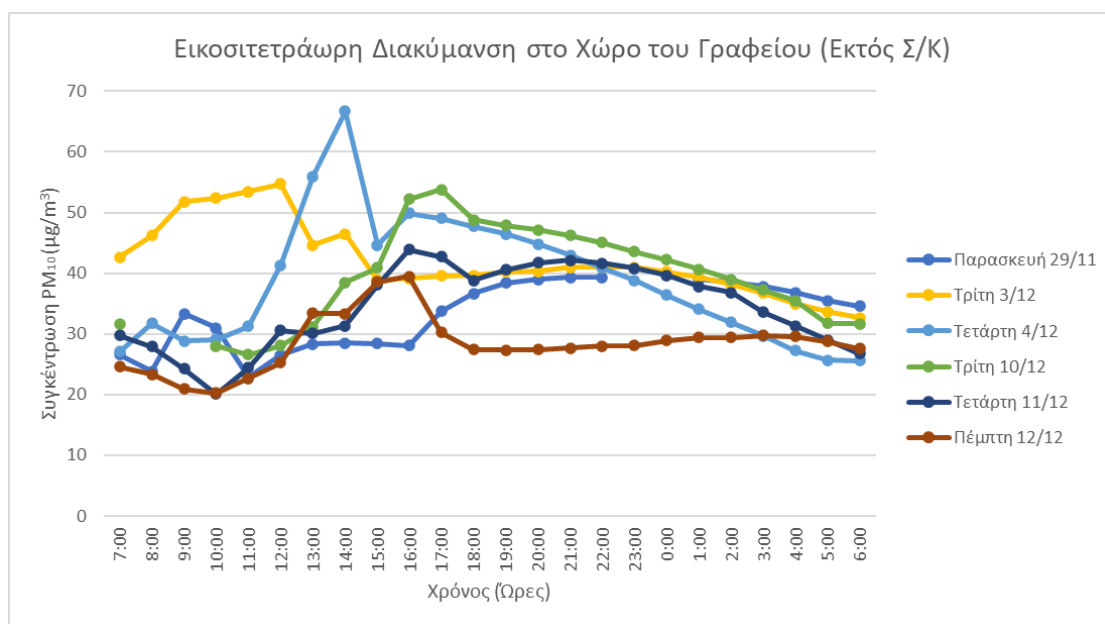
Γράφημα 1. Ραβδόγραμμα 1^{ης} Περιόδου: Παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση PM₁₀ για το χώρο του Γραφείου.



Γράφημα 2. Ραβδόγραμμα 2^{ης} Περιόδου: Παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση PM₁₀ για το χώρο το Γραφείου.

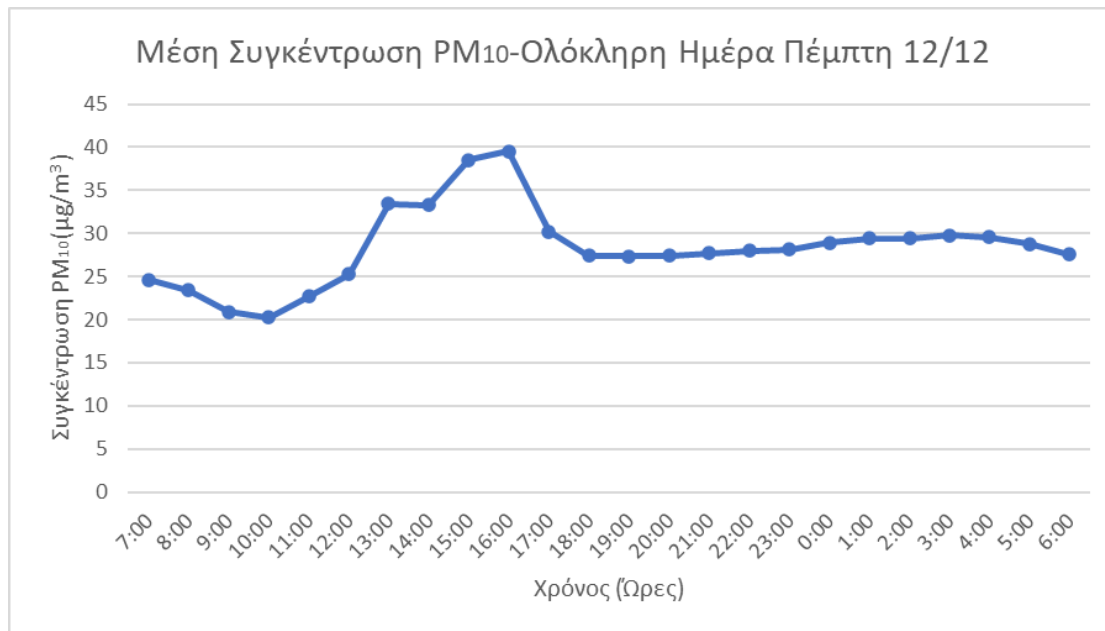


Γράφημα 3. Ραβδόγραμμα 3^{ης} Περιόδου: Παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση PM₁₀ για το χώρο του Γραφείου

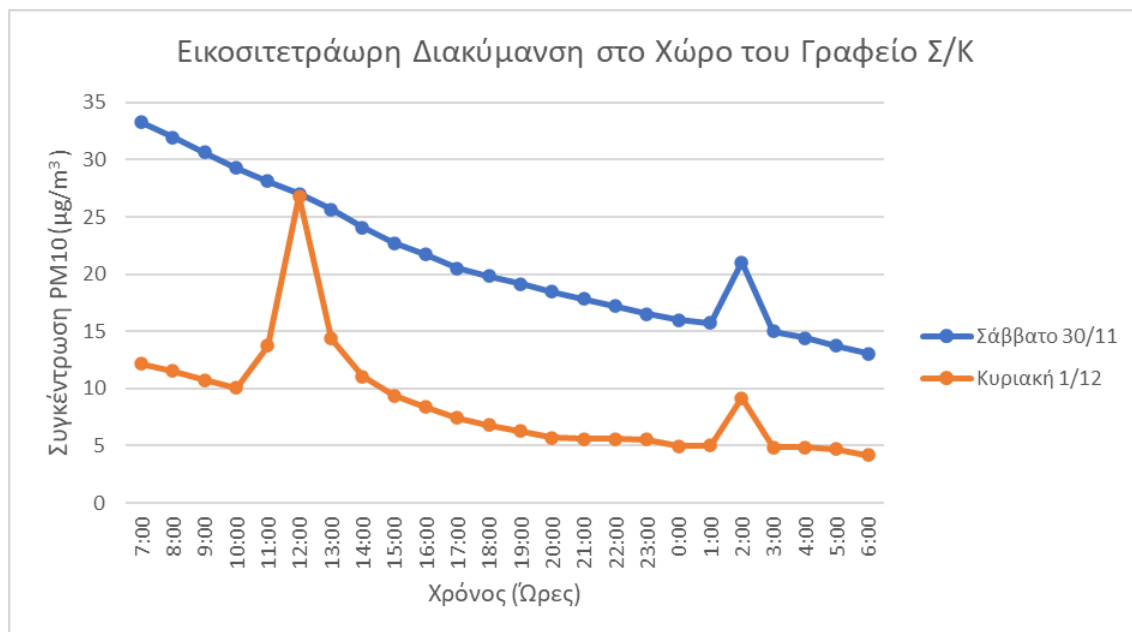


Γράφημα 4: Παρουσιάζεται η Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο χώρο του Γραφείου (Εκτός Σ/Κ).

Στο Γράφημα 4 παρουσιάζεται η εικοσιτετράωρη διακύμανση στο χώρο του γραφείου χωρίς τις δύο ημέρες του Σαββατοκύριακου. Στα έξι αυτά εικοσιτετράωρα παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνεται από 25-45 µg/m³ από τις 07:00 π.μ. έως τις 15:00 μ.μ., στο ωράριο εργασίας των τριών ατόμων που βρίσκονται στο χώρο. Όπως και από τις 16:00 μ.μ. μέχρι τις 06:00 π.μ. της επόμενης μέρας η συγκέντρωση κυμαίνεται από 30-45 µg/m³.



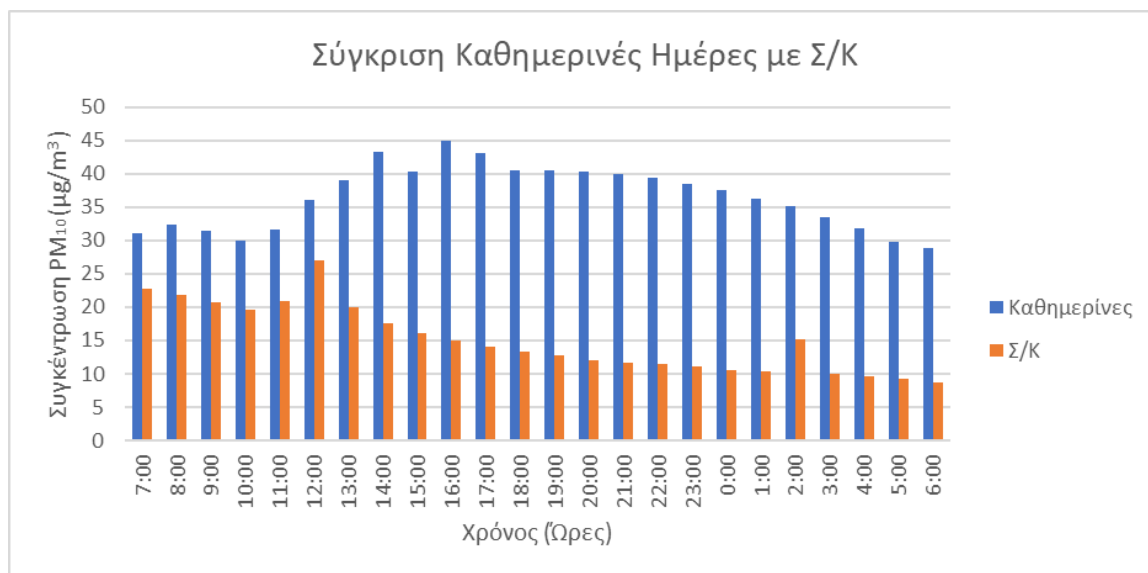
Γράφημα 5: Παρουσιάζεται η Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο χώρο του Γραφείου μια τυχαία καθημερινή ημέρα.



Γράφημα 6: Παρουσιάζεται η Εικοσιτετράωρη Διακύμανση στο χώρο του Γραφείου Σ/Κ.

Στο Γράφημα 6 παρουσιάζεται η εικοσιτετράωρη διακύμανση στο χώρο του γραφείου για την ημέρα του Σαββάτου και της Κυριακής, όπου δεν είναι σε λειτουργία. Τα αποτελέσματα που αναμένονται είναι ότι οι συγκεντρώσεις των ΑΣ θα είναι μικρότερες από μια καθημερινή ημέρα, όπου στο χώρο βρίσκονται τρία

άτομα και εργάζονται. Συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων την ημέρα του Σαββάτου κυμαίνονται από 33-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα την Κυριακή από 4-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Πράγματι, οι συγκεντρώσεις μειώνονται με το πέρασ των ωρών. Τα αιωρούμενα σωματίδια εναποτίθενται στο χώρο (πχ. στα έπιπλα, στο πάτωμα).



Γράφημα 7: Σύγκριση καθημερινών ημερών με Σ/Κ στο χώρο του Γραφείου.

3.1.2 Δεύτερος Χώρος Δειγματοληψίας: Παθολογικό Τμήμα

Ο δεύτερος χώρος που επιλέχτηκε για δειγματοληψία ήταν το παθολογικό τμήμα και συγκεκριμένα το δωμάτιο ανάρρωσης των ασθενών.

Η περίοδος λήψης του δείγματος ήταν από τις 14/12 έως τις 27/12 και για δέκα εικοσιτετράωρα. Αναμένεται μια διαφορετική διακύμανση σε σύγκριση με τον προηγούμενο χώρο μιας και δεν υπάρχουν ωράρια εργασίας και καθημερινά τα άτομα αλλάζουν μέσα στο χώρο, σε σχέση με το χώρο του γραφείου που απαρτιζόταν καθημερινά από τρία άτομα και σε συγκεκριμένες ώρες.

Χωρίζουμε τις μετρήσεις σε δύο περιόδους από τις 08:00 π.μ. - 18:00 μ.μ. και από τις 18:00 μ.μ. - 08:00 π.μ., δηλαδή πρωί και βράδυ. Η επιλογή αυτή έγινε δεδομένου ότι το πρωί οι ασθενείς είναι ξύπνιοι (μπορεί να βήσουν, να φτερνιστούν, να περπατήσουν στο χώρο), δίνονται τα περισσότερα εξιτήρια (καθαρισμός του χώρου-

αλλαγή κλινοσκεπασμάτων), υπάρχει επίσκεψη συγγενών και μία γενική δραστηριότητα στο χώρο από το νοσηλευτικό και ιατρικό προσωπικό.

Στο πίνακα 4 αναγράφονται οι μέσες τιμές συγκέντρωσης για το πρωί και βράδυ.

Πίνακας 4: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ στο Παθολογικό Τμήμα.

Ημερ/νια	1 ^η περίοδος	2 ^η περίοδος
14/12	63,43	77,58
15/12	59,38	164,36
16/12	85,78	129,98
18/12	90,19	147,40
19/12	94,24	57,28
20/12	70,03	69,11
22/12	87,49	41,76
23/12	39,80	36,92
24/12	22,12	17,66
27/12	24,35	31,20
Μέση συγκέντρωση PM ₁₀ (μg/m ³)	63,68	77,30

Είναι αδύνατο να διευκρινιστεί σε ποια από τις δύο περιόδους υπάρχει μεγαλύτερη αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς η διαφορά στους μέσους όρους των τιμών συγκέντρωσης είναι αμελητέα. Συγκεκριμένα, για την πρώτη περίοδο (08:00 π.μ. - 18:00 μ.μ.) είναι 63,68 μg/m³ και για την δεύτερη περίοδο (20:00 μ.μ. - 10:00 π.μ.) είναι 77,30 μg/m³.

Το δωμάτιο του παθολογικού τμήματος αποτελείται από 4 κλίνες, γίνεται τακτικός καθαρισμός του χώρου, οι ασθενείς καθημερινά κατά τις 8:00 π.μ. λαμβάνουν το

πρόγευμα τους, το μεσημεριανό στις 13:00 μ.μ. και το βραδινό τους στις 19:00 μ.μ.. Η επίσκεψη του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού όλες τις ώρες της ημέρας είναι τακτική και η τελευταία επίσκεψη γίνεται μετά τις 21:00 μ.μ..

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η εικοσιτετράωρη διακύμανση της συγκέντρωσης των αιρώμενων σωματιδίων των δέκα μερών.

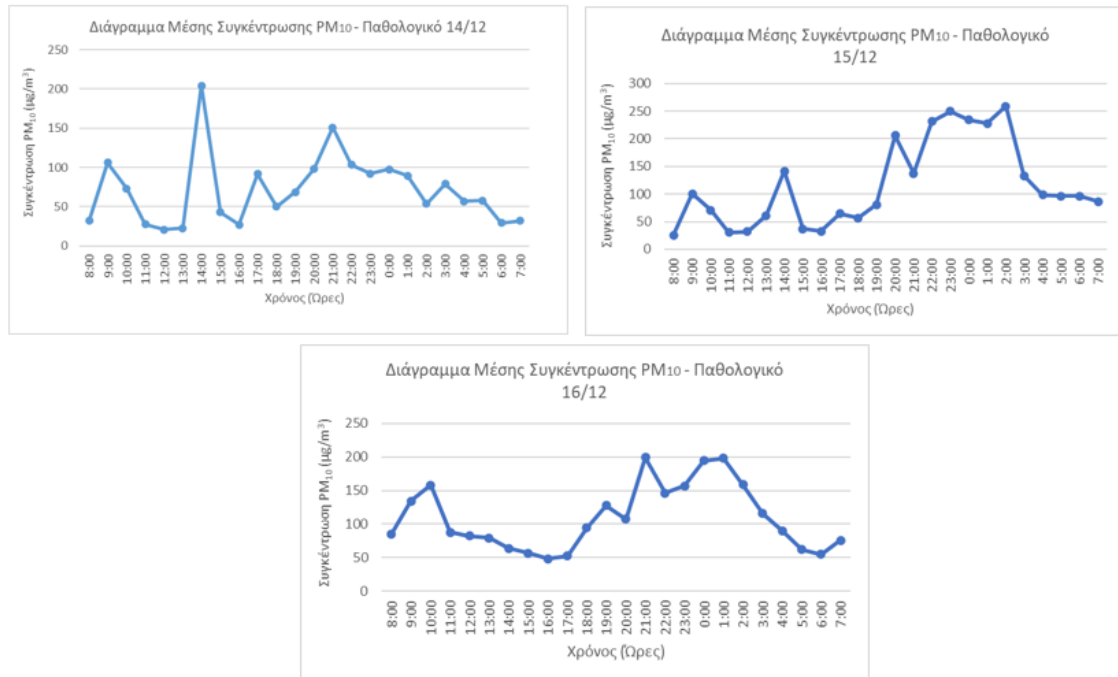
Στην Εικόνα 17 απεικονίζεται η πρώτη τριάδα μετρήσεων για την περίοδο 14 - 16 Δεκεμβρίου.

Αναλυτικότερα, στο 1^ο διάγραμμα για την ημερομηνία 14 Δεκεμβρίου στο τετράκλινο δωμάτιο ανάρωσης υπάρχουν δύο ασθενείς στο χώρο. Η μέγιστη συγκέντρωση είναι 204,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 14:00 μ.μ., την ώρα δηλαδή όπου ο ασθενής έχει λάβει το μεσημεριανό του και υπάρχει ένας στοιχειώδης καθαρισμός από το προσωπικό, καθώς και η επίσκεψη από τον γιατρό βάρδιας. Τις ώρες μεταξύ 15:00 μ.μ. - 16:00 μ.μ. η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων πέφτει αρκετά, καθώς από τις 22:00 μ.μ. - 7:00 π.μ. οι ασθενείς κοιμούνται. Αύτες τις ώρες η συγκέντρωση κυμαίνεται από 27 έως 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στο 2^ο διάγραμμα της Εικόνας 17 για την ημερομηνία 15 Δεκεμβρίου το Νοσοκομείο έχει γενική εφημερία από τις 14:30 μ.μ. έως τις 7:00 π.μ. της επομένης. Στο χώρο κατά τις 22:00 μ.μ. γίνεται εισαγωγή νέου ασθενούς, γι' αυτό και παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης. Οι μέγιστες συγκέντρωσεις που λήφθηκαν ήταν 200-260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μεταξύ 22:00 μ.μ. - 2:00 π.μ., δηλαδή την ώρα εισαγωγής, επίβλεψης και τακτοποίησης του ασθενούς.

Την επόμενη μέρα, στο 3^ο διάγραμμα στις 16 Δεκεμβρίου στις 10:00 π.μ. ένας εκ των τριών ασθενών λαμβάνει εξιτήριο, ένας μένει στο δωμάτιο της πρωινές ώρες και ο άλλος αναλαμβάνεται από τους γιατρούς για περαιτέρω εξετάσεις και δεν βρίσκεται στο χώρο. Η μέγιστη σύγκεντρωση συναντάται στις 21:00 μ.μ. και είναι 199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, όταν οι δύο ασθενείς βρίσκονται στον ίδιο χώρο.

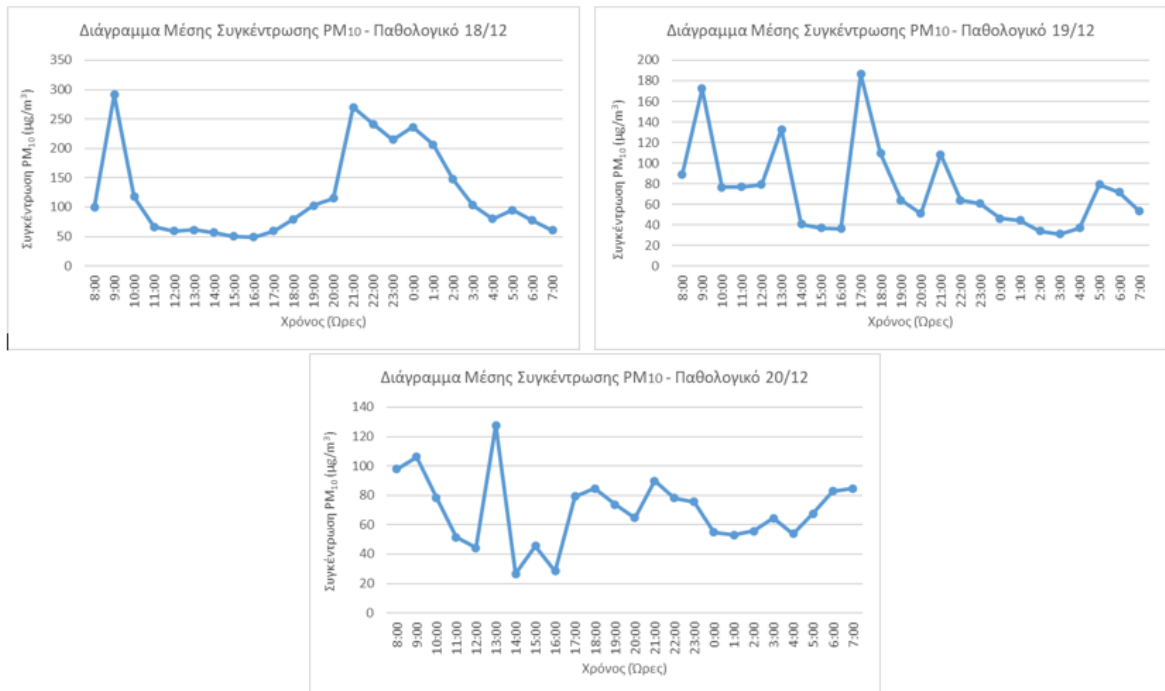
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM₁₀ ΣΤΟ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ 14-16 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ



Εικόνα 17. Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 14-16/12 στο Παθολογικό Τμήμα.

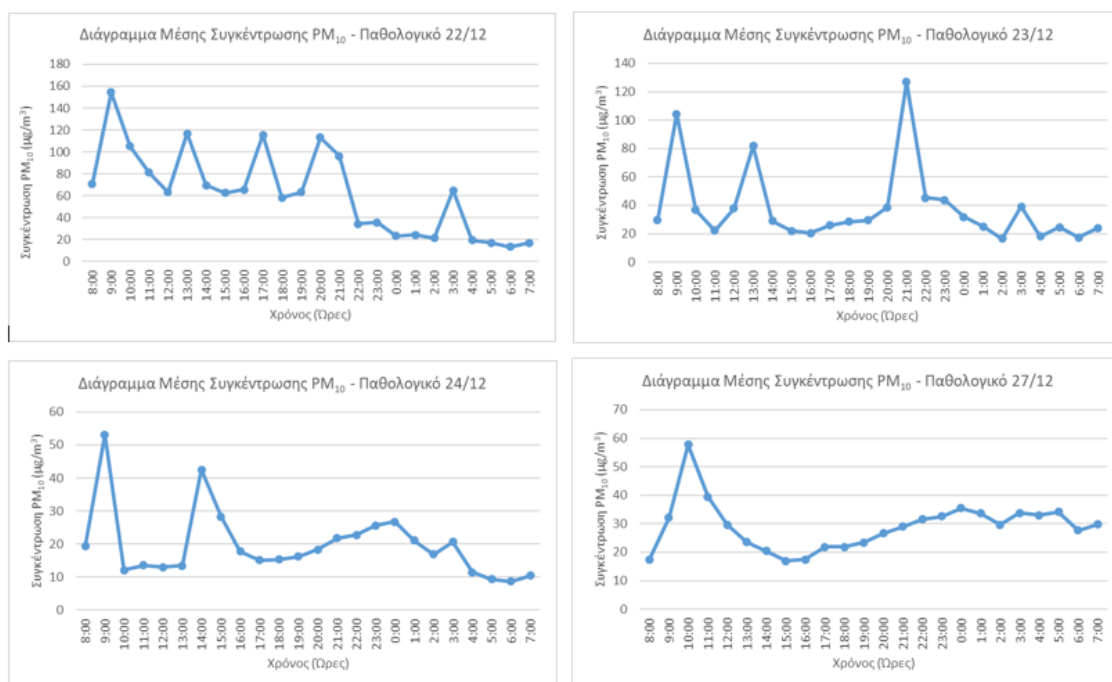
Την 17^η ημέρα του Δεκεμβρίου έγινε αποθήκευση των μετρήσεων. Στην Εικόνα 18, στο 1^ο διάγραμμα (18 Δεκεμβρίου) υπάρχουν 2 άτομα στο χώρο και στις 9:00 π.μ. συναντάται η μέγιστη συγκέντρωση 291 μg/m³, λόγω καθαρισμού και αερισμού του χώρου. Κατά τις 21:00 μ.μ. γίνεται εισαγωγή ενός ατόμου στο χώρο και το όργανο καταγράφει συγκέντρωση 230-240 μg/m³. Τις ώρες μεταξύ 10:00 π.μ.-20:00 μ.μ. οι συγκεντρώσεις είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, 50-65 μg/m³. Στο δεύτερο διάγραμμα της Εικόνας 18, απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης για τις ημερομηνίες 18 έως 20 Δεκεμβρίου. Την 19^η και 20^η ημέρα του Δεκεμβρίου παρατηρείται όμοια εικόνα για τον χώρο, όπως και στις 18 Δεκεμβρίου.

ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM_{10} ΣΤΟ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΑΠΟ 18-20 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ



Εικόνα 18. Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 18-10/12 στο Παθολογικό Τμήμα.

Όταν υπάρχει μόνο ένα άτομο στο χώρο (Εικόνα 19, 1^ο διάγραμμα) παρατηρείται ότι η συγκέντρωση αυξάνεται τις ώρες του γεύματος και την ώρα που γίνεται η τελευταία επίσκεψη από το προσωπικό. Στις 23 Δεκεμβρίου το πρωί λαμβάνει εξιτήριο. Συνεπώς, τα αιωρούμενα σωματίδια εναποθέτονται πάνω στα έπιπλα και στο πάτωμα και με το πέρασμα των ωρών οι συγκεντρώσεις μειώνονται ολοένα και περισσότερο. Στις 27 Δεκεμβρίου το δωμάτιο έχει μείνει άδειο αρκετές μέρες και οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται $20-40\mu g/m^3$. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αερισμός του χώρου είναι τακτικός αλλά για μικρό χρονικό διάστημα (5 λεπτών) και η θέρμανση του δωματίου πραγματοποιείται με καλοριφέρ.



Εικόνα 19: Απεικονίζεται η διακύμανση της συγκέντρωσης από 22-14/12 & 27/12 στο Παθολογικό Τμήμα.

Συνοψίζοντας, στο παθολογικό τμήμα η μέγιστη συγκέντρωση που συναντάται είναι $291,23 \mu g/m^3$ (18 Δεκεμβρίου στις 9:00 π.μ.), όπου στο χώρο είναι 3 άτομα που γευματίζουν και ο τρίτος ασθενής λαμβάνει εξιτήριο και γίνεται αλλαγή των κλινοσκεπασμάτων στο χώρο, ενώ η μικρότερη συγκέντρωση (24 Δεκεμβρίου στις 6:00 π.μ.) είναι $8,68 \mu g/m^3$, όπου δεν υπάρχουν άτομα στο χώρο και ο καθαρισμός έχει γίνει τις προηγούμενες μέρες.

3.1.3 Τρίτος Χώρος Δειγματοληψίας: Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα

Ο τρίτος και τελευταίος χώρος που επιλέχτηκε ήταν στα εκτατά ιατρεία και συγκεκριμένα στο έκτακτο καρδιολογικό τμήμα. Καθημερινά το νοσοκομείο δέχεται ασθενείς από τις 08:00 π.μ. έως τις 14:30 μ.μ., εκτός Σαββατοκύριακου και αργιών. Ενώ τις ημέρες γενικής 24ωρης εφημερίας από τις 14:30 μ.μ. έως τις 08:00 π.μ. της επόμενης, τα Σαββατοκύριακα και τις επίσημες αγίες από τις 08:00 π.μ. έως τις 08:00 π.μ. της επομένης. Στο χώρο βρίσκεται πάντα ένας γιατρός και στο χώρο μπαίνει μόνο

ένας ασθενείς ανά εξέταση. Η δειγματοληψία στο χώρο έγινε την περίοδο από 31/12 έως 2/1, δηλαδή για τρία εικοσιτετράωρα. Η μέγιστη συγκέντρωση που παρατηρήθηκε ήταν 293,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 1/1 και 5:00 π.μ. και η μικρότερη ήταν 4,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 3/1 στις 7:00 π.μ..

Στον πίνακα 5 διακρίνονται αναλυτικά οι ωριαίες συγκεντρώσεις για το καρδιολογικό τμήμα, χωρισμένες σε δύο περιόδους πρωί και βράδυ.

Πίνακας 5: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ στο Καρδιολογικό Τμήμα.

Ημερ/νια	1 ^η περίοδος	2 ^η περίοδος
31/12	24,26	161,52
1/12	32,45	15,22
2/12	45,16	12,18
Μέση συγκέντρωση PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33,96	62,97

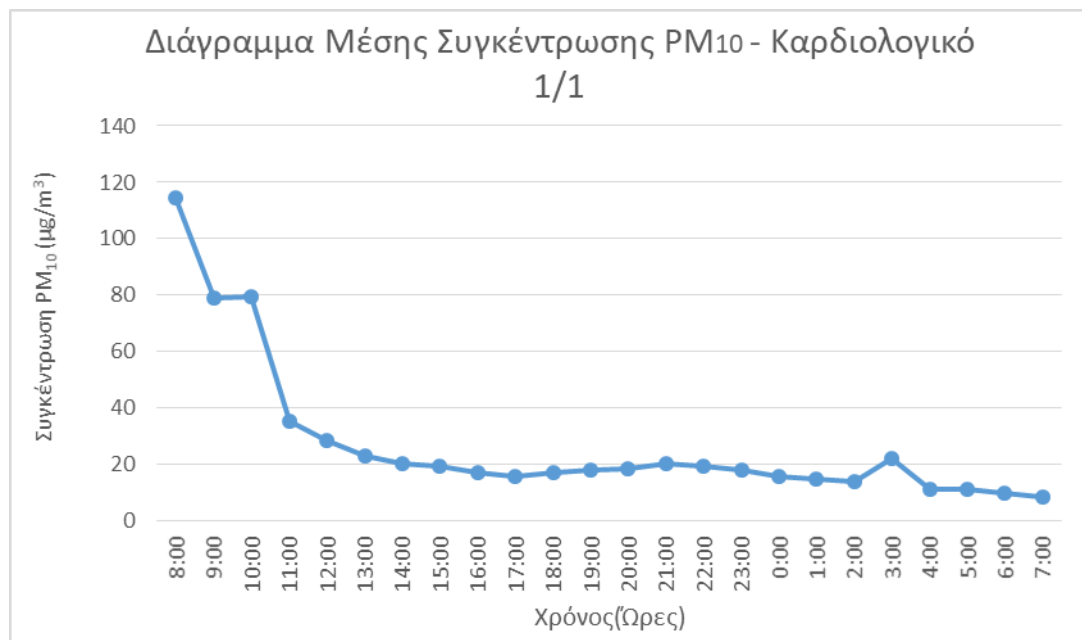
Από τον πίνακα 5 παρατηρείται ότι για την ημέρα 31/12 την δεύτερη περίοδο, δηλαδή το βράδυ, έχουμε δεκαπλάσια συγκέντρωση από τις άλλες δύο βραδινές περιόδους των δύο άλλων ημερών. Αυτό συμβαίνει γιατί στο χώρο από 00:00 έως 1:00 π.μ. υπάρχει μεγάλη διέλευση από το ιατρικό προσωπικό για τις καθιερωμένες ευχές του νέου έτους. Οι τιμές που κατέγραψε ο δειγματολήπτης για αυτές τις δύο ώρες ήταν 177,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 260,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα.

Ήταν αναμενόμενο ότι η μέγιστη συγκέντρωση θα παρατηρούνταν εκείνη την ημέρα και ήταν 293,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 5:00 π.μ. κατά την αλλαγή βάρδιας, όπου υπήρχε μεγαλύτερη διέλευση στο χώρο από άτομα. Κατά τις πρωινές ώρες οι τιμές των συγκεντρώσεων κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα από 16-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



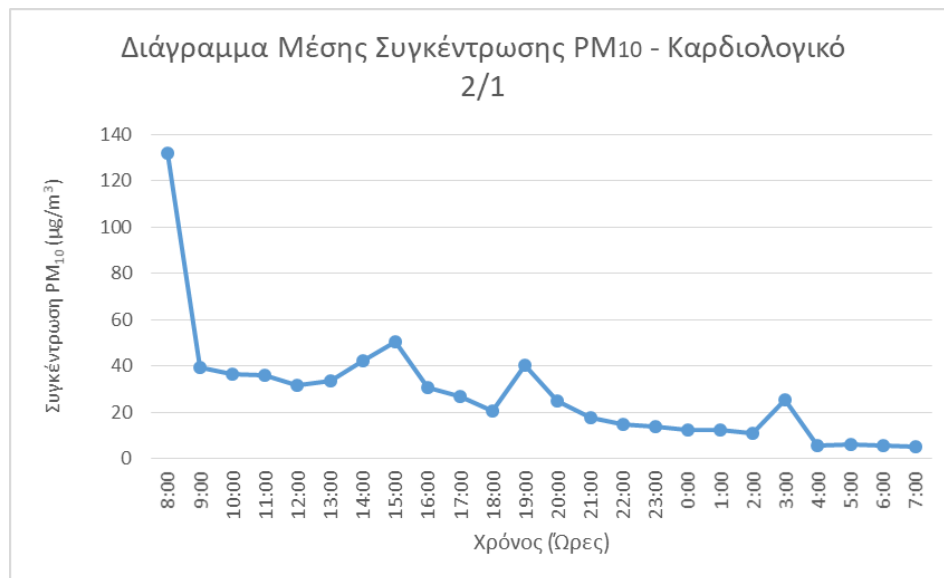
Γράφημα 8. Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσεις ΑΣ Καρδιολογικό Τμήμα 31/12.

Τις άλλες δύο ημέρες τα ποσοστά των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν σε πολύ χαμηλά επίπεδα, διότι η 1^η Ιανουαρίου είναι αργία. Όπως ήδη έχει αναφερθεί το Νοσοκομείο όταν δεν εφημερεύει δέχεται ασθενείς 8:00 π.μ. έως 14:00 μ.μ..



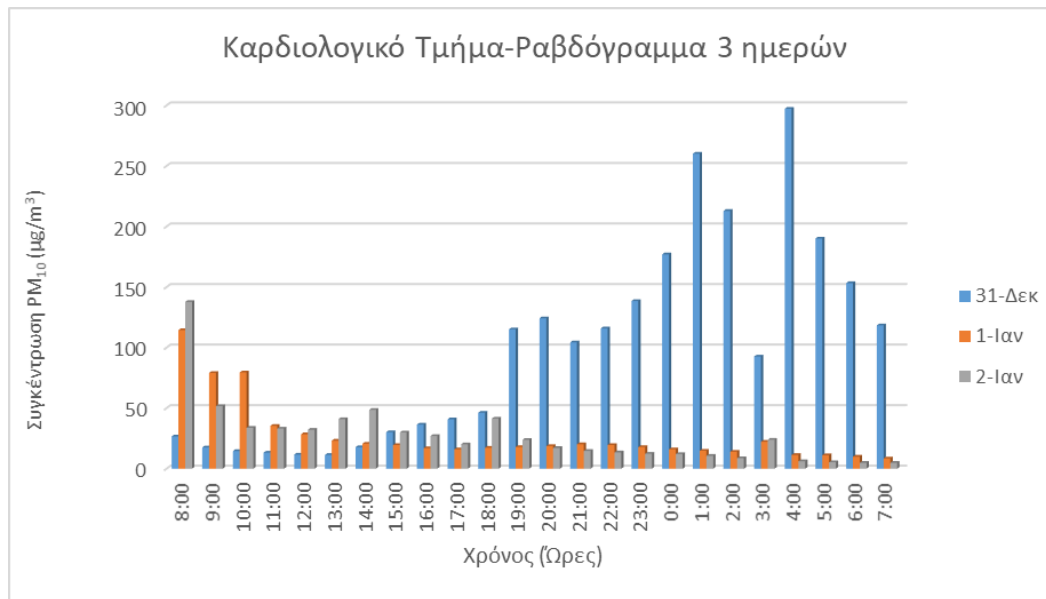
Γράφημα 9. Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσεις ΑΣ₁₀ Καρδιολογικό Τμήμα 1/1.

Σύμφωνα με το Γράφημα 9 η μεγαλύτερη συγκέντρωση που καταγράφηκε για την 1^η Ιανουαρίου ήταν 114,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και παρατηρήθηκε στις 8:00 π.μ., όπου υπήρχε καθαρισμός και αερισμός του χώρου και η μικρότερη ήταν 8,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και παρατηρήθηκε στις 7:00 π.μ.. Σχεδόν στα ίδια επίπεδα κυμάνθηκαν οι συγκεντρώσεις και στις 2 Ιανουαρίου (Γράφημα 10). Η μέγιστη συγκέντρωση ήταν 137,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 8:00 π.μ. και η μικρότερη ήταν 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 5:00 π.μ..



Γράφημα 10. Διάγραμμα Μέσης Συγκέντρωσεις PM₁₀ Καρδιολογικό Τμήμα 2/1.

Με την βοήθεια του Γραφήματος 11 παρατηρείται πως οι μέγιστες συγκεντρώσεις ήταν στην αλλαγή του χρόνου και οι μικρότερες τις απογευματινές και βραδινές ώρες, όπου το τμήμα δεν εφημέρευε.



Γράφημα 11. Ραβδόγραμμα 3 ημερών του Καρδιολογικού Τμήματος.

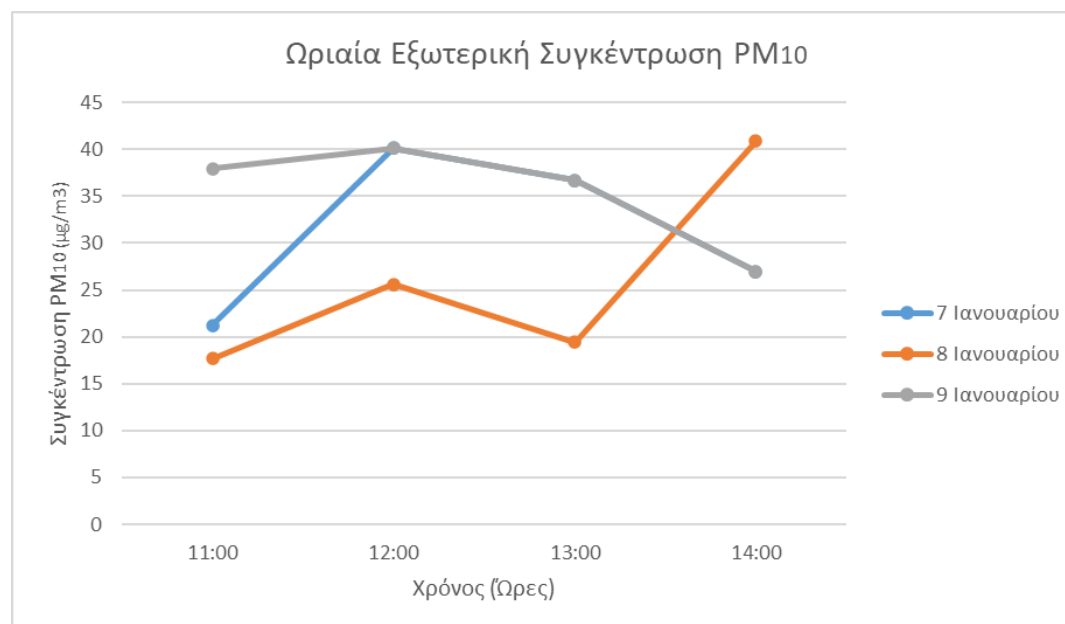
3.1.4 Εξωτερικός Χώρος

Στη συνέχεια, το όργανο τοποθετήθηκε στον προαύλιο χώρο του Νοσοκομείου και συγκεκριμένα έξω από τον πρώτο χώρο- Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας, σε κοντινή ακτίνα βρίσκεται το παρκινγκ του Νοσοκομείου, καθώς και η είσοδος - έξοδος. Πρόκειται για ενδεικτικές μετρήσεις τριών τετράωρων 7 - 9 Ιανουαρίου (Πίνακας 6), όπου υπολογίσθηκαν οι μέσες ωριαίες τιμές. Σε αυτή την περίπτωση, η συγκέντρωση ξεκινά από τα 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και φτάνει έως τα 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι ο καιρός και τις τρεις ημέρες ήταν νεφελώδης με ασθενή βροχόπτωση.

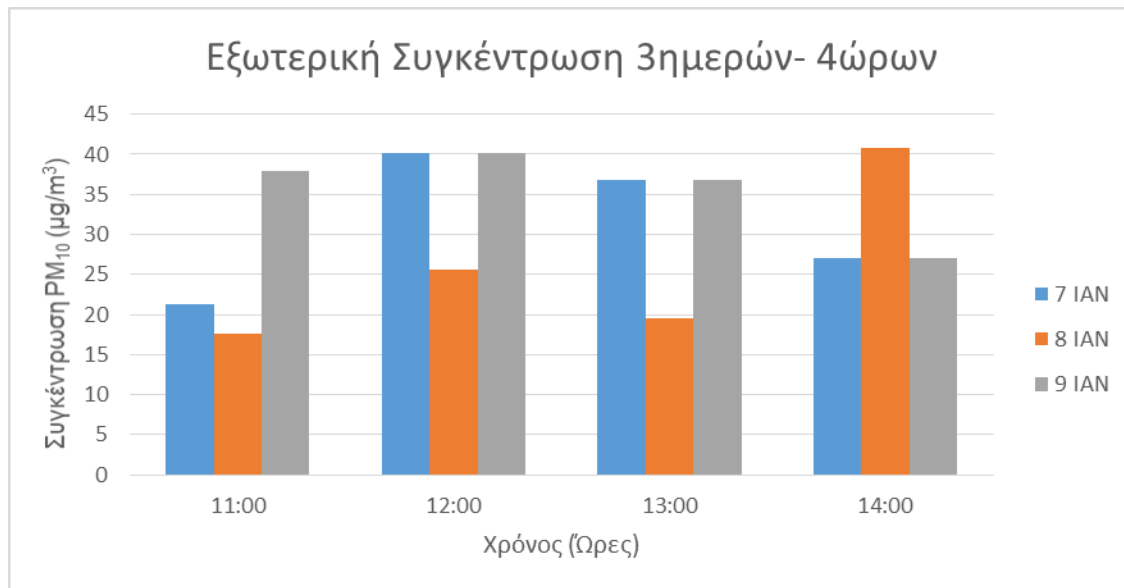
Πίνακας 6: Παρουσιάζεται η μέση ωριαία συγκέντρωση ΑΣ στον Εξωτερικό χώρο.

Ημερ/νια	11:00	12:00	13:00	14:00
7/1	21,26	33,85	32,94	44,68
8/1	17,65	25,60	19,46	40,87
9/1	37,94	40,11	36,74	27,00
Μέση συγκέντρωση PM ₁₀ (μg/m ³)	25,62	33,18	29,71	37,52

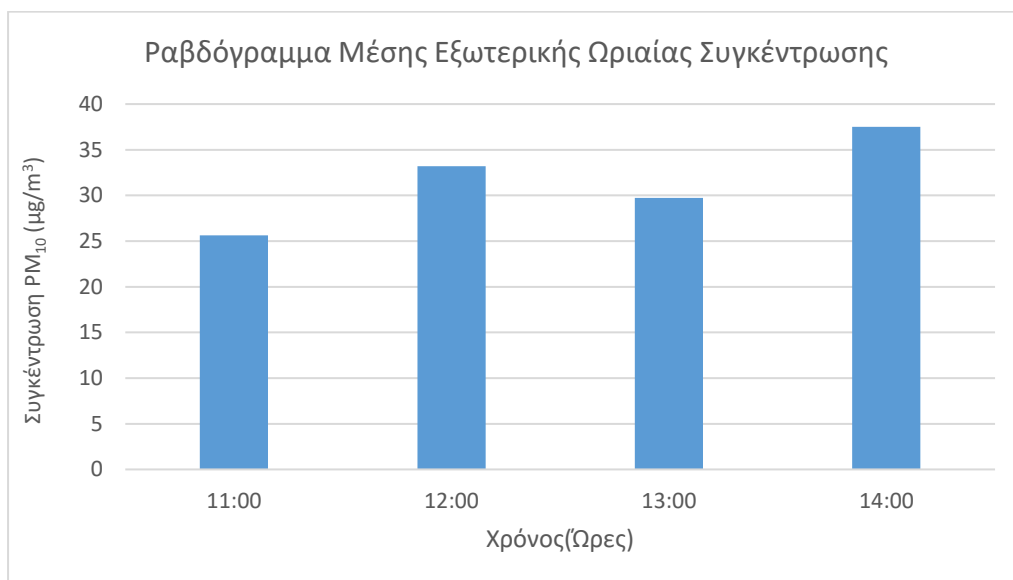
Παρακάτω, παρατίθεται το Γράφημα 12 που αναπαριστά τις συγκεντρώσεις στον εξωτερικό χώρο του Νοσοκομείου.



Γράφημα 12. Διάγραμμα Ωριαίας Εξωτερική Συγκέντρωση 3 ημερών - 4ώρων.



Γράφημα 13. Ραβδόγραμμα Εξωτερικής Συγκέντρωσης τριών τετραώρων.

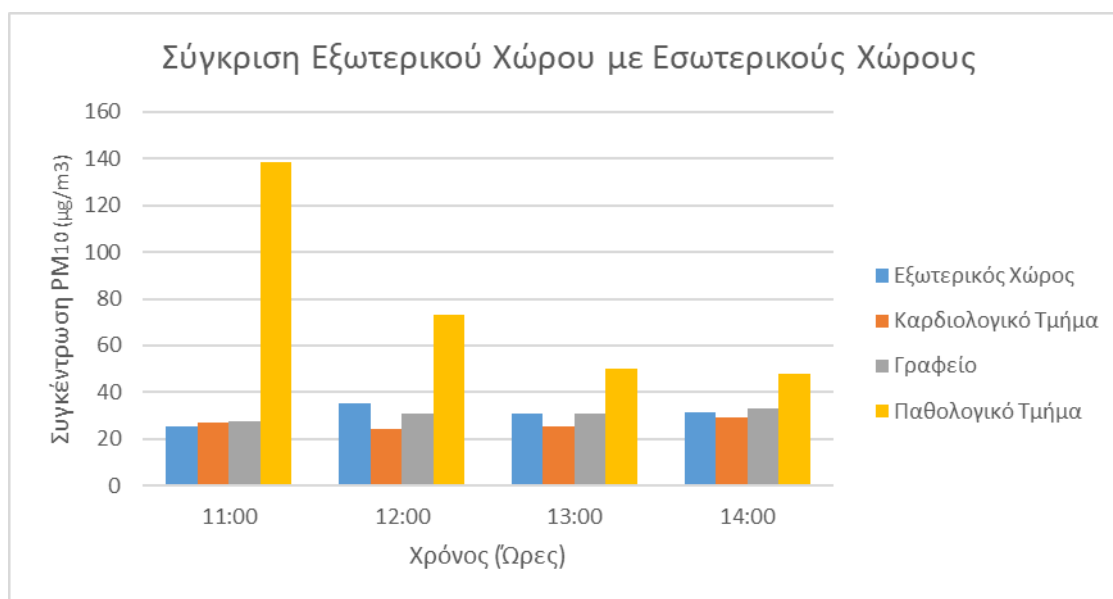


Γράφημα 14. Ραβδόγραμμα Μέσης Εξωτερικής Ωριαίας Συγκέντρωσης.

Από τα γραφήματα 13 και 14 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις και για τις τρεις ημέρες έχουν σχεδόν ίδια διακύμανση γι' αυτό το λόγο συμπεραίνεται ότι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στον εξωτερικό χώρο είναι σταθερή και κυμαίνεται από 20 έως 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίνακας 7. Παρουσιάζεται η σύγκριση μέσης ωριαίας Συγκέντρωσης Εξωτερικού και Εσωτερικών Χώρων.

Ωρες	Μέση Συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g/m^3$)			
	Εξωτερικός Χώρος	Καρδιολογικό Τμήμα	Γραφείο	Παθολογικό Τμήμα
11:00	25,62	27,30	27,37	138,49
12:00	35,27	24,11	30,71	73,14
13:00	30,98	25,18	30,98	50,29
14:00	31,63	29,02	32,85	47,64



Γράφημα 15. Σύγκριση Εξωτερικού Χώρου με Εσωτερικούς Χώρους.

Σύμφωνα με το Γράφημα 15 συγκρίνονται οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για τις ώρες 11:00 π.μ. - 14:00μ.μ. για όλους τους χώρους. Η σύγκριση αυτή δεν είναι άμεση μιας και οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές ημερολογιακές ημέρες, καθώς και το πλήθος των μετρήσεων είναι διαφορετικό για κάθε χώρο. Παρατηρείται ότι στο Παθολογικό Τμήμα η συγκέντρωση των ΑΣ είναι μεγαλύτερη ακόμα και στον εξωτερικό χώρο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο πλήθος των ατόμων στο χώρο, τις επισκέψεις ανθρώπων στο χώρο (γιατρών, νοσηλευτικό προσωπικό, συγγενείς, προσωπικό καθαριότητας), το ξεσκόνισμα, το σφουγγάρισμα και την αλλαγή των κλινοσκεπασμάτων, καθώς και τα συστήματα θέρμανσης ή και τα ιατρικά μηχανήματα που υπάρχουν στο χώρο.

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτελέσματα του μοντέλου ExDoM2

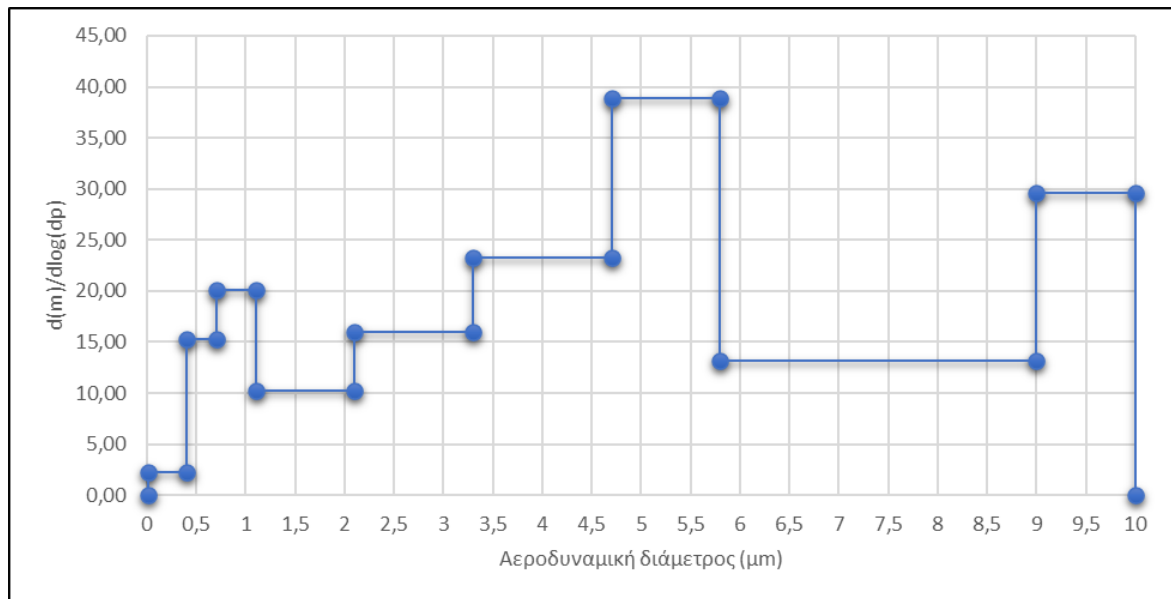
Για την λειτουργία του μοντέλου ExDoM2 ως δεδομένα θα εισαχθούν οι αντίστοιχες τιμές της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων ΑΣ που πάρθηκαν από το όργανο Dustrak καθ' όλη την διάρκεια της δειγματοληψίας στους νοσοκομειακούς χώρους. Καθώς και τα πειραματικά δεδομένα κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων από τον δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen που δόθηκαν από το Πολυτεχνείου Κρήτης.

Πίνακας 8: Παρουσιάζονται τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια της αεροδυναμικής διαμέτρου των διαφορετικών σταδίων του δειγματολήπτη πρόσκρουσης Andersen.

Στάδιο	Κατώ όριο [μm]	Άνω όριο [μm]	MEANCUTOFFS [μm]
0	9	10	9,49
1	5,8	9	7,22
2	4,7	5,8	5,22
3	3,3	4,7	3,94
4	2,1	3,3	2,63
5	1,1	2,1	1,52
6	0,7	1,1	0,88
7	0,4	0,7	0,53
Backup	0,01	0,4	0,06

Πίνακας 9: Παρουσιάζεται η συγκέντρωση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.

Συγκέντρωση ΑΣ	$d(\mu)/d\log(dp)$
[$\mu g/m^3$]	[$\mu g/m^3$]
1,354	29,5917
2,5106	13,1574
3,5544	38,9177
3,5826	23,3265
3,1312	15,9516
2,8773	10,246
3,9352	20,0473
3,7236	15,3211
3,639	2,2714



Γράφημα 16: Απεικόνιση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων όπως προκύπτει από τα δεδομένα του προσκρουστήρα Andersen.

Οι βασικοί παράμετροι που πρέπει να λάβουμε υπόψιν είναι οι διαφορετικοί χώροι του νοσοκομείου, η δραστηριότητα των εκτιθέμενων ατόμων κατά την διάρκεια της ημέρας, καθώς και αν το νοσοκομείο εφημέρευε.

Βασικοί παράμετροι:

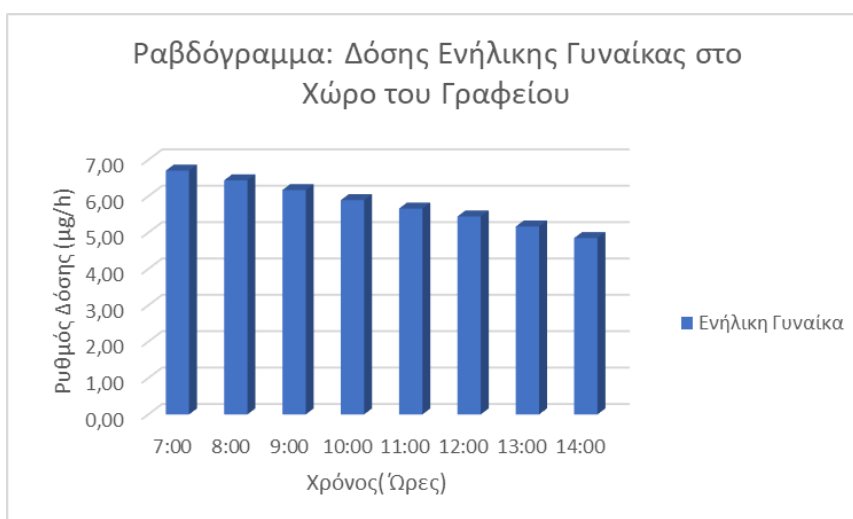
1. Χώρος Νοσοκομείου
 - i) Γραφείο νοσηλευτικής υπηρεσίας
 - ii) Παθολογικό Τμήμα
 - iii) Έκτακτό Καρδιολογικό Τμήμα
2. Δραστηριότητα Εκτιθέμενου ατόμου, όπως αναγνωρίζεται από το μοντέλο ExDoM2
 - i) Ύπνος (Activity 1: Sleep)
 - ii) Κάθισμα – Χωρίς Άσκηση (Activity 2: Sitting)
 - iii) Ελαφριά Άσκηση (Activity 3: Light Exercise)
 - iv) Έντονη Άσκηση (Activity 4: Heavy Exercise)

Επομένως, θα μελετήσουμε τον ρυθμό δόσης ως προς τον εκτιθέμενο άνθρωπο με υποθετικά σενάρια λαμβάνοντας υπόψιν τις βασικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν.

4.1 Γραφείο Νοσηλευτικής Υπηρεσίας- Δραστηριότητα :Κάθισμα – Χωρίς Άσκηση (Activity 2: Sitting)

Στο 1^ο Σενάριο θα μελετήσουμε την δόση για το χώρο του γραφείου, όπου καθημερινά εργάζονται 8 ώρες (7:00 π.μ. - 15:00 μ.μ.) τρεις ενήλικες γυναίκες. Το σενάριο που θα τρέξουμε στο μοντέλο ExDoM2 αφορά μια ενήλικη γυναίκα κατά το οκτάωρο εργασίας της και την δραστηριότητα νούμερο 2- κάθισμα/χωρίς άσκηση στο χώρο του γραφείου.

Με τη βοήθεια του Γραφήματος 17 παρατηρείται ότι ο ρυθμός της προσλαμβανόμενης δόσης, μιας ενήλικης γυναίκας, καθ' όλη τη διάρκεια του οκτάωρου εργασίας παραμένει σχεδόν σταθερός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δραστηριότητα είναι κάθισμα/χωρίς άσκηση και στο χώρο δεν έχουμε διέλευση άλλου προσωπικού. Για την εύρεση της συνολικής δόσης έγινε άθροιση των τιμών για κάθε ώρα, έτσι υπολογίστηκε ως συνολική δόση η τιμή 46,32 $\mu\text{g}/\text{h}$.

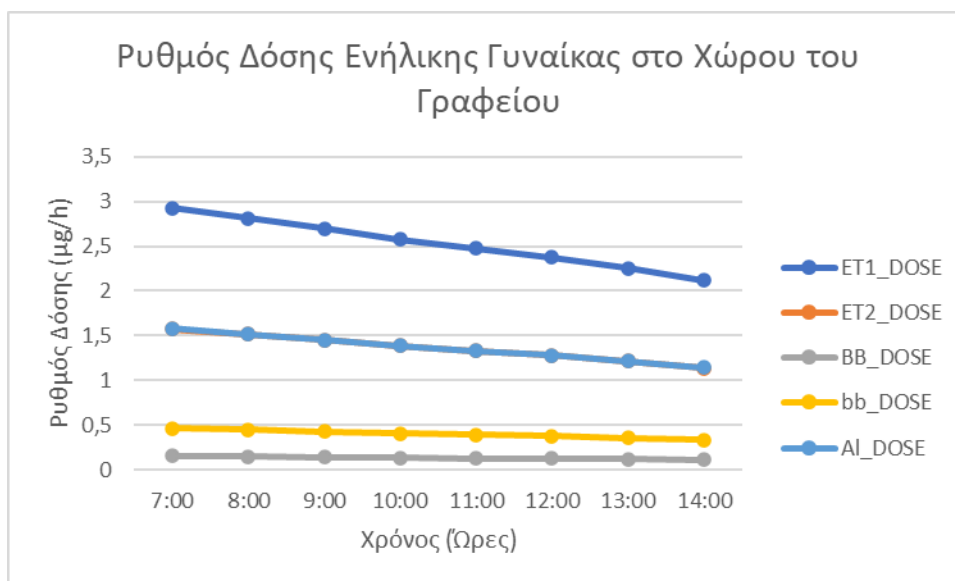


Γράφημα 17. Ραβδόγραμμα Δόσης Ενήλικης Γυναίκας στο χώρο του Γραφείου.

Σύμφωνα με το Γράφημα 18 που ακολουθεί φαίνεται ο ρυθμός εναποτιθέμενης δόσης των σωματιδίων για κάθε περιοχή του αναπνευστικού ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης. Η εναποτιθέμενη δόση είναι μεγαλύτερη στις εκτός θωρακικές περιοχές (στην πρόσθια και ύστερη ρινική κοιλότητα (ET1, ET2)) που είναι λογικό αφού είναι η κύρια είσοδος των αιωρούμενων σωματιδίων. Όμως παρατηρούμε ότι στις θωρακικές περιοχές και συγκεκριμένα την περιοχή των κυψελίδων (Al), ο ρυθμός δόσης είναι σχεδόν ίδιος με την ύστερη ρινική κοιλότητα (ET2_DOSE), όπου στο διάγραμμα ταυτίζονται (βλ. Πίνακα 10). Σ 'αυτή την περιοχή εναποτίθενται τα αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles), όπου η διάμετρος τους είναι μικρότερη των 2,5μm και διεισδύουν έως το κατώτερο αναπνευστικό σύστημα δηλαδή τους πνεύμονες.

Πίνακας 10: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ExDoM2 για 1ο Σενάριο.

Ωράριο Εργασίας	ET1_DOSE	ET2_DOSE	BB_DOSE	bb_DOSE	Al_DOSE	TOTAL
7:00	2,93	1,58	0,15	0,47	1,58	6,70
8:00	2,81	1,51	0,15	0,45	1,52	6,44
9:00	2,69	1,45	0,14	0,43	1,45	6,17
10:00	2,57	1,39	0,14	0,41	1,39	5,89
11:00	2,47	1,33	0,13	0,39	1,33	5,66
12:00	2,38	1,28	0,13	0,38	1,28	5,44
13:00	2,26	1,22	0,12	0,36	1,22	5,17
14:00	2,12	1,14	0,11	0,34	1,14	4,85
					Συν.δόση	46,32μg



Γράφημα 18. Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικης γυναίκας στο χώρο του γραφείου.

4.2 Παθολογικό Τμήμα Χωρίς Εφημερία- Δραστηριότητα :Κάθισμα – Χωρίς Άσκηση (Activity 2: Sitting) & Ύπνος (Activity 1: Sleep)

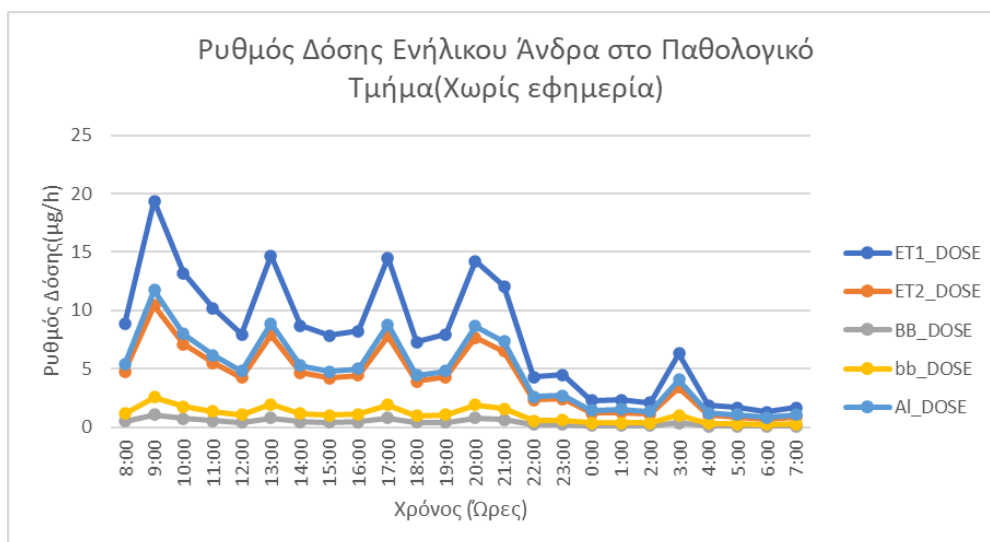
Στο 2^ο Σενάριο θα μελετήσουμε την δόση στο χώρο του Παθολογικού τμήματος για μια μέρα όπου το τμήμα δεν εφημέρευε και συγκεκριμένα στις 22 Δεκεμβρίου, όπου στο χώρο νοσηλευόταν ένα άτομο. Οι δραστηριότητες που λάβαμε υπόψιν είναι ότι τις πρωινές ώρες 8:00 π.μ. - 00:00 π.μ., όταν το άτομο καθόταν και δεν υπήρχε άσκηση και από τις 00:00 μ.μ. - 7:00 π.μ., όταν το άτομο κοιμόταν (δραστηριότητα νούμερο 1-Ύπνος).

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στο 3^ο Κεφάλαιο, τις ώρες όπου οι ασθενείς γευμάτιζαν και αεριζόταν ο χώρος, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν μεγαλύτερη. Αυτό διαπιστώνεται και από το Γράφημα 19, όπου ο συνολικός ρυθμός δόσης είναι μεγαλύτερος στις 9:00 π.μ., στις 13:00 μ.μ. και από τις 20:00 μ.μ., όπου λαμβάνεται το τελευταίο γεύμα και γίνεται η επίσκεψη των γιατρών μέχρι τις 00:00 π.μ., όπου όλοι οι ασθενείς κοιμούνται και δεν υπάρχει κίνηση στο χώρο.



Γράφημα 19. Ραβδόγραμμα δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος χωρίς εφημερία.

Στο Γράφημα 20 φαίνεται ο ρυθμός εναποτιθέμενης δόσης των σωματιδίων για κάθε περιοχή του αναπνευστικού ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης. Όπως και στο χώρο του γραφείου η εναποτιθέμενη δόση είναι μεγαλύτερη στις εκτός θωρακικές περιοχές (στην πρόσθια και ύστερη ρινική κοιλότητα (ET1, ET2), μιας και είναι η κύρια είσοδος των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 8) και σχεδόν ίδιες πάλι τιμές συναντάμε μεταξύ της ύστερη ρινική κοιλότητα (ET2_DOSE) με την περιοχή των κυψελίδων(AI) . Η συνολική τιμή της δόση που υπολογίστηκε για έναν ενήλικα άνδρα για 24 ώρες σε ένα τετράκλινο δωμάτιο του Παθολογικού Τμήματος είναι 428,61 μg. (Πίνακας 11)



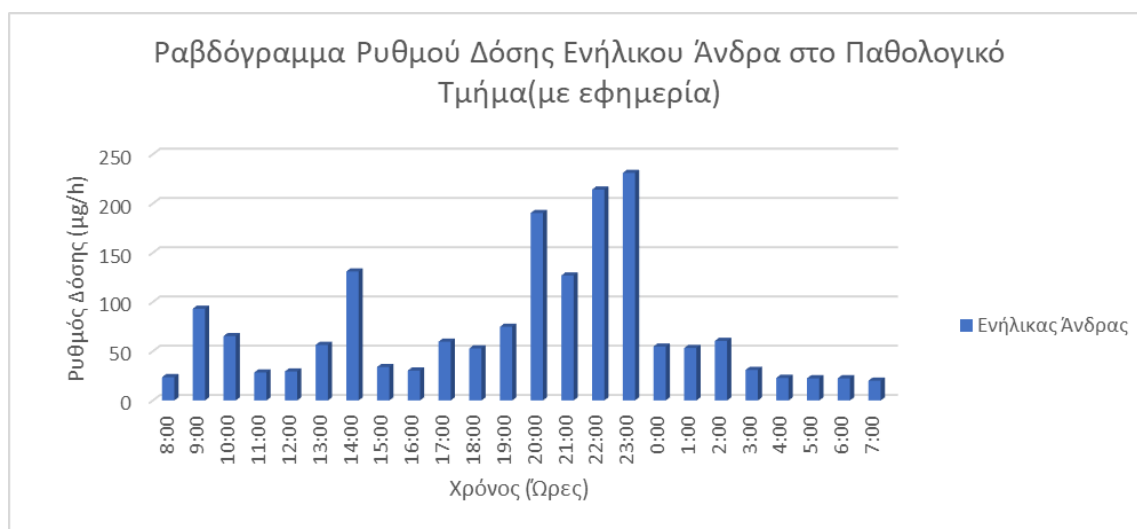
Γράφημα 20. Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος χωρίς Εφημερία.

Πίνακας 11: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ExDom2 για 2ο Σενάριο.

	ET1_DOSE	ET2_DOSE	BB_DOSE	bb_DOSE	AI_DOSE	TOTAL
Ωρες						
8:00	8,86	4,77	0,48	1,17	5,37	20,65
9:00	19,37	10,43	1,05	2,57	11,75	45,17
10:00	13,18	7,10	0,71	1,75	7,99	30,72
11:00	10,19	5,49	0,55	1,35	6,18	23,77
12:00	7,93	4,27	0,43	1,05	4,81	18,48
13:00	14,67	7,90	0,79	1,94	8,90	34,21
14:00	8,71	4,69	0,47	1,15	5,28	20,31
15:00	7,84	4,22	0,42	1,04	4,75	18,27
16:00	8,24	4,43	0,45	1,09	5,00	19,20
17:00	14,49	7,80	0,78	1,92	8,79	33,79
18:00	7,30	3,93	0,39	0,97	4,43	17,02
19:00	7,95	4,28	0,43	1,05	4,82	18,53
20:00	14,22	7,66	0,77	1,88	8,63	33,16
21:00	12,07	6,50	0,65	1,60	7,32	28,14
22:00	4,28	2,31	0,23	0,57	2,60	9,99
23:00	4,48	2,41	0,24	0,59	2,72	10,45
0:00	2,27	1,22	0,13	0,37	1,46	5,44
1:00	2,35	1,27	0,13	0,38	1,51	5,64
2:00	2,07	1,12	0,12	0,34	1,33	4,98
3:00	6,30	3,39	0,35	1,03	4,05	15,13
4:00	1,87	1,01	0,10	0,31	1,20	4,49
5:00	1,66	0,89	0,09	0,27	1,07	3,98
6:00	1,30	0,70	0,07	0,21	0,83	3,11
7:00	1,66	0,89	0,09	0,27	1,07	3,98
					Συν. Δόση	428,61μg

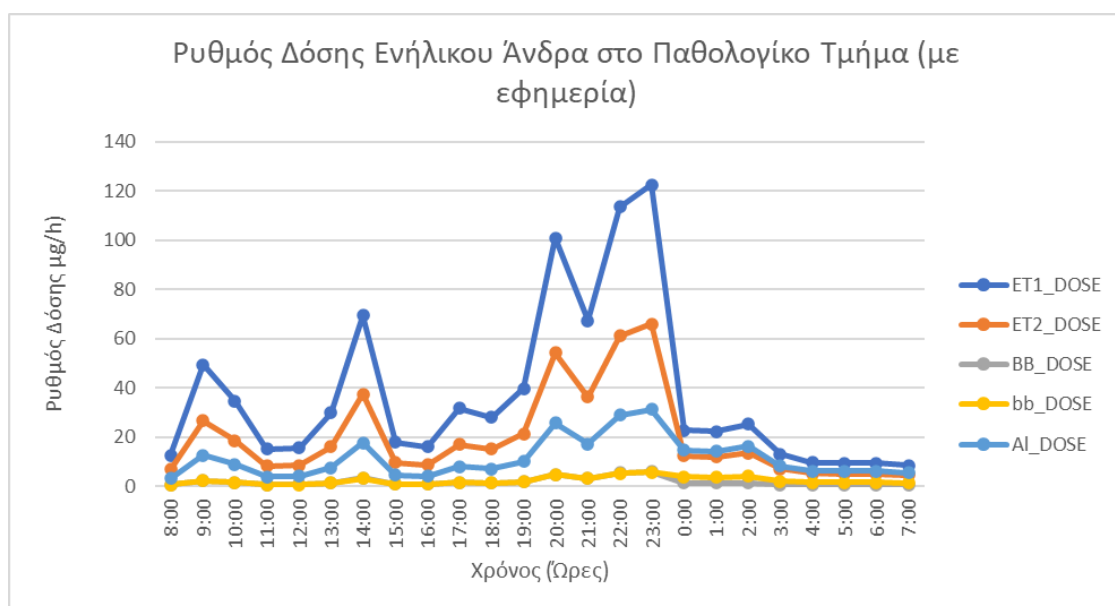
4.3 Παθολογικό Τμήμα με Εφημερία- Δραστηριότητα : Ελαφριά Άσκηση (Activity 3: Light Exercise) & Ύπνος (Activity 1: Sleep)

Στο 3^ο Σενάριο θα μελετήσουμε την δόση στο χώρο του Παθολογικού τμήματος την ημέρα που εφημέρευε και συγκεκριμένα 15 Δεκεμβρίου, όπου στο δωμάτιο νοσηλεύονταν 3 άτομα. Η βασική παράμετρος που θα αλλάξει θα είναι κατά τις πρωινές ώρες, 7:00 π.μ.- 20:00 μ.μ., όπου η δραστηριότητα θα είναι η νούμερο 3- Ελαφριά Άσκηση. Για την επιλογή της δραστηριότητας λάβαμε υπόψιν ότι την ημέρα της γενικής εφημερίας γίνονται πιο τακτικές επισκέψεις ιατρικού προσωπικού, καθώς και επιπλέον εξετάσεις στους ασθενείς (φεύγουν και ξανά έρχονται στο χώρο) και τέλος εκείνη την ημέρα έγινε και εισαγωγή ασθενούς. Ο συνολικός ρυθμός δόσης είναι 1729,21 μg για έναν ενήλικα άνδρα. (Πίνακας 12)



Γράφημα 21. Ραβδόγραμμα δόσης ενήλικου άνδρα στο χώρο του Παθολογικού Τμήματος με εφημερία.

Στο Γράφημα 22 απεικονίζεται ο ρυθμός εναποτιθέμενης δόσης των σωματιδίων για κάθε περιοχή του αναπνευστικού ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου έκθεσης. Παρατηρείται ότι και εδώ η εναποτιθέμενη δόση είναι μεγαλύτερη στις εκτός θωρακικές περιοχές (στην πρόσθια και ύστερη ρινική κοιλότητα (ET1, ET2)).



Γράφημα 22. Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο Παθολογικό τμήμα με εφημερία.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα ExDom2 για 3ο Σενάριο.

Ωρες	ET1_DOSE	ET2_DOSE	BB_DOSE	bb_DOSE	AI_DOSE	TOTAL
8:00	12,54	6,75	0,60	0,58	3,20	23,66
9:00	49,38	26,59	2,35	2,28	12,60	93,20
10:00	34,62	18,64	1,64	1,60	8,84	65,35
11:00	15,06	8,11	0,72	0,70	3,84	28,42
12:00	15,62	8,41	0,74	0,72	3,99	29,47
13:00	29,90	16,10	1,42	1,38	7,63	56,43
14:00	69,41	37,38	3,30	3,21	17,72	131,01
15:00	17,98	9,68	0,85	0,83	4,59	33,93
16:00	16,09	8,66	0,76	0,74	4,11	30,37
17:00	31,61	17,02	1,50	1,46	8,07	59,67
18:00	27,98	15,07	1,33	1,29	7,14	52,81
19:00	39,64	21,34	1,88	1,83	10,12	74,82
20:00	100,85	54,30	4,79	4,66	25,74	190,34
21:00	67,24	36,20	3,19	3,10	17,16	126,90
22:00	113,45	61,09	5,39	5,24	28,96	214,13
23:00	122,43	65,92	5,82	5,65	31,25	231,06
0:00	22,81	12,28	1,27	3,73	14,67	54,75
1:00	22,18	11,94	1,23	3,63	14,26	53,25
2:00	25,20	13,57	1,40	4,12	16,20	60,49
3:00	12,94	6,97	0,72	2,12	8,32	31,06
4:00	9,55	5,14	0,53	1,56	6,14	22,93

5:00	9,38	5,05	0,52	1,53	6,03	22,51
6:00	9,38	5,05	0,52	1,53	6,03	22,51
7:00	8,39	4,52	0,47	1,37	5,39	20,14
						1729,21 μg

4.4 Εκτακτό Καρδιολογικό Τμήμα με Εφημερία- Δραστηριότητα : Ελαφριά Άσκηση (Activity 3: Light Exercise)

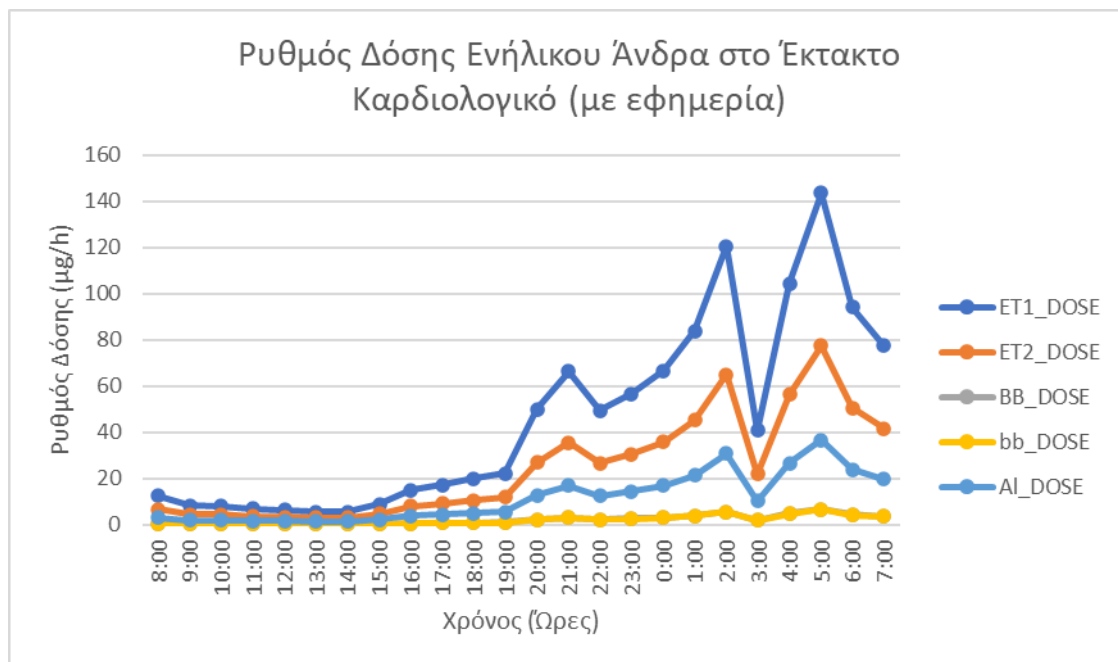
Στο 4^ο Σενάριο θα μελετήσουμε την δόση στο χώρο του Καρδιολογικού τμήματος την ημέρα που εφημέρευε, δηλαδή από την ημερομηνία 31/12/2019 από τις 8:00 π.μ. έως την επόμενη ημέρα 1/1/2020 μέχρι τις 8:00 π.μ..

Στο Γράφημα 23 παρουσιάζεται ο συνολικός ρυθμός δόσης για 24ώρες στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα. Παρατηρείται ότι τις πρωινές ώρες από τις 8:00 π.μ. έως τις 15:00 μ.μ. το μεσημέρι δεν υπάρχουν περιστατικά, επομένως ο συνολικός ρυθμός δόσης είναι πολύ χαμηλός. Αντίθετα, τις βραδινές ώρες το τμήμα είχε αρκετή κίνηση. Σύμφωνα με το μοντέλο ExDoM2 υπολογίσαμε τη συνολική δόση που έλαβε ένας ενήλικας άνδρας στις τρεις βάρδιες του τμήματος. Συγκεκριμένα, στην πρωινή βάρδια η συνολική δόση υπολογίστηκε ίση με 118,01 μg , στη δεύτερη βάρδια ίση με 689,14 μg και την τρίτη βάρδια ίση με 1381,18 μg . (Πίνακας 13)



Γράφημα 23. Ραβδόγραμμα Δόσης ενήλικου άνδρα στο Έκτακτο Καρδιολογικό Τμήμα με Εφημερία.

Στο Γράφημα 24 παρουσιάζεται ο ρυθμός δόσης για τις πέντε περιοχές του αναπνευστικού συστήματος. Η εναποτιθέμενη δόση, και εδώ, είναι μεγαλύτερη στις εκτός θωρακικές περιοχές (στην πρόσθια και ύστερη ρινική κοιλότητα (ET1, ET2)).



Γράφημα 24. Διάγραμμα ρυθμού δόσης ενήλικου άνδρα στο Έκτακτο Καρδιολογικό τμήμα με εφημερία.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα ExDom2 για 4ο Σενάριο.

Ώρες	ET1_DOSE	ET2_DOSE	BB_DOSE	bb_DOSE	AI_DOSE	TOTAL
8:00	12,50	6,73	0,59	0,58	3,19	23,60
9:00	8,30	4,47	0,39	0,38	2,12	15,66
10:00	8,19	4,41	0,39	0,38	2,09	15,46
11:00	7,06	3,80	0,34	0,33	1,80	13,32
12:00	6,38	3,43	0,30	0,29	1,63	12,04
13:00	5,70	3,07	0,27	0,26	1,45	10,76
14:00	5,55	2,99	0,26	0,26	1,42	10,48
15:00	8,84	4,76	0,42	0,41	2,26	16,69
16:00	14,94	8,04	0,71	0,69	3,81	28,19
17:00	17,36	9,35	0,82	0,80	4,43	32,76
18:00	19,96	10,75	0,95	0,92	5,09	37,66
19:00	22,23	11,97	1,06	1,03	5,67	41,95
20:00	49,97	26,91	2,37	2,31	12,75	94,31
21:00	66,26	35,68	3,15	3,06	16,91	125,06
22:00	49,44	26,62	2,35	2,28	12,62	93,31
23:00	56,82	30,59	2,70	2,62	14,50	107,23
0:00	66,59	35,85	3,16	3,07	16,99	125,67
1:00	84,00	45,23	3,99	3,88	21,44	158,54
2:00	120,52	64,90	5,72	5,57	30,76	227,47
3:00	40,78	21,96	1,94	1,88	10,41	76,97
4:00	104,56	56,30	4,97	4,83	26,69	197,33
5:00	143,67	77,36	6,82	6,63	36,67	271,17
6:00	94,12	50,68	4,47	4,35	24,02	177,64
7:00	77,56	41,77	3,68	3,58	19,80	146,39

Κεφάλαιο 5ο : Στατιστική ανάλυση δεδομένων με χρήση του προγράμματος SPSS.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ερευνητικές υποθέσεις, καθώς και η μεθοδολογία προσέγγισης του δείγματος της παρούσας μελέτης για τους τρεις χώρου του νοσοκομείου και τον εξωτερικό χώρο με την χρήση του προγράμματος SPSS (Superior Performance Software System).

5.1 Περιγραφή και λειτουργία SPSS.

Το SPSS αποτελείται από τέσσερα προγράμματα: το Statistics Program, το οποίο παρέχει διάφορες στατιστικές λειτουργίες, το Modeler Program, μέσω του οποίου δημιουργούνται προγνωστικά μοντέλα, τα Text Analytics για έρευνες και το Visualization Designer, το οποίο βοηθά στην οπτική απεικόνιση των δεδομένων. Οι τρεις κύριες λειτουργίες του είναι η στατιστική ανάλυση των δεδομένων, η μοντελοποίηση τους και η οπτικοποίηση τους.

5.2 Ερευνητικές υποθέσεις και στόχοι τους.

Με το πρόγραμμα SPSS θα μελετήσουμε τρεις υποθέσεις. Στόχος αυτών είναι να δούμε σε ποιο χώρο του νοσοκομείου έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων και για ποιους λόγους.

Οι στόχοι της παρούσας έρευνας είναι η σύγκριση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων:

1. Για τις ώρες που είχε εφημερία το νοσοκομείο σε σχέση με τις ώρες που δεν είχε.
2. Στους τέσσερις διαφορετικούς νοσοκομειακούς χώρους που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.
3. Κατά την διάρκεια εργασίας του προσωπικού στο γραφείο σε σύγκριση με το χρονικό διάστημα που το γραφείο ήταν κλειστό.

5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση

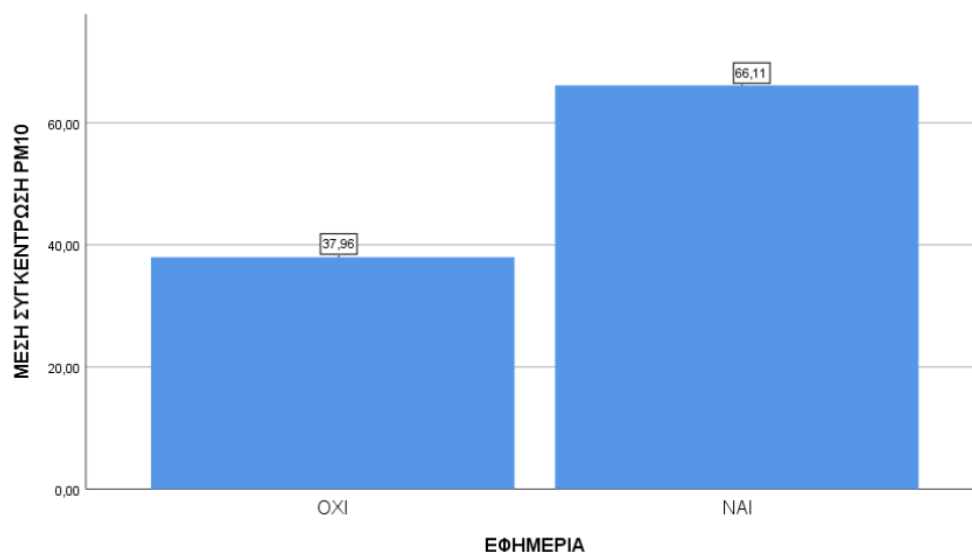
Σε πρώτη φάση, πραγματοποιήθηκε κωδικοποίηση των αποτελεσμάτων με τη χρήση του προγράμματος SPSS (version 26). Πραγματοποιείται, ο έλεγχος των μέσων ωρών με το κριτήριο t όταν πρόκειται για δυο ανεξάρτητα δείγματα και one way ANOVA για τρία και πάνω ανεξάρτητα δείγματα. Ο έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς μεταξύ των συγκρινόμενων δειγμάτων γίνεται με το Levene test.

Αν η F-τιμή του Levene test είναι στατιστικώς σημαντική («Sig.» < 0,050), αυτό σημαίνει ότι τα δείγματα είναι ανομοιογενή. Υπολογίζονται δύο τιμές, μία t-τιμή για την περίπτωση που τα δείγματα είναι ομοιογενή («Equal variances assumed») και μία t-τιμή για την περίπτωση που τα δείγματα είναι ανομοιογενή («Equal variances not assumed»).

Στην συνέχεια εξετάζουμε αν μπορούμε να απορρίψουμε την Μηδενική Υπόθεση («Sig.2 tailed » < 0,050), που σημαίνει ότι τα δείγματα έχουν στατιστικά σημαντική διάφορα.

5.4 Σύγκριση τις συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για τις ώρες που είχε εφημερία το νοσοκομείο σε σχέση με τις ώρες που δεν είχε.

Προκειμένου να προχωρήσουμε στη σύγκριση των μετρήσεων ανάμεσα στις τιμές των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος και του Καρδιολογικού τμήματος κατά την διάρκεια εφημερίας ή όχι εφημερίας, δηλαδή, για να ελέγξουμε αν υπάρχει διάφορα στην συνολική συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων για τους δύο χώρους, υπολογίσαμε τις μέσες τιμές (και την τυπική απόκλιση) των μετρήσεων.



Γράφημα 25. Μέση τιμή των ΑΣ κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.

Πίνακας 14: Μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.

ΕΦΗΜΕΡΙΑ	N	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Τυπικό σφάλμα
ΟΧΙ	122	37,96	31,64	2,86
ΝΑΙ	238	66,11	57,35	3,72

Για να εξετάσουμε εάν οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των μέσων όρων με το κριτήριο t για ανεξάρτητα δείγματα. Ο έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς μεταξύ των συγκρινόμενων δειγμάτων γίνεται με το Levene test. (Πίνακας 15)

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη εφημερίας δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη εφημερίας διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Πίνακας 15: Αποτελέσματα σύγκρισης της μέσης τιμής των ΑΣ κατά την διάρκεια εφημερίας ή μη του νοσοκομείου.

	Levene's Test της ομοιογένειας της διασποράς		t-test για την ισότητα των μέσων						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Διαφορά μέσης τιμής	Διαφορά τυπικού σφάλματος	95% Διάστημα εμπιστοσύνης για την διαφορά	
								Ελάχιστο	Μέγιστο
δείγματα ομοιογενή	29,87	0,00	-5,04	358	0,00	-28,14	5,59	-39,13	-17,16
δείγματα ανομοιογενή			-5,99	356,09	0,00	-28,14	4,69	-37,37	-18,92

Ο έλεγχος των μέσων όρων με το κριτήριο t για ανεξάρτητα δείγματα ($\text{Sig}=0,000 < \alpha=0,05$, οπότε μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση) έδειξε ότι έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια της εφημερίας του νοσοκομείου σε σχέση με όταν δεν έχει εφημερία σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$.

5.5 Σύγκριση ΑΣ στους διάφορους νοσοκομειακούς χώρους

Προκειμένου να προχωρήσουμε στη σύγκριση των μετρήσεων ανάμεσα στους νοσοκομειακούς χώρους (Γραφείο, Παθολογικό Τμήμα, Έκτακτο Καρδιολογικό, Εξωτερικός χώρος) υπολογίζουμε τους μέσους όρους, καθώς και την τυπική απόκλιση των υπό διερεύνηση μετρήσεων (Πίνακας 16) και παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορές στους μέσους όρους τους.

Πίνακας 16. Παρουσιάζονται τα μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων στους νοσοκομειακούς χώρους.

Νοσοκομειακός χώρος	Πλήθος μετρήσεων (N)	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Τυπικό σφάλμα	95% Διάστημα εμπιστοσύνης για την μέση τιμή		Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
					Ελάχιστο άκρο	Μέγιστο άκρο		
Γραφείο	188	30,62	12,45	0,901	28,84	32,42	4,16	66,66
Καρδιολογική	72	24,43	21,44	2,53	19,40	29,47	4,89	132,16
Παθολογική	288	64,60	54,06	3,19	58,33	70,87	6,45	291,23
Εξωτερικός χώρος	12	31,50	9,08	2,62	25,73	37,28	17,65	44,68
Total	560	47,32	43,96	1,86	43,67	50,97	4,16	291,23

- Στο γραφείο η μέση τιμή των ΑΣ ήταν 30,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Τ.Α. 12,45),
- Στο καρδιολογικό τμήμα η μέση τιμή των ΑΣ ήταν 24,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Τ.Α. 21,44),
- Στο Παθολογικό τμήμα η μέση τιμή των ΑΣ ήταν 64,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Τ.Α. 54,06), και
- Η εξωτερική μέτρηση η μέση τιμή των ΑΣ ήταν 31,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Τ.Α. 9,08).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέσων ορών με one way ANOVA για τις παρακάτω υποθέσεις και καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$. (Πίνακας 17)

Πίνακας 17. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης της μέσης τιμής των ΑΣ στους νοσοκομειακούς χώρους.

(I) Νοσοκομειακός χώρος	(J) Νοσοκομειακός χώρος	Διαφορά μέσου όρου (I-J)	Τυπικό σφάλμα	Sig.	95% Διάστημα εμπιστοσύνης	
					Ελάχιστο άκρο	Μέγιστο άκρο
Γραφείο	Καρδιολογικό	6,19	5,58	0,68	-8,189	20,57
	Παθολογικό	-33,97*	3,78	0,00	-43,70	-24,25

	Εξωτερικός χώρος	-0,88	11,99	1,00	-31,77	30,01
Καρδιολογικό	Γραφείο	-6,19	5,58	0,68	-20,57	8,19
	Παθολογικό	-40,17*	5,31	0,00	-53,84	-26,50
	Εξωτερικός χώρος	-7,07	12,56	0,94	-39,42	25,28
Παθολογικό	Γραφείο	33,98*	3,76	0,00	24,28	43,70
	Καρδιολογικό	40,17*	5,30	0,00	26,50	53,84
	Εξωτερικός χώρος	33,10*	11,86	0,03	2,53	63,67
Εξωτερικός χώρος	Γραφείο	0,88	11,99	1,00	-30,01	31,77
	Καρδιολογικό	7,07	12,56	0,94	-25,28	39,42
	Παθολογικό	-33,10*	11,86	0,02	-63,67	-2,53

*. Η διαφορά μέσης τιμής είναι σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 0.05.

5.5.1 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με το Γραφείο

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με το Γραφείο δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με το Γραφείο διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Το $\text{Sig} = 0 < \alpha = 0,05$, οπότε δεν μπορούμε να αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ είναι μεγαλύτερη του Παθολογικού τμήματος σε σχέση με το Γραφείο.

5.5.2 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με το έκτακτο Καρδιολογικό.

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με το Καρδιολογικό τμήμα δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με το Καρδιολογικό τμήμα διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Το $\text{Sig}=0,05 < \alpha=0,05$, οπότε δεν μπορούμε να αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$ είναι μεγαλύτερα στην Παθολογική κλινική σε σχέση με την Καρδιολογική κλινική.

5.5.3 Έλεγχος των ΑΣ του Παθολογικού τμήματος σε σύγκριση με τον Εξωτερικό χώρο

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με τον Εξωτερικό χώρο δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων του Παθολογικού τμήματος με τον Εξωτερικό χώρο διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Το $\text{Sig}=0,028 < \alpha=0,05$ οπότε δεν μπορούμε να αποδεχτούμε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$ είναι μεγαλύτερα στην Παθολογική κλινική σε σχέση με τον Εξωτερικό χώρο.

5.5.4 Έλεγχος των ΑΣ του Γραφείου σε σύγκριση με το Καρδιολογικό τμήμα

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Γραφείο με το Καρδιολογικό τμήμα δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Γραφείο με την Καρδιολογικό τμήμα διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Το $\text{Sig}=0,068 > \alpha=0,05$ οπότε αποδεχόμαστε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$ δεν διαφέρουν στο Γραφείο σε σχέση με την Καρδιολογική κλινική.

5.5.5 Έλεγχος των ΑΣ του Γραφείου σε σύγκριση με τον εξωτερικό χώρο

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Γραφείο με τον Εξωτερικό χώρο δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1=\mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Γραφείο με τον Εξωτερικό χώρο διαφέρουν $H_1: \mu_1\neq\mu_2$

Το $\text{Sig}=1>\alpha=0,05$ οπότε δεν μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$ δεν διαφέρουν στο Γραφείο με τον Εξωτερικό χώρο.

5.5.6 Έλεγχος των ΑΣ του Καρδιολογικού Τμήματος σε σύγκριση με τον εξωτερικό χώρο

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Καρδιολογικό τμήμα με τον Εξωτερικό χώρο δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1=\mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στο Καρδιολογικό τμήμα με τον Εξωτερικό χώρο διαφέρουν $H_1: \mu_1\neq\mu_2$

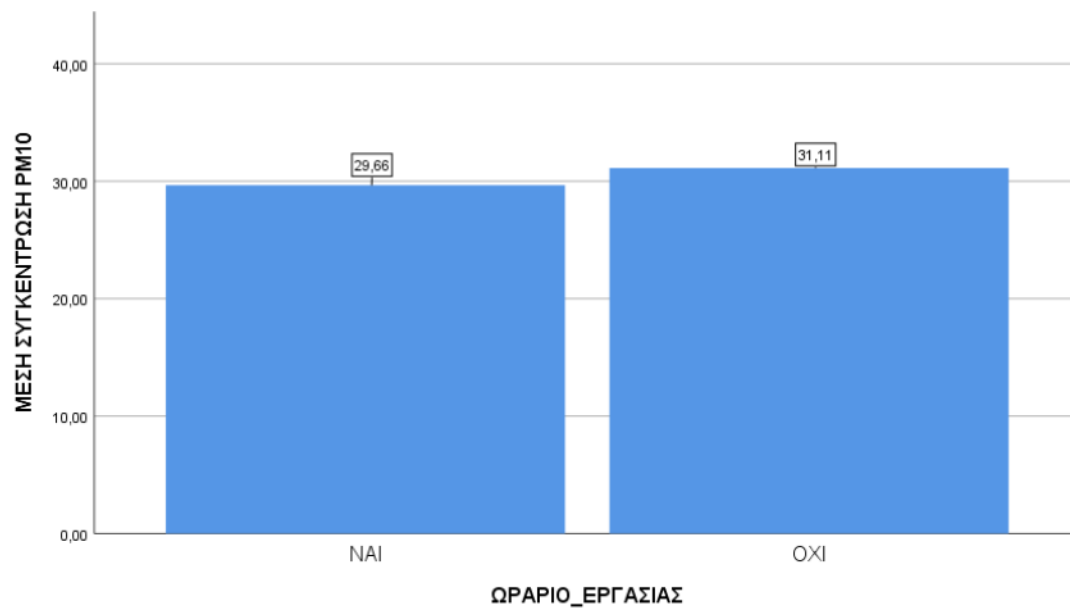
Το $\text{Sig}=0,943>\alpha=0,05$ οπότε δεν μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση άρα τα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$ δεν διαφέρουν στην Καρδιολογική κλινική με τον Εξωτερικό χώρο.

5.6 Σύγκριση ΑΣ του γραφείου κατά την διάρκεια εργασίας του προσωπικού ανάμεσα σε μη ωράριο εργασίας.

Προκειμένου να προχωρήσουμε στη σύγκριση των μετρήσεων ανάμεσα στις τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια ωραρίου του γραφείου ή μη (όταν είχε σχολάσει το προσωπικό και ήταν κλειστό) υπολογίζουμε τις μέσες τιμές (και την τυπική απόκλιση) των μετρήσεων.

Πίνακας 18. Παρουσιάζονται τα μέτρα θέσης και διασποράς των μετρήσεων στο γραφείο κατά το ωράριο λειτουργίας του και κατά την διάρκεια που ήταν κλειστό.

ΩΡΑΡΙΟ	N	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Τυπικό σφάλμα
ΝΑΙ	63	29,66	10,71	1,35
ΟΧΙ	125	31,11	13,26	1,19



Γράφημα 26. Μέση τιμή ΑΣ κατά το ωράριο λειτουργίας του γραφείου και κατά την διάρκεια που ήταν κλειστό.

Για να εξετάσουμε εάν οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των μέσων όρων με το κριτήριο t για ανεξάρτητα δείγματα. Ο έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς μεταξύ των συγκρινόμενων δειγμάτων γίνεται με το Levene test. (Πίνακας 19)

Μηδενική Υπόθεση (H_0): Τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια λειτουργίας του γραφείου ή μη λειτουργίας του δεν διαφέρουν $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική Υπόθεση (H_1): Τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια λειτουργίας του γραφείου ή μη λειτουργίας του διαφέρουν $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Πίνακας 19: Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης της μέσης τιμής ΑΣ κατά την διάρκεια λειτουργίας του γραφείου ή μη λειτουργίας του γραφείου.

	Levene's Test έλεγχος της ομοιογένειας της διασποράς		t-test για την ισότητα των μέσων						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Διαφορά μέσης τιμής	Διαφορά τυπικού σφάλματος	95% Διάστημα εμπιστοσύνης για την διαφορά	
								Ελάχιστο	Μέγιστο
δείγματα ομοιογενή	6,72	0,01	-0,75	186	0,45	-1,45	1,93	-5,25	2,35
δείγματα ανομοιογενή			-0,81	150,10	0,42	-1,45	1,80	-4,99	2,10

Ο έλεγχος των μέσων όρων με το κριτήριο t για ανεξάρτητα δείγματα ($\text{Sig}=0,421 > \alpha=0,05$) έδειξε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο επίπεδο συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια λειτουργίας του γραφείου ή μη λειτουργίας του σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$, οπότε δεν μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση.

Κεφάλαιο 6^ο: Συμπεράσματα

Οι σωματιδιακοί ρύποι της ατμόσφαιρας επιδρούν αρνητικά στην υγεία των ανθρώπων. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η μελέτη της συμπεριφορά τους, καθώς και η επιρροής τους.

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης μάζας αιωρούμενων σωματιδίων σε διάφορους Νοσοκομειακούς χώρους, ο υπολογισμός της συνολικής δόσης σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό ανά χώρο μέτρησης, καθώς και η στατιστική ανάλυση του δείγματος.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων πραγματοποιήθηκε με το όργανο μέτρησης DustTrak. Ο υπολογισμός της συνολικής δόσης που εναποτίθεται στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα πραγματοποιήθηκε με ημιεμπειρικό μοντέλο ExDoM2. Για την ορθότητα και την αξιοπιστία του δείγματος μετρήσεων, μέσω πειραματικού οργάνου, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα από τον δειγματολήπτη για τους τρεις διαφορετικούς χώρους του Νοσοκομείου. Στο Γραφείο της Νοσηλευτικής Υπηρεσίας, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που κατέγραψε το DustTrak ήταν κατά το ωράριο εργασίας, όπου το γραφείο ήταν σε λειτουργία (7:00 π.μ. - 15:00 μ.μ.). Ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το Σαββατοκύριακο όπου το τμήμα ήταν κλειστό. Στο Παθολογικό τμήμα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καταγράφηκαν την ημέρα, όπου το τμήμα είχε τρία άτομα στο δωμάτιο ανάρρωσης, καθώς και μέρες όπου το Νοσοκομείο είχε γενική εφημερία. Στο Καρδιολογικό Τμήμα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις που κατέγραψε ήταν την ημέρα, όπου το τμήμα εφημέρευε και ήταν η αλλαγή του χρόνου. Η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση ήταν στο Παθολογικό Τμήμα 64,60 (μg/m³) > Γραφείο 30,62 (μg/m³) > Καρδιολογικό Τμήμα 24,43(μg/m³).

Στο 4^ο Κεφάλαιο με τη βοήθεια του μοντέλου ExDoM2 παρουσιάζονται αποτελέσματα τεσσάρων σεναρίων, όπου υπολογίζεται η δόση που εναποτίθεται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, το πρώτο σενάριο αφορά

το χώρο του γραφείου κατά το οκτάωρο εργασίας μιας ενήλικης γυναίκας. Η συνολική δόση υπολογίστηκε 46,32 μg . Το δεύτερο και τρίτο σενάριο αφορά το Παθολογικό τμήμα μια μέρα όπου το τμήμα δεν εφημέρευε και εφημέρευε. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν ήταν 428,61 μg και 1729,21 μg , αντίστοιχα για ένα ολόκληρο 24ωρο για έναν ενήλικα ασθενεί. Στο τελευταίο σενάριο παρουσιάζεται μια μέρα εφημερίας στο Καρδιολογικό τμήμα, όπου υπολογίστηκε δόση των αιωρούμενων σωματιδίων για τρεις ενήλικες άνδρες για τις τρεις βάρδιες του τμήματος. Κατά την πρωινή βάρδια η δόση που υπολογίστηκε ήταν 118,01 μg , στην απογευματινή βάρδια 686,14 μg και 1381,18 μg στην βραδινή βάρδια. Παρατηρείται ότι όσο πιο πολλά άτομα βρίσκονται στο χώρο ή κινούνται στο χώρο τόσο μεγαλύτερη είναι η δόση που προσλαμβάνει ο άνθρωπος. Ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι όσο συχνότερα κινείται το άτομο στο χώρο τόσο πιο γρήγορα και συχνότερα αναπνέει. Επομένως, θα εισέλθει στον οργανισμό του ανθρώπου μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων από την ήρεμη-καθιστή θέση.

Γίνεται αντιληπτό ότι η εναποτιθέμενη δόση είναι μεγαλύτερη στις εκτός θωρακικές περιοχές (μύτη, στόμα), μιας και είναι η κύρια είσοδος των αιωρούμενων σωματιδίων και συγκεκριμένα των χονδρόκοκκων σωματιδίων, τα οποία λόγω του μεγέθους καταλαμβάνουν μεγαλύτερη μάζα στο σύνολο των σωματιδίων, συνεπώς και μεγαλύτερη συγκέντρωση.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ερευνητικές υποθέσεις για τους τρεις εσωτερικούς χώρους και τον εξωτερικό χώρο του νοσοκομείου με την χρήση του προγράμματος SPSS (Superior Performance Software System). Με αυτή την μέθοδο, μελετήσαμε αν τα δεδομένα που λάβαμε σε ένα τόσο σύντομο χρονικό διάστημα είναι στατιστικά σημαντικά (σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%) μελετώντας 3 υποθέσεις. Ο πρώτος ερευνητικός στόχος ήταν η στατιστική σύγκριση τις συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τις ώρες, όπου το Νοσοκομείο ήταν σε εφημερία με τις ώρες όπου δεν βρισκόταν σε εφημερία. Από τον έλεγχο μέσων όρων για ανεξάρτητα δείγματα συμπεραίνουμε με το κριτήριο t έδειξε ότι έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια της εφημερίας του νοσοκομείου σε σχέση με όταν δεν έχει εφημερία. Ο κύριος λόγος που

συμβαίνει αυτό είναι η αυξημένη παρουσία ανθρώπων στους χώρους. Ένας άλλος λόγος θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ο τρόπος αναπνοής των ατόμων. Όταν βρισκόμαστε σε κατάσταση αυξημένου στρες ή το βήμα μας είναι πιο γρήγορο από ότι συνήθως ο ρυθμός αναπνοής είναι μεγαλύτερος. Η συχνότητα των εισπνοών του ανθρώπου επηρεάζει και τον όγκο των αιωρούμενων σωματιδίων που εισέρχονται στο αναπνευστικό μας σύστημα. Ο δεύτερος ερευνητικός στόχος αφορούσε την σύγκριση όλων των χώρων του Νοσοκομείου που λάβαμε μετρήσεις. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέσων ορών με one way ANOVA για τα 4 ανεξάρτητα δείγματα (σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$). Ο έλεγχος έδειξε ότι τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα άλλα τμήματα τις συναντήσαμε στο Παθολογικό Τμήμα. Οι υπόλοιποι χώροι μεταξύ τους δεν έχουν στατιστική διαφορά. Ακόμα και στην σύγκριση με τον εξωτερικό χώρο, το Παθολογικό Τμήμα σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ΑΣ. Ο τρίτος και τελευταίος ερευνητικός στόχος ήταν η σύγκριση των ΑΣ τις ώρες, όπου το Γραφείο της Νοσηλευτικής Υπηρεσίας ήταν σε λειτουργία, δηλαδή τις εργάσιμες ώρες, με τις ώρες που δεν ήταν. Σ' αυτή την περίπτωση, δεν συναντάμε στατιστική διαφορά στην σύγκριση των συγκεντρώσεων σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Με βάση τα πειραματικά δεδομένα, συμπεραίνουμε ότι ο υψηλότερος ρυθμός δόσης είναι στις εκτός θωρακικές περιοχές όπου είναι η κύρια είσοδος των αιωρούμενων σωματιδίων και συγκεκριμένα των χονδρόκοκκων σωματιδίων. Όμως στο χώρο του γραφείου και μια μέρα του παθολογικού τμήματος όπου νοσηλευόταν μόνο ένα άτομο στο χώρο και δεν υπήρχε τόση κινητικότητα στο τμήμα, παρατηρήθηκε αυξημένος ρυθμός δόσης στην κυψελιδική περιοχή. Αυτό οφείλεται στο μικρό μέγεθος των σωματιδίων (πχ. σκόνη) Στην κυψελιδική περιοχή εναποτίθενται κυρίως λεπτόκοκκα σωματίδια.

Βιβλιογραφία

- Κοπανάκης Η., 2015, Διδακτορική διατριβή: «Δυναμική των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων και μελέτη του δυναμικού πυρηνοποίησής τους στην Ανατολική Μεσόγειο».
- Λαζαρίδης Μ., 2015, “Βασικές Αρχές της Επιστήμης των Αεροζόλ”, Εκδόσεις Τζιόλα, ESNB: 9789604184767.
- Λαζαρίδης Μ., 2η Έκδοση, 2016, “Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας”, Εκδόσεις Τζιόλα., ESNB: 9789604182466.
- Χαλβατζάκη Ε., 2016, Διδακτορική διατριβή: «Έκθεση και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων από αιωρούμενα σωματίδια».
- Γεντεκάκης Ι., 2η Έκδοση, 2010, “Ατμοσφαιρική Ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος., ESNB: 9789604613946.
- Chalvatzaki E. and Lazaridis M. (2015). Development and application of a dosimetry model (ExDoM2) for calculating internal dose of specific particle bound metals in the human body. *Inhalation toxicology* 27 (6),308-320.
- Kohanski, M. A., Lo, L. J., & Waring, M. S. (2020). Review of indoor aerosol generation, transport, and control in the context of COVID-19. *International forum of allergy & rhinology*, 10(10), 1173–1179. <https://doi.org/10.1002/alr.22661>
- Kleinstreuer, C., & Zhang, Z. (2010). Airflow and particle transport in the human respiratory system. *Annual review of fluid mechanics*, 42, 301-334.
- Kulkarni, P., Baron, P. A., & Willeke, K. (Eds.). (2011). *Aerosol measurement: principles, techniques, and applications*. John Wiley & Sons.
- Hinds, W. C., & Zhu, Y. (2022). *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. John Wiley & Sons.
- Quincey, P., & Butterfield, D. (2009). Ambient air particulate matter PM10 and PM2. 5: developments in European measurement methods and legislation. *Biomarkers*, 14(sup1), 34-38.

- Wolff, H., & Perry, L. (2020). Policy monitor. Review of Environmental Economics and Policy.
- Zhang, Y. L., & Cao, F. (2015). Fine particulate matter (PM_{2.5}) in China at a city level. Scientific reports, 5(1), 1-12.
- Nazaroff, W. W. (2016). Indoor bioaerosol dynamics. Indoor Air, 26(1), 61-78.
- Xu, Z., Wu, Y., Shen, F., Chen, Q., Tan, M., & Yao, M. (2011). Bioaerosol science, technology, and engineering: past, present, and future. Aerosol Science and Technology, 45(11), 1337-1349.
- American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Standard 62.1-2010 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality»
- Indoor Air Quality and its impact on man Report no 12. Biological Particles in Indoor Environments Commission of the European Communities 1993.