



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ
PM_{2.5} ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ/ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΕ
ΗΜΙΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία
στα πλαίσια του ΜΔΕ Φυσικής Περιβάλλοντος - Μετεωρολογίας

Ψωμά Γεωργία
ΑΜ:201024

Τριμελής Επιτροπή

Κ. Χέλμης, Καθηγητής ΕΚΠΑ (επιβλέπων)

Ε. Φλόκα, Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Μ. Ασημακοπούλου, Επίκ. Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ 2013

Περιεχόμενα

1	Ρύπανση της ατμόσφαιρας	8
1.1	Εισαγωγή.....	8
1.2	Πηγές αέριας ρύπανσης.....	12
1.2.1	Πηγές εσωτερικής ρύπανσης.....	13
2	Μορφές ατμοσφαιρικών ρύπων.....	16
2.1	Αιωρούμενα σωματίδια.....	16
2.2	Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων και οι επιπτώσεις τους στην υγεία και το περιβάλλον	17
3	Πειραματική διαδικασία	20
3.1	Μεθοδολογία πειράματος και πειραματικός εξοπλισμός	21
3.2	Προσδιορισμός του OC και EC με τη μέθοδο της θερμο-οπτικής διαπερατότητας	24
3.3	Προσδιορισμός των ιόντων με μέθοδο ιοντικής χρωματογραφίας	25
4	Μετρήσεις-αποτελέσματα	28
4.1	PM _{2.5}	30
4.2	Οργανικός –Στοιχειακός άνθρακας.....	34
4.3	Ιόντα	40
4.4	Ανιόντα.....	43
4.4.1	Χλώριο.....	43
4.4.2	Φθόριο	46
4.4.3	Νιτρικά	48
4.4.4	Φωσφορικά	51
4.4.5	Θειικά	53
4.5	Κατιόντα.....	56
4.5.1	Κάλιο	56
4.5.2	Νάτριο.....	58
4.5.3	Μαγνήσιο.....	61
4.5.4	Αμμώνιο.....	63
4.5.5	Ασβέστιο.....	66
4.6	Λόγοι ιόντων	68
5	Συμπεράσματα.....	71

6	Βιβλιογραφία	73
	Ευρετήριο εικόνων	76
	Ευρετήριο πινάκων	78

Ευχαριστίες

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας υποδείχθηκε από το καθηγητή κ.Κωσταντίνο Χέλμη του ΕΚΠΑ τον οποίο ευχαριστώ θερμά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ.Θωμά Μάγγο και την Δρ.Δικαία Σαραγά από το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του ΕΚΕΦΕ ‘Δημόκριτος’ για τη συνεχή καθοδήγηση και παρακολούθηση του θέματος μου και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους κατά τη συγγραφή της πτυχιακής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύζυγο μου για τη κατανόηση και τη συμπαράσταση του καθ’όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μου μελέτης.

Περίληψη

Σήμερα η ρύπανση του αέρα εσωτερικών χώρων είναι ένα διαδεδομένο φαινόμενο και είναι γνωστό με τον όρο «νοσηρό κτίριο». Πολλά σύγχρονα κτίρια με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας φτιάχνονται έτσι ώστε να σφραγίζονται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυτό όμως έχει και ως συνέπεια να εκπέμπονται επιβλαβή αέρια από διάφορα συνθετικά υλικά και να παγιδεύονται στους ερμητικά κλειστούς χώρους.

Διεθνείς μελέτες αποδεικνύουν ότι τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι πολύ μεγαλύτερα στο εσωτερικό περιβάλλον από ότι στο εξωτερικό.

Αυτός είναι και ο λόγος που μας ώθησε να ασχοληθούμε με την επίδραση της εξωτερικής ρύπανσης στο εσωτερικό περιβάλλον ενός σπιτιού σε μία ημιαστική περιοχή της Αθήνας (Λυκόβρυση). Πιο συγκεκριμένα υπολογίσαμε το λόγο indoor/outdoor (I/O) για τη συγκέντρωση μάζας των $PM_{2.5}$ καθώς και την χημική τους σύσταση σε οργανικό-στοιχειακό άνθρακα και ιόντα. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του σπιτιού για είκοσι ημέρες. Η ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον επηρεάζεται τόσο από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σπίτι (κάπνισμα, μαγείρεμα, καθάρισμα κτλ) όσο και από εξωτερικές πηγές (καυσαέρια αυτοκινήτων, βιομηχανίες κτλ).

Abstract

Nowadays indoor air pollution is a widespread phenomenon and is known by the term “sick building”. Many modern buildings with energy saving made to be sealed from the ambient conditions. This however has the effect of emitted harmful gases from various synthetic materials and be trapped in the hermetically enclosed space.

International studies show that levels of air pollutants are much higher inside environment than abroad.

This is the reason that pushed us to deal with the impact of the external environment pollution inside a home in a suburban area of Athens (Likovrisi). More specifically, calculated the ratio indoor / outdoor (I / O) for the mass concentration of $PM_{2.5}$ and the chemical composition in an organic-elemental carbon and ions. For this reason we performed measurements on the inside and outside of the house for twenty days. The quality of air in the indoor environment is influenced by both the activities that take place inside the house (smoking, cooking, cleaning, etc.) and from external sources (automobile exhaust, industrial, etc.).

Θεωρητικό μέρος

1 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

1.1 Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι επιπτώσεις της στην υγεία των ανθρώπων αποτελούν αντικείμενο μελέτης εδώ και πολλές δεκαετίες. Τα τελευταία χρόνια αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τη μελέτη της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Αυτό οφείλεται στο ότι ο σύγχρονος άνθρωπος περνά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του σε κλειστούς χώρους.

Σύμφωνα με έρευνα που διενεργήθηκε στις ΗΠΑ οι άνθρωποι περνούν κατά μέσο όρο το 88% του χρόνου τους μέσα σε κτίρια (Jenkins et.al 1992), το 7% σε οχήματα και μόλις το 5% σε ανοιχτούς χώρους. Επιπλέον σύμφωνα με πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες η ποιότητα του αέρα στους χώρους όπου ζει και εργάζεται ο άνθρωπος επηρεάζει την υγεία του, το πρόβλημα της ρύπανσης του αέρα και των επιπτώσεων στην υγεία προσελκύει το ενδιαφέρον πολλών ανθρώπων. Είναι ένα θέμα το οποίο συζητείται ιδιαίτερα συχνά στην Ελλάδα αφού δεν περνάει σχεδόν εβδομάδα που να μη διαβάσουμε στις εφημερίδες κάτι σχετικό με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αρκεί να σκεφτούμε ότι η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας είναι μια αρκετά πυκνοκατοικημένη περιοχή των 450 km² με πληθυσμό που υπερβαίνει τα 4 εκατομμύρια άνθρωποι και ένα τεράστιο αριθμό των εγγεγραμμένων οχημάτων κυκλοφορία (πάνω από 2.5 εκατομμύρια, αυξάνεται με ρυθμό 7% ετησίως). Η πλειοψηφία αυτών των οχημάτων είναι μη-καταλυτικό (0.8 εκατ.) ή τροφοδοτείται από παλιές μηχανές ντίζελ τεχνολογίας (0.2 εκατ), (Grivas et.al 2008). Οφείλουμε να γνωρίζουμε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι αποκλειστικά ελληνικό πρόβλημα αφού κατατάσσεται ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της δημόσιας υγείας διεθνώς.

Χαρακτηριστικά, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει υπολογίσει ότι μέχρι και το 30% των ασθενειών με τον έναν ή με τον άλλο τρόπο σχετίζονται με τη ρύπανση του αέρα η οποία μπορεί να ευθύνεται μέχρι και για το 5% των θανάτων.

Η ευαισθητοποίηση στο θέμα της ποιότητας του αέρα που ζούμε και εργαζόμαστε ξεκίνησε από την Αμερική όπου το 1970 ψηφίστηκε the occupational safety and health act όταν η κοινή γνώμη ενημερώθηκε για τα εξής στατιστικά στοιχεία:

- 300.000 νέες περιπτώσεις επαγγελματικών ασθενειών.
- Εργατικά ατυχήματα υπεύθυνα για πάνω από 14.000 θανάτους.
- Περίπου 2.5 εκατομμύρια εργαζόμενοι έμειναν ανάκανοι για εργασία.
- Χάθηκαν 10 φορές περισσότερες μέρες εργασίας λόγω αδυναμίας για εργασία από όσες χάθηκαν με απεργίες.

Σήμερα στις ΗΠΑ οι δικαστικοί αγώνες είναι πολύ συνηθισμένοι για θέματα ποιότητας αέρα σε εσωτερικούς χώρους και τα πρόστιμα φθάνουν μέχρι και 200.000\$ (Moffat 1997). Επομένως είναι αναγκαία η καταγραφή των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων και των πιθανών πηγών εκπομπής τους προκειμένου να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της ποιότητας του αέρα στην ανθρώπινη υγεία.

Πολλές μελέτες έχουν γίνει κατά καιρούς για τη μελέτη τόσο της εξωτερικής όσο και της εσωτερικής ρύπανσης. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα.

Το 2001 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στη πόλη του Μιλάνο (Marcazzan et.al 2003) καθώς και την ευρύτερη περιοχή που σκοπό είχε την μελέτη των πηγών ρύπανσης καθώς και τη καταγραφή των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ και PM_{10} για μια μακρά χρονική περίοδο (ένα έτος) ώστε να υπάρξει ένας ικανοποιητικός όγκος στατιστικών δεδομένων με σκοπό να εκτιμηθεί η επίδραση των ανθρωπογενών και φυσικών πηγών στη ποιότητα του αέρα της πόλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} και $PM_{2.5}$ με εντονότερο το πρόβλημα κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης για τα PM_{10} διαπιστώθηκε ότι ήταν η σκόνη (soil dust), η κίνηση, η βιομηχανία και οι δευτερεύουσες ενώσεις (secondary compound) ενώ για τα $PM_{2.5}$ η σκόνη, ανθρωπογενείς παράγοντες και οι δευτερεύουσες ενώσεις.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για να μπορέσουν να μειωθούν τα ποσοστά των PM χρειάζεται καλή γνώση των πηγών που τα δημιουργούν, των μετεωρολογικών συνθηκών καθώς και γνώση του τρόπου σχηματισμού τους και των διεργασιών μεταφοράς τους.

Το 2006-2007 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη στη πόλη Munster της Γερμανίας (Gerharz et.al 2009) και συγκεκριμένα τη χειμερινή περίοδο μεταξύ Οκτώβριου του 2006 και Ιανουαρίου του 2007 που σκοπό είχε εφαρμόζοντας τεχνικές μοντελοποίησης τόσο για την εξωτερική όσο και για την εσωτερική ρύπανση να εκτιμήσουν την ατομική έκθεση σε $PM_{2.5}$ μέσα από προσωπικές συσκευές ανίχνευσης (GPS) και ημερολόγια μέσα στα οποία καταγράφονταν οι ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στη παρούσα μελέτη πήραν μέρος έξι άτομα τα οποία φορούσαν gps για μία τουλάχιστον εργάσιμη μέρα και μία ημέρα του σαββατοκύριακου ενώ παράλληλα κατέγραφαν σε ημερολόγιο τις εικοσιτετράωρες δραστηριότητες τους ώστε να παρέχουν καθημερινά τα προφίλ των δραστηριοτήτων τους και τις γεωγραφικές περιοχές που βρίσκονταν.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη ήταν ότι η μέση ημερήσια έκθεση κυμαινόταν από 21-198 $\mu g/m^3$ καθώς και μία υψηλή μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας η οποία εξαρτιόταν άμεσα από την προσωπική συμπεριφορά.

Στο μέλλον κάθε άτομο που θα έχει πάνω του μια συσκευή gps θα είναι σε θέση να εκτιμά την ατομική του έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση και έτσι να μπορεί να προσαρμόζει τις προσωπικές του δραστηριότητες έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για την υγεία του.

Το 2002-2003 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα στην πόλη του Hong-Kong (Ho et.al 2004) που σκοπό είχε τη σύγκριση των τιμών οργανικού και στοιχειακού

άνθρακα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον αντίστοιχα. Η μελέτη αυτή έλαβε χώρα από το Σεπτέμβριο του 2002 έως το Φεβρουάριο του 2003. Επιλέχθηκαν πέντε κτίρια που βρίσκονταν κοντά σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους του Hong-Kong και συγκεκριμένα επιλέχθηκε ένα γραφείο, μια τάξη με μηχανικό αερισμό και τρία κτίρια με φυσικό αερισμό με σκοπό να μελετηθούν ως προς τις εξωτερικές και εσωτερικές συγκεντρώσεις οργανικού και στοιχειακού άνθρακα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση εικοσιτετράωρη εξωτερική συγκέντρωση $PM_{2.5}$ ήταν 78.4 mg/m^3 ενώ η μέση εξωτερική συγκέντρωση οργανικού και στοιχειακού άνθρακα ήταν 12.6 mg/m^3 και 6.4 mg/m^3 αντίστοιχα αντιπροσωπεύοντας έτσι 17% και το 9% της εξωτερικής μάζας των $PM_{2.5}$ αντίστοιχα. Η μέση εικοσιτετράωρη εσωτερική συγκέντρωση $PM_{2.5}$ ήταν 55.4 mg/m^3 ενώ η μέση εσωτερική συγκέντρωση οργανικού και στοιχειακού άνθρακα ήταν 11.3 mg/m^3 και 4.8 mg/m^3 αντίστοιχα αντιπροσωπεύοντας έτσι το 22% και το 9% αντιστοίχως. Η μέση τιμή του λόγου εσωτερική προς εξωτερική ρύπανση (I/O ratio) για τα $PM_{2.5}$ ήταν 0.80 για τον οργανικό άνθρακα 1.02 και για το στοιχειακό άνθρακα 0.8.

Το 2005 έλαβε χώρα μια έρευνα σε δεκαπέντε χώρες στην Ασία που σκοπό είχε (Shimada et.al 2011) την ανάλυση των $PM_{2.5}$ σε εσωτερικούς χώρους (κατοικίες) καθώς και τις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Κατά τη διάρκεια κυρίως του μαγειρέματος και της θέρμανσης του σπιτιού παράγονται PM, CO, NOx, SOx τα οποίοι έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου επηρεάζοντας κυρίως το αναπνευστικό και το κυκλοφορικό σύστημα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι χώρες με τα υψηλότερα ποσοστά έκθεσης σε αερολύματα ήταν η Κίνα, το Νεπάλ, το Λάος και η Ινδία. Επίσης η εσωτερική ρύπανση επηρέαζε περισσότερο τα παιδιά και τις άνεργες γυναίκες ηλικίας 35-64 εξαιτίας του μεγάλου χρόνου παραμονής τους στο σπίτι.

Το 2001-2002 πραγματοποιήθηκε μία μελέτη στη Mira Loma Καλιφόρνια (Kwangsam et.al 2005) που σκοπό είχε τη μέτρηση οργανικού και στοιχειακού άνθρακα στο εξωτερικό και στο εσωτερικό κατοικιών και τοπικών σχολείων από το Σεπτέμβριο του 2001 έως τον Ιανουάριο του 2002.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή τη μελέτη ήταν ότι στα σπίτια που υπήρχαν άνθρωποι που κάπνιζαν τα ποσοστά οργανικού και στοιχειακού άνθρακα ήταν υψηλότερα εν συγκρίσει με τα σπίτια που δεν υπήρχαν καπνιστές. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ φάνηκε να επηρεάζονται σημαντικά από τις εσωτερικές πηγές οργανικού άνθρακα ενώ ο στοιχειακός άνθρακας φάνηκε να επηρεάζεται από παράγοντες κυρίως εξωτερικής προέλευσης. Επιπλέον ο οργανικός άνθρακας είχε υψηλότερες τιμές στους εσωτερικούς χώρους από ότι στους εξωτερικούς. Τέλος τα ποσοστά τόσο του οργανικού όσο και του στοιχειακού άνθρακα είναι πολύ μικρότερα στις αίθουσες διδασκαλίας από ότι στα σπίτια.

Από τον Οκτώβριο του 2002 μέχρι και το Μάρτιο του 2004 πραγματοποιήθηκε μια έρευνα σε τέσσερις Ευρωπαϊκές χώρες Άμστερνταμ, Αθήνα, Ελσίνκι και Μπέρμινγχαμ (Hoek et.al 2007) που στόχο είχε να εκτιμήσει τις σχέσεις ανάμεσα στον αριθμό και τη μάζα των σωματιδίων μέσα και έξω από κατοικίες. Επιλέχθηκαν 152 σπίτια συνολικά και έγιναν μετρήσεις στο καθένα για μία εβδομάδα.

Η μέση εικοσιτετράωρη συσχέτιση για τον αριθμό των σωματιδίων PN ήταν μικρότερη (0.18 έως 0.45) από τη συσχέτιση για τα $PM_{2.5}$ (0.40–0.80) την αιθάλη (0.64–0.92) και τα θειικά (0.91–0.99). Στην Αθήνα συγκεκριμένα η συσχέτιση ανάμεσα στον αριθμό των σωματιδίων και τα $PM_{2.5}$ είναι παρόμοια ενώ οι διεισδυτικοί παράγοντες (infiltrated factors) για τα $PM_{2.5}$ και τον αριθμό των σωματιδίων είναι πολύ λιγότεροι από αυτούς για την αιθάλη και το θείο.

Την Άνοιξη και το Φθινόπωρο του 2004 πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία που σκοπό είχε τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων στο εξωτερικό και το εσωτερικό έξι κατοικιών που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από μεγάλους αυτοκινητόδρομους (Martuzevicius et.al 2008). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα αερολύματα που βρέθηκαν στο εσωτερικό των σπιτιών οφείλονταν κυρίως σε εσωτερικές πηγές ρύπανσης. Δραστηριότητες όπως το κάπνισμα, το μαγείρεμα και το καθάρισμα επηρεάζουν κατά πολύ το λόγο I/O για τα $PM_{2.5}$. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η τιμή του θείου είναι ένας καλός δείκτης της διείσδυσης της εξωτερικής ρύπανσης στο εσωτερικό των σπιτιών. Σημαντικοί παράγοντες εκτός από τη κυκλοφορία για τη συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ είναι η δομή του σπιτιού και ο αερισμός.

Οι Chun Chen και Bin Zhao (Chun Chen et. al 2010) επανεξέτασαν τη σχέση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής ρύπανσης μέσω του λόγου I/O, του παράγοντα διείσδυσης (infiltration factor) και του παράγοντα διεισδυτικότητας (penetration factor). Τα πειραματικά δεδομένα που χρειάστηκαν για την εύρεση των τριών παραγόντων συλλέχτηκαν τόσο από πραγματικά σπίτια όσο και από εργαστήρια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο λόγος I/O παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα εξαιτίας του μεγέθους των σωματιδίων, της γεωμετρίας των ρωγμών στο περίβλημα των κτιρίων καθώς και των συναλλαγών του εσωτερικού αέρα με τον εξωτερικό και ως εκ τούτου ο λόγος I/O δύσκολα μας βοηθά στη κατανόηση της συσχέτισης εσωτερικής και εξωτερικής ρύπανσης. Ο παράγοντας διείσδυσης (infiltration factor) είναι πολύ σημαντικός για να καταλάβουμε το ποσοστό των εσωτερικών σωματιδίων που έχουν εισχωρήσει από το εξωτερικό περιβάλλον χωρίς όμως να είναι εύκολο να κατανοήσουμε το μηχανισμό διείσδυσης.

Στο Aveiro της Πορτογαλίας πραγματοποιήθηκε μια έρευνα (Pegas et.al 2012) σε δημοτικά σχολεία στο κέντρο της πόλης και στα προάστια με σκοπό τη μέτρηση οργανικών και ανόργανων ενώσεων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον των σχολείων. Ρύποι μέσα στα σχολικά κτίρια μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των παιδιών, τη προσοχή τους στο μάθημα καθώς και την απόδοσή τους.

Στόχος ήταν η ταυτόχρονη αξιολόγηση των παραμέτρων άνεσης (θερμοκρασία, υγρασία, CO_2 , CO) και των εξωτερικών και εσωτερικών συγκεντρώσεων των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), του NO_2 των βιοαερολυμάτων και των PM_{10} . Δείγματα PM_{10} αναλύθηκαν για υδατοδιαλυτά ανόργανα ιόντα, οργανικό και στοιχειακό άνθρακα καθώς και ανθρακικά άλατα.

Παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές CO_2 και τα επίπεδα βιοαερολυμάτων ήταν υψηλότερα από τις μέγιστες αποδεκτές τιμές για την άνεση. Οι συγκεντρώσεις του NO_2 ήταν υψηλότερες στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα καθημερινά επίπεδα $PM_{2.5}$ στο εσωτερικό περιβάλλον ήταν υψηλότερα από ότι στο εξωτερικό περιβάλλον με εξαίρεση τα Σαββατοκύριακα γεγονός που υποδηλώνει ότι η φυσική δραστηριότητα

των μαθητών και η λειτουργία της τάξης συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην εκπομπή και την επαναιώρηση των σωματιδίων. Στα σχολεία που βρίσκονταν στο κέντρο της πόλης η διείσδυση των εξωτερικών σωματιδίων οδηγεί σε μόλυνση του εσωτερικού περιβάλλοντος του σχολείου.

Το 2004 έγινε μια μελέτη στο Hong-Kong (Cao et.al 2005) που σκοπό είχε τη μελέτη του λόγου I/O για τα $PM_{2.5}$ και τη συσχέτιση τους με οργανικούς ρύπους σε κατοικημένες περιοχές. Πολλές έρευνες εσωτερικής και εξωτερικής ρύπανσης εστιάζουν στα PM και στα χημικά τους χαρακτηριστικά καθώς και την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία (Abt et.al 2000, Allen et. al 2003, Funasaka et.al 2000, Li et.al 2003, Long et.al 2000- 2001, Ramachandran et.al 2000). Έξι περιοχές επιλέχθηκαν (δύο κοντά σε αυτοκινητόδρομους, δύο σε αγροτική περιοχή και δύο σε αστική περιοχή) για την αξιολόγηση της εσωτερικής και της εξωτερικής ρύπανσης ($PM_{2.5}$) κατά τη διάρκεια του Μαρτίου-Απριλίου 2004.

Τοποθετήθηκαν δειγματολήπτες σε τρεις τοποθεσίες και κατέγραφαν ταυτόχρονα είκοσι λεπτά τη μέρα για τρεις μέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εξωτερική διείσδυση σωματιδίων στο εσωτερικό καθώς και οι οικιακές δραστηριότητες επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις των $PM_{2.5}$. Παρατηρήθηκε ότι τα 2/3 των σωματιδίων που περιείχαν άνθρακα στον αέρα προήλθε από εξωτερικές πηγές.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα του 2007 και του καλοκαιριού του 2008 πραγματοποιήθηκε μια εργασία σε τρεις αγροτικές περιοχές της Κίνας που σκοπό είχε τη μέτρηση των εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$, του OC, του EC και του BC (Chong-Shu Zhu 2010).

Ο μέσος όρος του λόγου I/O για τα $PM_{2.5}$ και το EC ήταν ίσος ή μικρότερος του ένα ενώ για το OC και BC πάνω από ένα. Διαπιστώθηκε επίσης ότι οι εσωτερικές οργανικές ενώσεις προέρχονταν κυρίως από το εξωτερικό. Ο λόγος OC/EC στις αγροτικές περιοχές ήταν μεγαλύτερος από ότι στις αστικές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση θα συνεπαγόταν μείωση των εκπομπών στις αγροτικές περιοχές.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση της εξωτερικής ρύπανσης στο εσωτερικό περιβάλλον ενός σπιτιού σε μία ημιαστική περιοχή της Αθήνας (Λυκόβρυση). Πιο συγκεκριμένα ο υπολογισμός του λόγου indoor/outdoor (I/O) για τη συγκέντρωση μάζας των $PM_{2.5}$ καθώς και την χημική τους σύσταση σε οργανικό άνθρακα, στοιχειακό άνθρακα και ιόντα.

1.2 Πηγές αέριας ρύπανσης

Η εκπομπή των ρύπων στην ατμόσφαιρα οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες (ηφαίστεια, πυρκαγιές) όσο και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βιομηχανία, αυτοκίνητα).

Οι ρύποι που εκπέμπονται απ'ευθείας στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενείς (διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες). Υπάρχουν όμως και ρύποι που δεν εκπέμπονται από κάποια πηγή αλλά σχηματίζονται

στην ατμόσφαιρα ως χημικός μετασχηματισμός των πρωτογενών ρύπων ή σε προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων και ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι. Ο σχηματισμός των δευτερογενών ρύπων (π.χ όζον, φορμαλδεύδη, ακρολείνη και άλλα φωτοχημικά οξειδωτικά) μπορεί να λάβει χώρα σε χρόνο και τόπο εντελώς διαφορετικό από το χρόνο και τόπο εκπομπής των πρόδρομων ουσιών από τις οποίες προέρχονται.

Όταν αναφερόμαστε σε αέρια ρύπανση ασχολούμαστε αφενός μεν με τη ρύπανση του εξωτερικού αέρα (καυσαέρια εργοστασίων, αυτοκινήτων κοκ) και αφετέρου δε με τη ρύπανση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους (σπίτια, γραφεία, μουσεία κοκ). Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι χειρότερη από την ποιότητα του εξωτερικού αέρα (Godoi et. al. 2009, Jo and Seo 2005, Kotzias et. al. 2009, Lee et. al 2000, Pegas et. al 2010, Yang et. al 2009).

1.2.1 Πηγές εσωτερικής ρύπανσης

Όσο αναφορά τη ρύπανση του αέρα των εσωτερικών χώρων μπορεί να αποδοθεί σε τρεις κυρίως πηγές: Πρώτον στην ατμοσφαιρική ρύπανση (ρύπανση εξωτερικού αέρα), όσο πιο μολυσμένο είναι το εξωτερικό περιβάλλον τόσο εντονότερα επηρεάζεται και ο αέρας στο εσωτερικό. Δεύτερον στην εκπομπή των πτητικών ενώσεων δηλαδή ενώσεων από υλικά που χρησιμοποιούνται μέσα στις κατοικίες και εξατμίζονται εύκολα (π.χ συγκολλητικό ξύλινων επιφανειών, καθαριστικά, αρωματικά χώρου κ.α). Τρίτον, στο καπνό του τσιγάρου που πιθανότατα είναι ο σημαντικότερος παράγοντας από πλευρά επικινδυνότητας καθώς δεν επηρεάζει μόνο αυτούς που επιλέγουν να καπνίζουν αλλά και τους γύρω τους (παθητικοί καπνιστές).

Ακολουθεί πίνακας με τις κυριότερες πηγές ρύπων καθώς και την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία.

Πίνακας 1: Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης και η επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία (www.european-lung-foundation.org).

ΠΗΓΗ	ΡΥΠΟΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ
Κάπνισμα • Τσιγάρα • Πίπες • Πούρα	• Καπνός τσιγάρου στο περιβάλλον	• Ερεθισμός στη μύτη και στο λαιμό • Επιδείνωση συμπτωμάτων άσθματος • Καρκίνος των πνευμόνων

ΠΗΓΗ	ΡΥΠΟΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ
Συστήματα θέρμανσης και μαγειρέματος χωρίς καπναγωγούς - Φούρνοι - Θερμάστρες - Κερίά, τζάκια	- Σωματίδια (μικρά κομμάτια σκόνης και ρύπων στον αέρα) - Αέρια (CO .NOx) - Sox	- Ερεθισμός στη μύτη και στο λαιμό - Περιορισμός λειτουργίας πνευμόνων - Καρκίνος των πνευμόνων - Δηλητηρίαση από CO και θάνατος
Οικιακές χημικές ουσίες - Χρώματα - Διαλυτικά - Προϊόντα καθαρισμού - Αρωματικά χώρου - Εντομοκτόνα	- Πτητικές και ημιπτητικές οργανικές ενώσεις (VOC . S-VOC) - Τοξικά προϊόντα	- Ερεθισμός στη μύτη και στο λαιμό - Δύσπνοια - Δηλητηρίαση
Το έδαφος πάνω στο οποίο χτίζονται τα κτίρια	Ραδόνιο	Καρκίνος του πνεύμονα (στην Ευρώπη αναλογεί το 9 % των θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα και ο κίνδυνος αυτός αυξάνεται δραματικά σε συνδυασμό με το τσιγάρο)
Οικοδομικά υλικά - Υλικά ορόφων και δαπέδων - Μόνωση - Σκυρόδεμα - Υλικά επίστρωσης - Ηχομόνωση - Πλαστικά - Κόλλα - Εξοπλισμός θέρμανσης - Κόντρα-πλακέ - Υπόστρωμα χαλιού - Υφάσματα	- Αμιάντος (προκύπτει πρόβλημα αν το υλικό που περιέχει αμιάντο διαταραχθεί ή αποσυντεθεί με το πέρασμα του χρόνου) - Υαλοβάμβακας (απελευθερώνει ίνες αν υποστεί ζημιά με το χρόνο ή ζημιές από νερό και όταν ψαλιδίζεται ή κόβεται) - Πτητικές ή ημιπτητικές ενώσεις που περιέχουν Φορμαλδεΐδη	- Αμιαντίαση (εκφυλισμός των ιστών του πνεύμονα) - Καρκίνος του πνεύμονα - Μεσοθηλίωμα - Οι μεγαλύτερες ίνες προκαλούν ερεθισμό σε μύτη και λαιμό - Ερεθισμός σε μύτη και λαιμό - Δύσπνοια - Καρκίνος του πνεύμονα και του ρινοφάρυγγα
Θέρμανση και ψύξη - Σύστημα εξαερισμού - Κλιματισμός	Ιοί και βακτηρίδια	- Φλεγμονή των αεραγωγών του πνεύμονα - Πνευμονία
Κλινοσκεπάσματα και επίπλωση - Στρώματα - Μαξιλάρια - Χαλιά - Ταπετσαρισμένα έπιπλα	Ακάρεα	Επιδείνωση συμπτωμάτων άσθματος και αλλεργίες

ΠΗΓΗ	ΡΥΠΟΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ
Φθορά από υγρασία και υγρότητα	• Μούχλες • Ακάρεα σκόνης	• Αλλεργικές αντιδράσεις • Δυσκολία στην αναπνοή
Κατοικίδια • Σκύλοι • Γάτες • Πτηνά	• Αλλεργιογόνα • Ζωονόσοι	• Αλλεργία στα κατοικίδια

Η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων στις μέρες μας προκαλεί έντονη ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία. Μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές δαπάνες ενός κτιρίου, είναι η διατήρηση των εσωτερικών κλιματικών συνθηκών του. Αυτό προκειμένου να επιτευχθεί και να μειωθεί παράλληλα η κατανάλωση ενέργειας, τα κτίρια κατασκευάζονται πλέον έτσι ώστε να είναι ερμητικά κλειστά, με μειωμένες ενεργειακές απώλειες. Αυτό σημαίνει πως παγιδεύεται ο αέρας του κλιματισμού εντός των κτιρίων και επιπλέον δημιουργούνται προσμίξεις και νέοι εσωτερικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι.

Ιδιαίτερα επιβλαβείς είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις, οι οποίες εκπροσωπούνται από χημικές ουσίες όπως είναι το βενζόλιο, η φορμαλδεΐδη, το τολουόλιο και το βενζόλιο. Αυτές οι χημικές ενώσεις προκύπτουν κατά κύριο λόγο από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός των εσωτερικών χώρων (π.χ χρήση φωτοαντιγραφικών μηχανημάτων, μαγείρεμα, κάπνισμα), από τα δομικά υλικά και τέλος από τους ίδιους τους ενοίκους. Εάν δεν γίνεται περιοδικός έλεγχος της συγκέντρωσης των ρύπων αυτών είναι δυνατόν λόγω των προσμείξεων να συσσωρεύονται και τελικά να επηρεάζουν την διαβίωση των ενοίκων. Αυτό έχει επίσης και επιπτώσεις στον εργασιακό τομέα, καθώς η συχνή απουσία των εργαζομένων συνδέεται με την κακή ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους. Εκτιμάται πως αυτό κοστίζει στις Η.Π.Α. 20-200 δις. δολάρια ανά έτος (Cornejo et.al 1999).

2 Μορφές ατμοσφαιρικών ρύπων

Δύο κατηγορίες ρύπων συναντάμε στην ατμόσφαιρα τους αέριους ρύπους (με τη μορφή αερίων ή ατμών) και τους σωματιδιακούς ρύπους (με τη μορφή αερίων ή σταγονιδίων).



Εικόνα 1: Κατηγορίες Ρύπων.

Αέριοι ρύποι

Αέρια: Ουσίες που σε φυσική κατάσταση καταλαμβάνουν το χώρο μέσα στον οποίο περικλείονται

Ατμοί: Αέριες μορφές ουσιών που σε συνήθεις συνθήκες βρίσκονται σε αέρια ή στερεή κατάσταση.

Σωματιδιακοί ρύποι

Κόνεις: Στερεά σωματίδια μεγάλου σχετικά μεγέθους ($\leq 200\mu\text{m}$) που σχηματίζονται λόγω διάβρωσης ή κατακερματισμού στερεών υλικών (πχ σκόνη εδάφους).

Καπνός: Λεπτότατα σωματίδια που σχηματίζονται κατά την ατελή καύση ουσιών που περιέχουν άνθρακα.

Ομίχλη: Ορατά σωματίδια διάσπαρτα στην ατμόσφαιρα.

Κάπνα: Στερεά σωματίδια που σχηματίζονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα από συμπύκνωση ουσιών που λόγω ειδικών συνθηκών βρέθηκαν στην αέρια φάση.

Αχλός: Σωματίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα που σχηματίζονται από μηχανική δράση ή από συμπύκνωση αερίων .

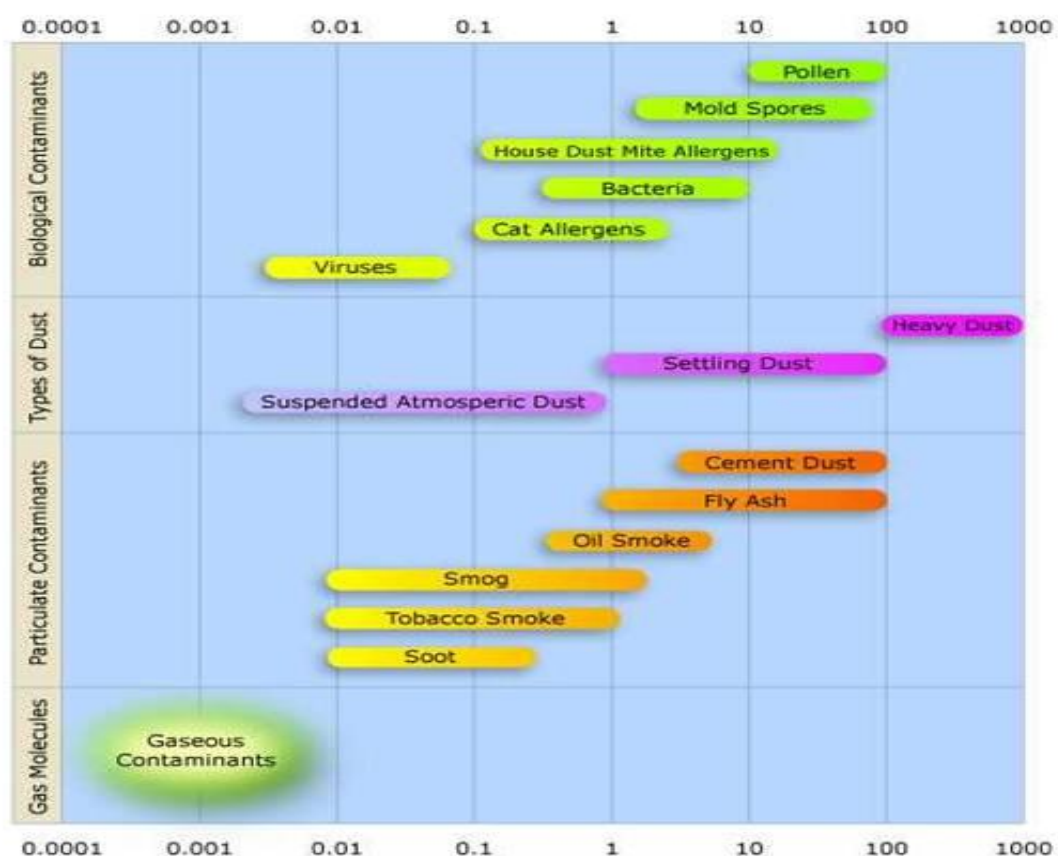
Ιπτάμενη τέφρα: Λεπτότατα σωματίδια τέφρας στερεών καυσίμων που παρασύρονται με τα καυσαέρια.

2.1 Αιωρούμενα σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα στερεό ή υγρό εκτός του ύδατος που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από $0.0002\mu\text{m}$ και μικρότερη από $500\mu\text{m}$ περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι

αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα ώστε να καθίστανται ορατά σα καπνός ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δε δύναται να ανιχνευτούν παρά μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ορισμένα σωματίδια διαφεύγουν απευθείας από τις πηγές τους όπως οι καπνοδόχοι και τα αυτοκίνητα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις όπως CO, SO₂, NO_x και VOC αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική τους σύσταση ποικίλοι και εξαρτάται από τη τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξεως 10 μm^3 .



Εικόνα 2: Κατανομή μεγέθους σε μm των διαφόρων τύπων των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων. (Wikipedia free encyclopedia).

2.2 Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων και οι επιπτώσεις τους στην υγεία και το περιβάλλον

Τα αιωρούμενα σωματίδια βέβαια δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος, αλλά μάλλον είναι ένα μίγμα πολλών ρύπων. Μέτρο της προσροφητικής ικανότητας των σωματιδίων αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους, η οποία αυξάνει όσο μειώνεται η

διάμετρος των σωματιδίων. Αυτό συγκλίνει και με τις τελευταία δημοσιευμένες έρευνες σύμφωνα με τις οποίες τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σωματίδια είναι αυτά με την μικρότερη διάμετρο.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulates TSP). Δίχως να γίνεται διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Η προσέγγιση αυτή ωστόσο, εξελίχθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων των σωματιδίων ανάλογα με τη διάμετρό τους.

Το πρωταρχικό μέτρο TSP αντικαταστάθηκε με το PM_{10} , το οποίο αναφέρεται μόνο σε αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 10 μm ή και μικρότερης ($<10 \mu m$). Μελέτες που αφορούν στην μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνουν τον ακόλουθο διαχωρισμό:

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2.5-10.0 μm . χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια. $PM_{2.5-10}$ ("coarse" particles). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν διάφορες πηγές προέλευσης, όπως από τη σκόνη μεταφερόμενη με τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπίεσεως, λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά..

Σχηματίζονται υπό την επίδραση κυρίως μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χόματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου ή από άλλες μηχανικές δράσεις της περιοχής. Γύρη και σπόρια απαντώνται ως μέρη των χονδρόκοκκων σωματιδίων και κυριαρχούν ιδιαιτέρως υλικά γεωλογικής προελεύσεως. Τα $PM_{2.5}$ επομένως, αποτελούνται από λεπτομερώς διαχωρισμένη ανόργανη ύλη-ορυκτά, όπως Οξείδια του Αργιλίου, Πυρίτιο, Σίδηρο και Κάλιο.

Αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm ($< 2.5 \mu m$) αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια $PM_{2.5}$ ("fine" particles). Ως μέτρο σύγκρισης να αναφερθεί πως μία ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου 70 μm . Αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση και αρχικά έχουν διάμετρο περίπου 0.05 μm . Αναφέρονται ως πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια ("ultra fine") ή πυρήνες σωματιδίων ("nuclei mode" ή "very fine nuclei"). Τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να συσσωρεύονται περαιτέρω, σχηματίζοντας τα χαρακτηριζόμενα ως συσσωρευμένα σωματίδια (accumulation mode). διαμέτρου γύρω στα 0.5 μm και τα οποία είναι σχετικά σταθερά στον αέρα. Τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια τα οποία συνενώνονται, υπό φυσιολογικές βεβαίως ατμοσφαιρικές συνθήκες, προς συσσωρευμένα. δεν μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος χονδρόκοκκων σωματιδίων.

Τα $PM_{2.5}$ προκύπτουν από πολλές διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνοι κ.ά.. κι έτσι η σύστασή τους ποικίλλει. Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανάφλεξης τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

Λόγω της προελεύσεώς τους από αέρια αποτελούνται από ανόργανα ιόντα όπως: Θειικά (SO_4^{2-}), Νιτρικά (NO_3^{-1}), Αμμώνιο (NH_4^{+}), Άνθρακα (C, όπως

προκύπτει από την καύση), οργανικά αερολύματα, μέταλλα και γενικότερα άλλα προϊόντα καύσεως.

Τα ελάχιστα όρια διαχωρισμού λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων σωματιδίων δεν απαντούν πάντοτε στην ίδια διάμετρο. Σε θαλασσινό αέρα, το ελάχιστο μπορεί να είναι λίγο κάτω του 1.0 μm της διαμέτρου (αεροδυναμική διάμετρος D_p για μονάδα πυκνότητας σφαίρας), ενώ τυπικές τιμές σε περισσότερο μολυσμένο αέρα είναι εγγύτερες του 1.0 μm . Το ελάχιστο μπορεί να είναι μέχρι 2.5 μm στην ομίχλη, στα σύννεφα ή σε άλλες υψηλής σχετικής υγρασίας συνθήκες. Τα αιωρούμενα σωματίδια των οποίων προσδιορίζεται η μάζα και τα οποία υπόκεινται σε χημική ανάλυση, έχουν διάμετρο $D_p < 2.5 \mu\text{m}$ (χαρακτηρίζονται ως $\text{PM}_{2.5}$) και $D_p > 10 \mu\text{m}$ (αναφέρονται ως PM_{10}). Η διάμετρος των 2.5 μm έχει επιλεγεί ώστε να διαχωρίζονται τα χονδρόκοκκα σωματίδια. Συνεπώς, η διαφορά μεταξύ PM_{10} και $\text{PM}_{2.5}$ ($\text{PM}_{10-2.5}$) αντιστοιχεί μόνο στα χονδρόκοκκα, ενώ τα $\text{PM}_{2.5}$ αναφέρονται στα λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια. Καθώς το όριο των ιδιαιτέρων λεπτόκοκκων σωματιδίων (διάμετρος $< 0.1 \mu\text{m}$) εμπεριέχεται εδώ, η μάζα αυτών θεωρείται πάντοτε αμελητέα.

Ωστόσο, η EPA (*Environmental Protection Agency*) δίνει μία νέα διάσταση και επικεντρώνεται πλέον, σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα οποία διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες και προκαλούν πλήθος συμπτωμάτων. Οι μέχρι τώρα έρευνες, δείχνουν ότι σωματίδια αυτής της τάξεως μεγέθους ($< 2.5 \mu\text{m}$) αποτελούνται από ποικίλες ποσότητες Θεικών (SO_4^{2-}) και Νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, ιόντων Αμμωνίου (NH_4^+), άνθρακα, οργανικών ενώσεων του Άνθρακα, ύδατος καθώς και μικρών ποσοτήτων χρώματος, σκόνης, ενώσεων του Μολύβδου (Pb) και ίχνη άλλων. Το είδος αυτού του μεγέθους των σωματιδίων, προέρχεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Μία τρίτη κοινή ιδιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η οπτική τους συμπεριφορά. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.1 μm είναι πολύ μικρά συγκρινόμενα με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος και συμπεριφέρονται όπως τα άλλα μόρια π.χ. περιθλούν το φως. Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm είναι πολύ μεγάλα σε σύγκριση με το μήκος κύματος του ορατού φάσματος κι εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά με τα μικροσκοπικά αντικείμενα, δηλαδή διαχέουν ή διακόπτουν το φως. Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας είναι η ελάττωση της ορατότητας καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη.

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικές και ποικιλόμορφες σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος, ενώ ειδικότερα στην υγεία εξαρτώνται από τη διάμετρό τους, τη χημική τους σύσταση καθώς και από την ύπαρξη άλλων ρύπων, με τους οποίους δρουν συνεργατικά.

Πειραματικό μέρος

3 Πειραματική διαδικασία

Η δειγματοληψία έλαβε χώρα στη περιοχή της Λυκόβρυσης και διήρκησε 20 μέρες από τις 17 Απριλίου του 2012 έως τις 6 Μαρτίου του 2012 όπου μελετήθηκαν τα επίπεδα PM 2.5 στο εσωτερικό και εξωτερικό διαμερίσματος διώροφης νεόδμητης κατοικίας. Το διαμέρισμα έχει επιφάνεια 80m². Το μπροστινό μπαλκόνι στο οποίο τοποθετήθηκε ο ένας εκ των δυο δειγματοληπτών χαμηλής ροής βλέπει σε ένα δρόμο με ήπια κυκλοφορία οχημάτων, ο οποίος όμως απέχει περίπου 1km από δρόμο ταχείας κυκλοφορίας (εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας). Όσες μέρες διήρκησε το πείραμα το διαμέρισμα αεριζόταν καθημερινά κυρίως τις πρωινές ώρες και περίπου δέκα με δεκαπέντε λεπτά τη φορά. Στο διαμέρισμα κατοικούν δύο άτομα τα οποία δεν καπνίζουν και απουσιάζουν από το σπίτι αρκετές ώρες.



Εικόνα 3: Χάρτης της περιοχής (πηγή: Google Earth)



Εικόνα 4: Χάρτης της περιοχής (πηγή: Google Earth)

3.1 Μεθοδολογία πειράματος και πειραματικός εξοπλισμός.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν 2 πανομοιότυποι δειγματολήπτες χαμηλής ροής αέρα (DERENDA. $2.3\text{m}^3/\text{h}$) με φίλτρα quartz. Ένας δειγματολήπτης τοποθετήθηκε στο μπαλκόνι και ένας άλλος στο σαλόνι-κουζίνα του διαμερίσματος. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε 24ωρη βάση από τις 08:00 το πρωί μέχρι τις 08:00 το πρωί της επόμενης μέρας.

Η συλλογή των αιωρούμενων σωματιδίων έγινε σε quartz φίλτρα, διαμέτρου 47mm. τα οποία τοποθετούνταν σε ειδικά πλαστικά τρυβλία, πριν και μετά τη δειγματοληψία ώστε να μην έρχονται σε επαφή με τον αέρα. Τα φίλτρα τοποθετούνταν σε ειδικά θερμός με παγοκύστες μέχρι να μεταφερθούν στο Δημόκριτο ώστε να διατηρούνται στα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και στη συνέχεια σε ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο (weighing room), όπου είναι εγκατεστημένος ηλεκτρονικός ζυγός (Mettler Toledo) μεγάλης ακρίβειας (10^{-6}gr) στον οποίο και ζυγίζονταν.

Ο ζυγός ακριβείας είναι τοποθετημένος πάνω σε ειδικά κατασκευασμένη βάση από μάρμαρο ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι κραδασμοί και να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα. Γενικά, λόγω της εξαιρετικής ευαισθησίας του ζυγού, το δωμάτιο έπρεπε να παραμένει κλειστό κατά τη διάρκεια της ζύγισης, αφού έστω και ένα μικρό ρεύμα αέρα επηρέαζε την ένδειξη. Η θερμοκρασία στο χώρο του ζυγού έπρεπε να είναι $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ενώ η σχετική υγρασία έπρεπε να διατηρείται στο $50 \pm 5\%$.

Πριν τοποθετηθούν τα φίλτρα στους δειγματολήπτες, έπρεπε να παραμείνουν στο δωμάτιο συνθηκοποίησης για τουλάχιστον 48 ώρες. Μέσα σε αυτό το διάστημα

έπρεπε να ζυγιστούν 2 φορές με ελάχιστη χρονική διαφορά 12 ωρών. Η τιμή της μάζας του φίλτρου πριν τη δειγματοληψία προέκυπτε από τη μέση τιμή της διαφοράς των δύο μετρήσεων. Σε περίπτωση μεγάλης διαφοράς μεταξύ των ζυγίσεων το φίλτρο έπρεπε να αποσυρθεί. Σκοπός της τόσο αυστηρής ζύγισης ήταν να πιστοποιηθεί ότι το βάρος των φίλτρων σταθεροποιήθηκε κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες.



Εικόνα 5: Ειδικός χώρος ζύγισης και συνθηκοποίησης των φίλτρων –αναλυτικός ζυγός ακριβείας 10^{-6} gr METTLER TOLEDO.

Μετά τη δειγματοληψία τα φίλτρα επέστρεφαν στο δωμάτιο συνθηκοποίησης και ζύγισης (πάντα τοποθετημένα στα ειδικά τρυβλία). Πριν ζυγιστούν, έπρεπε να παραμείνουν στο χώρο για τουλάχιστον 24-36 ώρες, ώστε να συνθηκοποιηθούν. Μετά από την πρώτη ζύγιση και αφού είχαν περάσει τουλάχιστον 12 ώρες ακολουθούσε η δεύτερη. Ο μέσος όρος των δυο μετρήσεων έδινε την τιμή της μάζας του φίλτρου μετά τη δειγματοληψία.



Εικόνα 6: φίλτρο πριν και μετά τη δειγματοληψία

Η τοποθέτηση των φίλτρων μέσα στο ζυγό ή στους δειγματολήπτες, γινόταν πολύ προσεκτικά και με τη βοήθεια μεταλλικής λαβίδας. Στην περίπτωση που τα φίλτρα μετά τη δειγματοληψία παρουσίαζαν σχισίματα, τρύπες ή φθορές, έπρεπε να αποσυρθούν.



Εικόνα 7: Τοποθέτηση φίλτρου στο ζυγό με τη βοήθεια λαβίδας.

Η συγκέντρωση των σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) προκύπτει από τη διαφορά της μάζας του φίλτρου πριν και μετά τη δειγματοληψία διαιρεμένη με τον όγκο του αέρα που «τράβηξε» η αντλία κατά τη διάρκεια του 24ωρου. Μετά την τελευταία ζύγιση, τα φίλτρα τοποθετούνταν σε ψυγείο για τη διατήρησή τους σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

3.2 Προσδιορισμός του OC και EC με τη μέθοδο της θερμο-οπτικής διαπερατότητας

Ο προσδιορισμός του EC και του OC πραγματοποιήθηκε σε αναλυτή OC/EC (Sunset Laboratory), σύμφωνα με τη θερμο-οπτική μέθοδο διαπερατότητας 5040 NIOSH (National Institute Occupational Safety and Health).



Εικόνα 8: Αναλυτής OC/EC.

Με το σωστό και συνεχή έλεγχο του συστήματος οπτικής απορρόφησης του δείγματος κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, η μέθοδος αυτή είναι ικανή να προλάβει οποιαδήποτε ανεπιθύμητη οξείδωση του αρχικού EC.

Παράλληλα μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις για την αναπόφευκτη δημιουργία αιθάλης, που παράγεται κατά την πυρολυτική μετατροπή των οργανικών ενώσεων σε EC.

Σε μια εντελώς ελεύθερη από οξυγόνο ατμόσφαιρα ηλίου, το δείγμα φίλτρου επιφάνειας 1.5cm^2 , θερμαίνεται σε αυξανόμενες θερμοκρασίες, ώστε να απομακρυνθεί όλος ο OC από το φίλτρο. Η μετάβαση από τους $500\text{ }^\circ\text{C}$ στους $700\text{ }^\circ\text{C}$, αποσυνθέτει γρήγορα ανόργανες ενώσεις, δημιουργώντας μια απότομη, χαρακτηριστική κορυφή. Κατά τη διάρκεια της πρώτης αυτής φάσης, υπάρχουν μερικές οργανικές ενώσεις που μετατρέπονται πυρολυτικά σε EC. Η οπτική διαπερατότητα του φίλτρου μετράται συνεχώς μέσω της ακτινοβολίας ενός laser που διέρχεται από το φίλτρο. Οι υπόλοιπες οργανικές ενώσεις εξατμίζονται και οξειδώνονται αμέσως σε CO_2 μέσα σε ένα φούρνο οξείδωσης που ακολουθεί το φούρνο του δείγματος. Η ροή του He, που περιέχει το CO_2 , καταλήγει σε ένα φούρνο μεθυλίωσης όπου το CO_2 ανάγεται σε CH_4 , το οποίο ανιχνεύεται με έναν ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (flame ionization detector, FID).

Στη συνέχεια, η θερμοκρασία του φούρνου μειώνεται στους $550\text{ }^\circ\text{C}$ και διαβιβάζεται μίγμα O_2/He στο φούρνο του δείγματος. Κατόπιν η θερμοκρασία του ανεβαίνει στους $870\text{ }^\circ\text{C}$. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, τόσο ο αρχικός EC όσο

και αυτός που παράγεται από την πυρόλυση των οργανικών ενώσεων κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, οξειδώνονται σε CO₂ εξαιτίας της παρουσίας O₂. Το CO₂ μετατρέπεται στη συνέχεια σε CH₄ και ανιχνεύεται με FID.

Μετά την πλήρη οξείδωση του άνθρακα από το δείγμα CH₄ γνωστής συγκέντρωσης εγχύεται στο φούρνο του δείγματος. Έτσι, κάθε δείγμα βαθμονομείται για μια γνωστή ποσότητα άνθρακα ελέγχοντας ταυτόχρονα και την ορθή λειτουργία του οργάνου. Βασιζόμενοι στην απόκριση του ανιχνευτή και τις πληροφορίες από τη διαπερατότητα του laser, υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις του OC και EC του δείγματος.

Η ακρίβεια του οργάνου ελέγχεται με την ανάλυση γνωστής ποσότητας σουκρόζης που προστίθεται σε λευκά φίλτρα. Όσον αφορά την αβεβαιότητα της μεθόδου και τα όρια ανίχνευσης για τους οργανικό και στοιχειακό άνθρακα ισχύουν:

Η αβεβαιότητα των OC και EC σε ugC/cm² ισούται με +/- ((άνθρακας * 0.05) + 0.2), όπου 0.2 είναι η υποβάθμιση του οργάνου. Κατά συνέπεια για δείγματα χαμηλών συγκεντρώσεων η αβεβαιότητα σχετίζεται με τα στατιστικά όρια του blank δείγματος, ενώ δείγματα υψηλών συγκεντρώσεων αγγίζουν ποσοστό αβεβαιότητας +/- 5%. Η αβεβαιότητα για τον ολικό άνθρακα (TC) σε ugC/cm² ισούται με +/- ((άνθρακας * 0.05) + 0.3). Τα όρια ανίχνευσης είναι 0.3 ugC και άρα σε φίλτρο 1.5 cm² περίπου 0.2 ugC/cm².

3.3 Προσδιορισμός των ιόντων με μέθοδο ιοντικής χρωματογραφίας

Για την ανάλυση των κατιόντων (NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺) χρησιμοποιήθηκε ο ιοντικός χρωματογράφος (Ion Chromatography system της εταιρίας Dionex, μοντέλο ICS-1100). Η χρωματογραφική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είχε ως εξής:

Εκλουόμενο διάλυμα – συγκέντρωση: Μεθανοσουλφονικό οξύ, 20mM

Ποσοστό ροής εκλουόμενου διαλύματος: 1.0 mL/min

Θερμοκρασία: θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ανίχνευση: αγωγιμότητα

Καταστολέας: CSRS®ULTA II, 4mm) AutoSuppression® Recycle Mode

Εφαρμοσμένο ρεύμα: 59 mA

Όγκος εγχύσεων: 25μL

Storage solution: εκλουόμενο διάλυμα



Εικόνα 9: Ιοντικός Χρωματογράφος ICS-5000 Reagent-Free – Dionex

Για την ανάλυση των ανιόντων (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , PO_4^{3-}) χρησιμοποιήθηκε ο ιοντικός χρωματογράφος (Ion Chromatograph της εταιρείας Dionex μοντέλο ICS-5000 Reagent Free). Η χρωματογραφική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είχε ως εξής:

Εκλούμενο διάλυμα – συγκέντρωση: 38 mM KOH

Πηγή εκλούμενου διαλύματος: EGC-KOH (τριχοειδής στήλη)

Ποσοστό ροής εκλούμενου διαλύματος: 0.012 mL/min

Θερμοκρασία: 30 °C

Ανίχνευση: αγωγιμότητα

Καταστολέας: ACES 300 AutoSuppression® Recycle Mode

Εφαρμοσμένο ρεύμα: 10 mA

Όγκος εγχύσεων: 400 nL

Storage solution: 100 mM Τετραβορικό Νάτριο



Εικόνα 10: Ιοντικός Χρωματογράφος ICS-1100 – Dionex

Τα 3/4 του φίλτρου εκχυλίστηκαν σε λουτρό υπερήχων για μισή ώρα στους 30 °C. Από το διάλυμα μικρή ποσότητα (1ml) έγινε έγχυση στον ιοντικό χρωματογράφο διαμέσου φίλτρου PVDF διαμέτρου 0,45μm για κατακράτηση πιθανών υπολειμμάτων του φίλτρου με σκοπό τη προστασία της στήλης. Για τη διαδικασία της ανάλυσης ο χρωματογράφος θα χρησιμοποιήσει 2μL από το διάλυμα που έχουμε εγχύσει. Πρώτα τα δείγματα αναλύθηκαν για ανιόντα και στη συνέχεια για κατιόντα.

Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων στο χρωματογράφο, αναλύουμε πρότυπα διαλύματα των ιόντων για τη δημιουργία καμπύλης βαθμονόμησης ενώ γίνεται και ανάλυση λευκών δειγμάτων για να ελέγξουμε το υπόβαθρο της συγκέντρωσης των ιόντων στον χώρο της δειγματοληψίας.

4 Μετρήσεις-αποτελέσματα

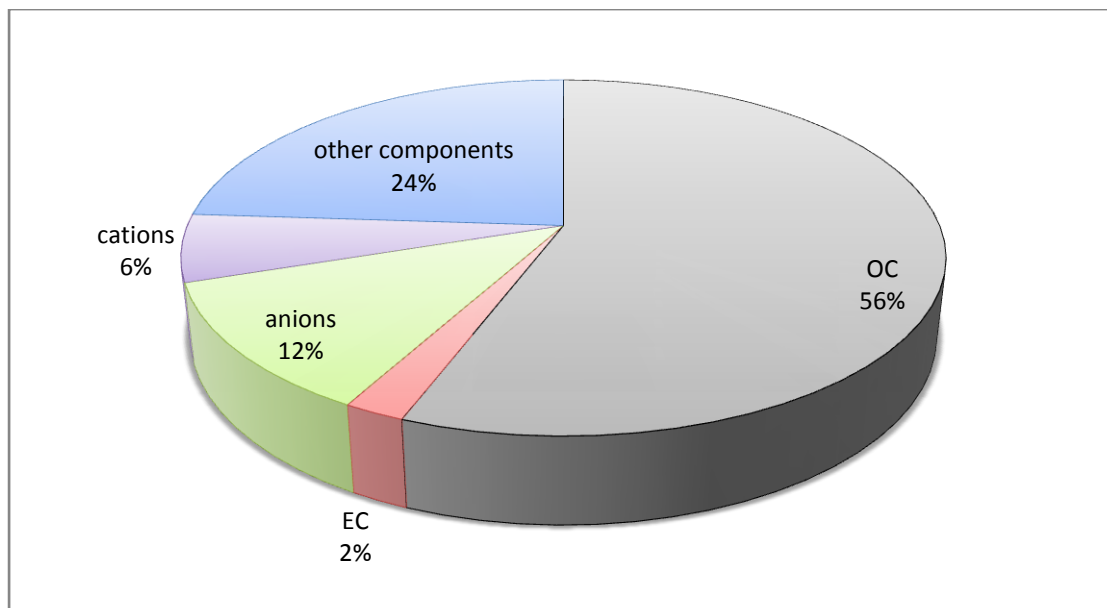
Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε συγκεντρωτικά τη μέση τιμή, το λόγο I/O , τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή των συγκεντρώσεων των PM_{2.5}, του οργανικού και του στοιχειακού άνθρακα καθώς και των ανιόντων και των κατιόντων.

Πίνακας 2: Μέσες εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις όλων των ενώσεων

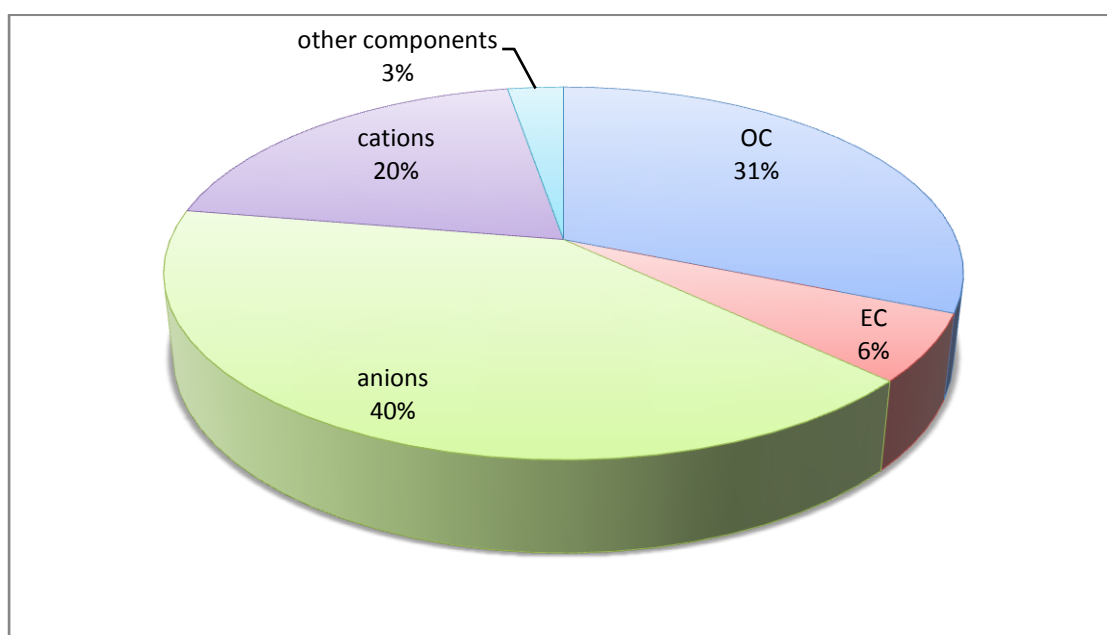
Συγκεντρώσεις indoor- outdoor									
	Average		Max		Min		I/O	I/O	
	Indoor (μgr/m ³)	Outdoor (μgr/m ³)	Indoor (μgr/m ³)	Outdoor (μgr/m ³)	Indoor (μgr/m ³)	outdoor (μgr/m ³)		Max	Min
PM _{2.5}	34.6	13.1	146	22.3	4.81	2.47	3.06	11.6	0.37
OC	19.3	3.47	112	6.77	6.77	1.48	5.94	26.1	1.53
EC	0.77	0.65	2.14	2	0.33	0.24	1.22	2.33	0.66
Cl ⁻	0.24	0.22	0.79	1.33	0.02	0.02	2.56	14	0.58
F ⁻	0.05	0.02	0.03	0.33	0.01	0.01	2.32	16.5	1
Br ⁻	0.05	0.03	0.3	0.08	<LOQ	<LOQ	1.49	10	-
NO ₃ ⁻	0.89	0.88	1.69	1.51	0.33	0.39	1.09	2.28	0.38
PO ₄ ⁻³	0.58	0.58	0.89	0.89	0.31	0.37	1.03	1.86	0.55
SO ₄ ⁻²	2.29	2.78	5.38	4.72	0.57	1.18	0.81	1.2	0.39
K ⁺	0.1	0.1	0.28	0.14	0.03	0.07	1.27	3.5	0.61
Na ⁺	1.03	1.09	1.42	2.19	0.38	0.31	1.07	3.38	0.66
Mg ⁺²	0.05	0.06	0.16	0.16	0.04	0.03	1.02	1.66	0.75
NH ₄ ⁺	0.78	0.72	1.42	1.66	0.13	0.11	1.66	5.6	0.14
Ca ⁺²	0.20	0.25	0.37	0.41	0.05	0.11	0.83	2.27	0.21

Παρατηρώντας το πίνακα βλέπουμε ότι τις περισσότερες φορές οι εσωτερικές τιμές είναι μεγαλύτερες από τις εξωτερικές και αν δεν είναι, είναι παραπλήσιες.

Έπειτα ακολουθούν γραφήματα για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον με το ποσοστό κάθε κατηγορίας στη συνολική συγκέντρωση μάζας των PM_{2.5}.



Εικόνα 11: Ποσοστό οργανικού-στοιχειακού άνθρακα, ανιόντων και κατιόντων στη συνολική εσωτερική συγκέντρωση μάζας των $PM_{2.5}$.



Εικόνα 12: Ποσοστό οργανικού-στοιχειακού άνθρακα ανιόντων και κατιόντων στη συνολική εξωτερική συγκέντρωση μάζας των $PM_{2.5}$.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας των δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα μέσα στο σπίτι κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Πίνακας 3: Δραστηριότητες που έλαβαν τόπο στο εσωτερικό του σπιτιού κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Δραστηριότητες στο εσωτερικό του σπιτιού					
	Αερισμός	Ξεσκόνισμα	Θέρμανση	Κάπνισμα	Μαγείρεμα
17/4	•		•	•	•
18/4	•		•	•	•
19/4	•		•		•
20/4	•				
21/4	•				
22/4	•				•
23/4	•	•		•	
24/4	•				•
25/4	•				•
26/4	•				•
27/4	•	•			•
28/4	•	•			•
29/4	•				
30/4	•	•			•
1/5	•				
2/5	•				
3/5	•	•			•
4/5	•				
5/5	•	•			
6/5	•	•			•

Ο αερισμός γινόταν καθημερινά περίπου μισή ώρα. Ως θέρμανση χρησιμοποιούνταν air-condition. Στο ξεσκόνισμα συμπεριλαμβάνεται το σκούπισμα και το σφουγγάρισμα.

4.1 PM_{2.5}

Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά οι μάζες των σωματιδίων και για τις είκοσι ημέρες της δειγματοληψίας

Πίνακας 4: Συγκεντρώσεις μάζας των PM_{2.5} .

Συγκέντρωση μάζας PM_{2.5}			
Ημέρες	Indoor (μgr/m³)	Outdoor (μgr/m³)	I/O
17/4	43.5	12.9	3.38
18/4	28.6	2.47	11.6
19/4	45.7	13.6	3.35
20/4	39.8	14.7	2.69
21/4	21.7	5.83	3.72
22/4	22.6	9.3	2.44
23/4	146	14.5	10.1
24/4	27.7	15.2	1.82
25/4	33.7	13.5	2.5
26/4	14.2	11.4	1.25

27/4	22.3	8.56	2.61
28/4	24.4	15.54	1.67
29/4	4.81	12.8	0.38
30/4	36.5	12	3.04
1/5	17.5	13.1	1.34
2/5	49.6	22.3	2.22
3/5	46.3	16.5	2.81
4/5	23	17.5	1.31
5/5	26	14.6	1.79
6/5	18.5	16.3	1.14
Average	34.6	13.1	2.64
Max	146	22.3	11.6
Min	4.81	2.43	0.38
Std	28.8	4.28	2.81

Παρατηρώντας το πίνακα βλέπουμε ότι όλες τις ημέρες η εσωτερική τιμή της μάζας των $PM_{2.5}$ είναι μεγαλύτερη από την εξωτερική εκτός από της 29/4.

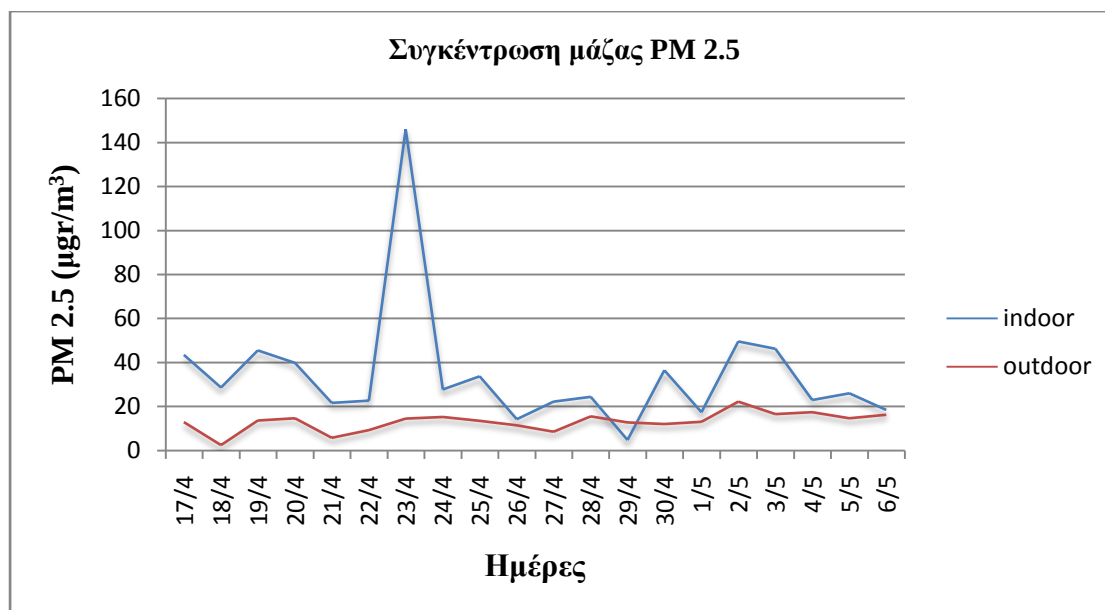
Σε ορισμένες περιπτώσεις ο λόγος I/O είναι αρκετά μεγάλος, χαρακτηριστικό παράδειγμα στις 18/4 με λόγο 11.6 και στις 23/4 με λόγο 10.1. Πιθανόν στο εσωτερικό περιβάλλον η μάζα παίρνει τόσο υψηλές τιμές εξαιτίας του ότι το σπίτι είναι νεόκτιστο και φρεσκοβαμμένο. Επιπλέον αρκετές από τις ημέρες της δειγματοληψίας στο εξωτερικό περιβάλλον φύσαγε δυνατός άνεμος.

Στις 23/3 έχουμε τη μέγιστη εσωτερική τιμή $146 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ είναι η η μέρα όπου υπήρχε το κάπνισμα των δέκα τσιγάρων.

Συγκρίνοντας τις μέσες εξωτερικές τιμές της μάζας των $PM_{2.5}$ $13.1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τις αντίστοιχες στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής $12.35 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) της Νέας Σμύρνης $16.3 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και του κέντρου της Αθήνας $20.7 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής.

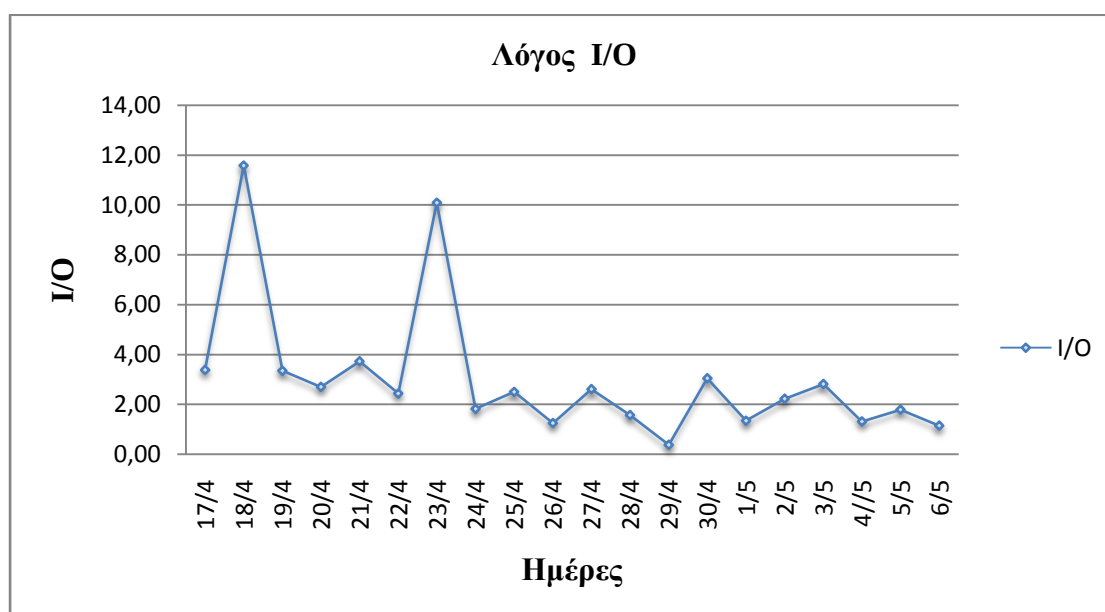
Επίσης η τυπική απόκλιση για το εσωτερικό περιβάλλον είναι 28.8 ενώ αφαιρώντας τη μέγιστη τιμή των μετρήσεων παρατηρούμε ότι αμέσως μειώνεται στο 12.1, ενώ αφαιρώντας ταυτόχρονα και τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή γίνεται ακόμα μικρότερη 10.9. Για το εξωτερικό περιβάλλον η τυπική απόκλιση από 4.28 μειώνεται στο 2.97 εάν αφαιρέσουμε ταυτόχρονα τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή.

Ακολουθεί διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις μάζας των $PM_{2.5}$ τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 13: Συγκέντρωση μάζας PM_{2.5} για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Ακολουθεί διάγραμμα με το λόγο I/O



Εικόνα 14: Λόγος I/O για τα PM_{2.5} για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας.

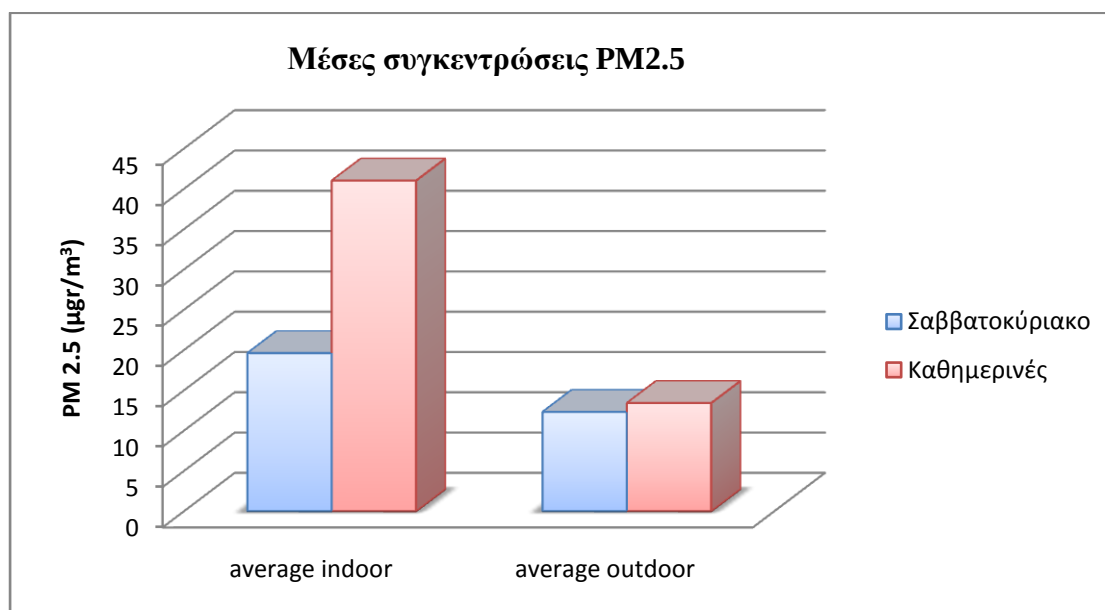
Έπειτα ακολουθεί πίνακας με τη μέση τιμή της συγκέντρωσης της μάζας των PM_{2.5} τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 5: Συγκεντρώσεις μάζας PM_{2.5} για τα σαββατοκύριακα.

Μάζα PM _{2.5} τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor (μgr/m ³)	Outdoor (μgr/m ³)	I/O
21/4	21.7	5.83	3.72
22/4	22.6	9.3	2.44
28/4	24.4	15.54	1.67
29/4	4.81	12.8	0.38
5/5	26	14.6	1.79
6/5	18.5	16.3	1.14
average	19.7	12.4	1.86

Συγκρίνοντας τις μάζες των σαββατοκύριακων με τις υπόλοιπες ημέρες θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν είναι αρκετά υψηλές. Η χαμηλότερη εσωτερική τιμή παρατηρείται τη τελευταία Κυριακή του Απριλίου 4.81 μgr/ m³ ενώ η μεγαλύτερη το πρώτο Σάββατο του Μαΐου 26 μgr/m³.

Στη συνέχεια ακολουθεί ραβδόγραμμα με τη μέση τιμή της μάζας των PM_{2.5} στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.



Εικόνα 15: Ραβδόγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μέσων συγκεντρώσεων μάζας PM_{2.5} για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι οι μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις της μάζας δε παρουσιάζουν διαφορές τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα ενώ οι εσωτερικές τιμές τις καθημερινές είναι πολύ μεγαλύτερες από ότι τα σαββατοκύριακα πιθανόν λόγω του ότι τις καθημερινές πραγματοποιούνται περισσότερες δραστηριότητες στο σπίτι από ότι τα σαββατοκύριακα.

Έπειτα ακολουθεί πίνακας που περιέχει τις συγκεντρώσεις μάζας PM_{2.5} σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις PM_{2.5} σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος (Selevanti et.al 2011, Vratolis et.al 2012, Samara et.al 1987, Theodosi et.al 2011, Scheff et.al 1990, Pateraki et.al 2008)

Περιοχές	Συγκέντρωση μάζας PM _{2.5} $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
Λυκόβρυση (this study)	13.1
Αθήνα (2011)	20.7
Αθήνα(1990)	80.7
Γουδί (2005)	29.4
Μαρούσι (2008)	26.3
Νέα Σμύρνη (2012)	16.23
Αγία Παρασκευή (2012)	12.35
Λυκόβρυση (2005)	23.5

Παρατηρώντας το πίνακα βλέπουμε ότι οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μάζας PM_{2.5} καταγράφηκαν στην Αγία Παρασκευή 12.35 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και στη Λυκόβρυση (παρούσα μελέτη), ενώ οι υψηλότερες στο κέντρο της Αθήνας το 1990 με τιμή 80.7 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Scheff et.al 1990) και το Μαρούσι 26.3 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Pateraki et.al 2008) . Θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι οι παραπάνω μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους άρα έχουμε διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες. Γενικά παρατηρούμε ότι όσο περνάνε τα χρόνια οι τιμές των PM_{2.5} μειώνονται χαρακτηριστικό παράδειγμα οι τιμές που καταγράφηκαν στο κέντρο της Αθήνας το 2011 (Selevanti et.al 2011) ήταν 20.9 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ενώ το 1987 (Scheff et.al 1990) ήταν 80.7 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ το ίδιο ισχύει και για τη περιοχή της Λυκόβρυσης το 2005 (Theodosi et.al 2011) η τιμή ήταν 23.5 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ ενώ στη παρούσα μελέτη καταγράφηκε 13.1 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μείωση των αυτοκινήτων και σε κλιματικούς παράγοντες

4.2 Οργανικός –Στοιχειακός άνθρακας

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τις μετρήσεις του οργανικού και του στοιχειακού άνθρακα για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας καθώς και ο λόγος I/O και OC/EC.

Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις οργανικού και στοιχειακού άνθρακα.

Συγκεντρώσεις οργανικού-στοιχειακού άνθρακα				
Ημέρες	OC		EC	
	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)
17/4	23.1	1.83	0.52	0.24
18/4	14.4	1.75	0.36	0.36
19/4	35.5	2.96	0.88	0.78
20/4	21.9	2.62	0.60	0.47
21/4	9.43	1.48	0.28	0.30
22/4	12.9	3.16	0.39	0.58
23/4	112	4.28	2.14	0.92
24/4	14.9	6.77	1.43	2
25/4	21.6	3.09	1.05	0.72

Συγκεντρώσεις οργανικού-στοιχειακού άνθρακα				
	OC		EC	
Ημέρες	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)
26/4	8.82	3.06	1.44	0.80
27/4	9.82	2.18	0.35	0.38
28/4	9.22	3.29	0.35	0.45
29/4	8.22	3.21	0.57	0.48
30/4	6.77	2.54	0.33	0.36
1/5	6.98	2.97	0.41	0.34
2/5	25.5	5.86	0.91	0.87
3/5	20.1	4.79	1.12	0.80
4/5	8.33	3.76	0.60	0.47
5/5	8.46	5.54	0.89	0.97
6/5	7.47	4.19	0.52	0.24
Average	19.3	13.1	0.77	0.65
Max	112	6.77	2.14	2
Min	6.77	1.48	0.33	0.24
Std	23.1	1.41	0.48	0.39

Παρατηρώντας το πίνακα βλέπουμε ότι οι τιμές του οργανικού άνθρακα παρουσιάζουν έντονη διακύμανση κυρίως τις πρώτες μέρες. Η μέγιστη εσωτερική τιμή είναι $112 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ ενώ η ελάχιστη είναι $6.77 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Αντίστοιχα η μέγιστη εξωτερική τιμή είναι $6.77 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ και η ελάχιστη $1.48 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Γενικά παρατηρούμε ότι οι εξωτερικές τιμές του οργανικού άνθρακα είναι πολύ μικρότερες από τις εσωτερικές καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Η μέγιστη εσωτερική τιμή παρουσιάζεται την έβδομη ημέρα $112 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ όπου καπνίστηκαν τα δέκα τσιγάρα.

Όσο αναφορά τις τιμές του οργανικού άνθρακα για το εξωτερικό περιβάλλον βλέπουμε ότι τις ημέρες που φυσάει δυνατός αέρας οι τιμές είναι αρκετά χαμηλές (πχ 20/4, 21/4, 26/4, 27/4, 28/4, 29/4, 30/4 και 1/5).

Οι πολύ υψηλές εσωτερικές τιμές του οργανικού άνθρακα οφείλονται κατά μεγάλο ποσοστό στο ότι το σπίτι είναι νεόκτιστο και συνεπώς φρεσκοβαμμένο.

Συγκρίνοντας τις τιμές του οργανικού άνθρακα στο εξωτερικό περιβάλλον με άλλες εξωτερικές τιμές στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής και της Νέας Σμύρνης βλέπουμε ότι η μέση τιμή στη Λυκόβρυση είναι $3.47 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ στην Αγία Παρασκευή $3.21 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και στη Νέα Σμύρνη $3.31 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et. al 2012). Βλέπουμε ότι η τιμή μας είναι μεγαλύτερη από ότι στις άλλες περιοχές γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο ότι το σπίτι βρίσκεται κοντά (1km) σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας.

Όσο αναφορά τις τιμές του στοιχειακού άνθρακα παρατηρούμε ότι οι εσωτερικές και οι εξωτερικές τιμές δεν διαφέρουν πολύ. Η μέγιστη εσωτερική τιμή είναι $2.14 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ ενώ η ελάχιστη $0.36 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Αντίστοιχα η μέγιστη εξωτερική τιμή είναι $2 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ ενώ η ελάχιστη $0.24 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

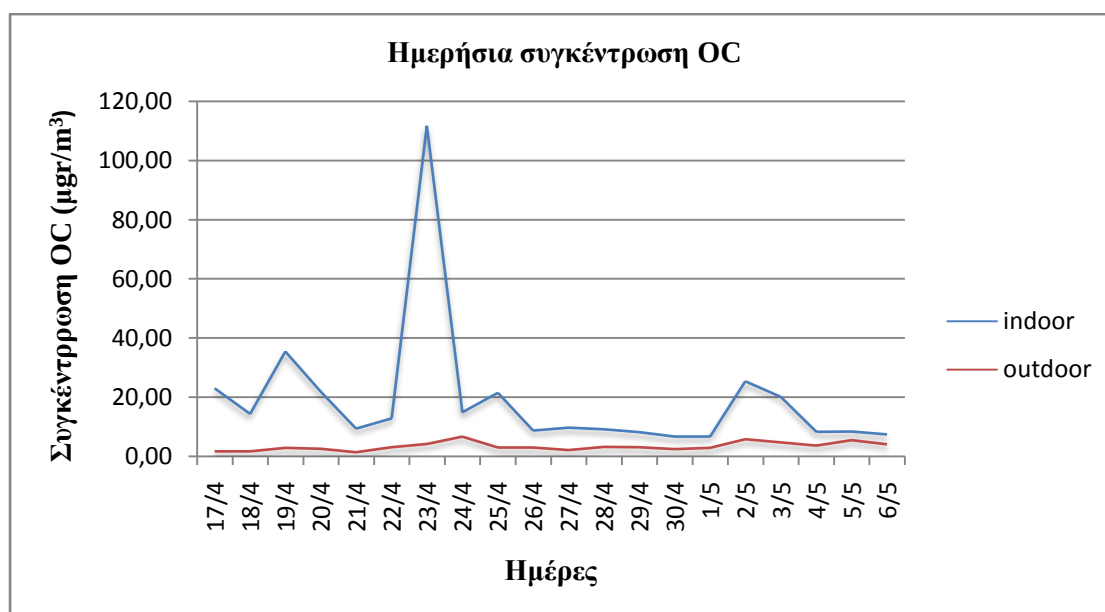
Παρατηρώντας τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη τιμή είναι ελαφρά υψηλότερες στο εσωτερικό του σπιτιού από ότι στο εξωτερικό περιβάλλον γεγονός που υποδηλώνει τη πιθανή ύπαρξη εσωτερικής πηγής

στοιχειακού άνθρακα Η μέγιστη εσωτερική τιμή παρατηρείτε την έβδομη ημέρα όπου καπνίστηκαν τα δέκα τσιγάρα.

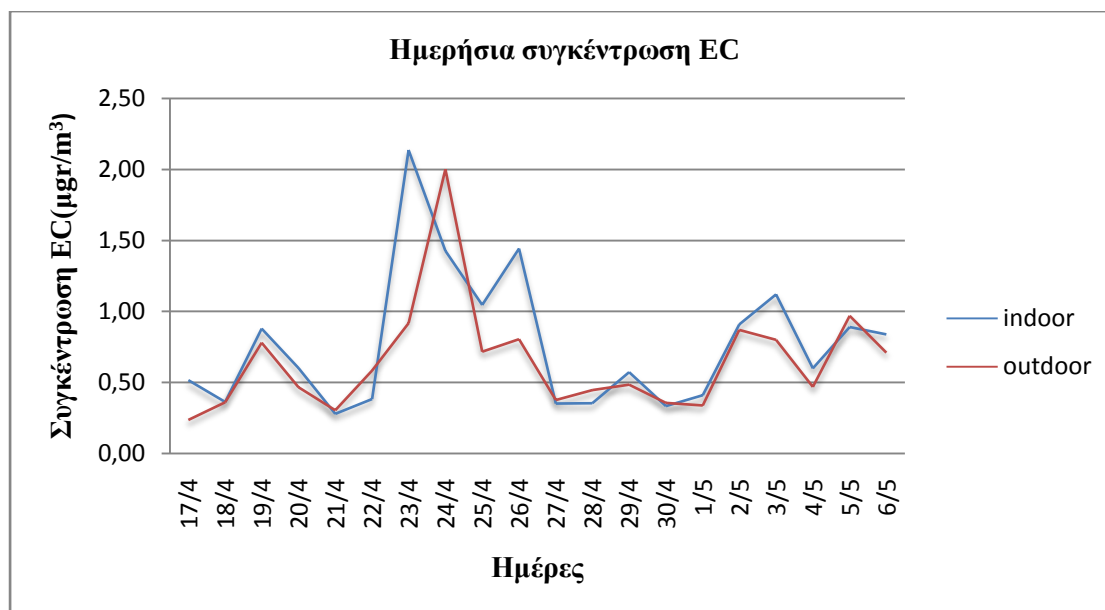
Επίσης, βλέπουμε ότι από τη δέκατη μέχρι τη δέκατη πέμπτη ημέρα που στο εξωτερικό περιβάλλον φυσάει δυνατός αέρας οι τιμές του στοιχειακού άνθρακα στο εξωτερικό είναι αρκετά μικρές εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες ημέρες. Το ίδιο παρατηρείτε και για τις εσωτερικές τιμές για εκείνες τις ημέρες. Συγκρίνοντας τις μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις του στοιχειακού άνθρακα στη Λυκόβρυση $0.65 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με αυτές στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής $0.63 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και της Νέας Σμύρνη $0.66 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις.

Παρατηρώντας τις τυπικές αποκλίσεις τόσο για τον οργανικό όσο και για τον στοιχειακό άνθρακα βλέπουμε ότι αφαιρώντας τη μέγιστη εσωτερική τιμή των μετρήσεων μας η τυπική εσωτερική απόκλιση αλλάζει αισθητά στο μεν οργανικό άνθρακα από 23.1 γίνεται 8.03 ενώ στον στοιχειακό από 0.48 στο 0.37 δε παρατηρείται το ίδιο αν αφαιρέσουμε την ελάχιστη εσωτερική τιμή .

Έπειτα ακολουθούν τα διαγράμματα με τις συγκεντρώσεις του οργανικού και στοιχειακού άνθρακα.



Εικόνα 16: Συγκέντρωση oc για το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 17 Συγκέντρωση EC για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας που περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα τα Σαββατοκύριακα.

Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις OC τα σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor	Outdoor	I/O
21/4	9.43	1.48	6.34
22/4	12.9	3.16	4.1
28/4	9.22	3.29	2.8
29/4	8.22	3.21	2.56
5/5	8.46	5.54	1.53
6/5	7.47	4.19	1.78
Average	9.28	3.48	3.18

Βλέπουμε ότι οι εσωτερικές τιμές είναι μεγαλύτερες από τις εξωτερικές για αυτό και ο λόγος I/O είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας.

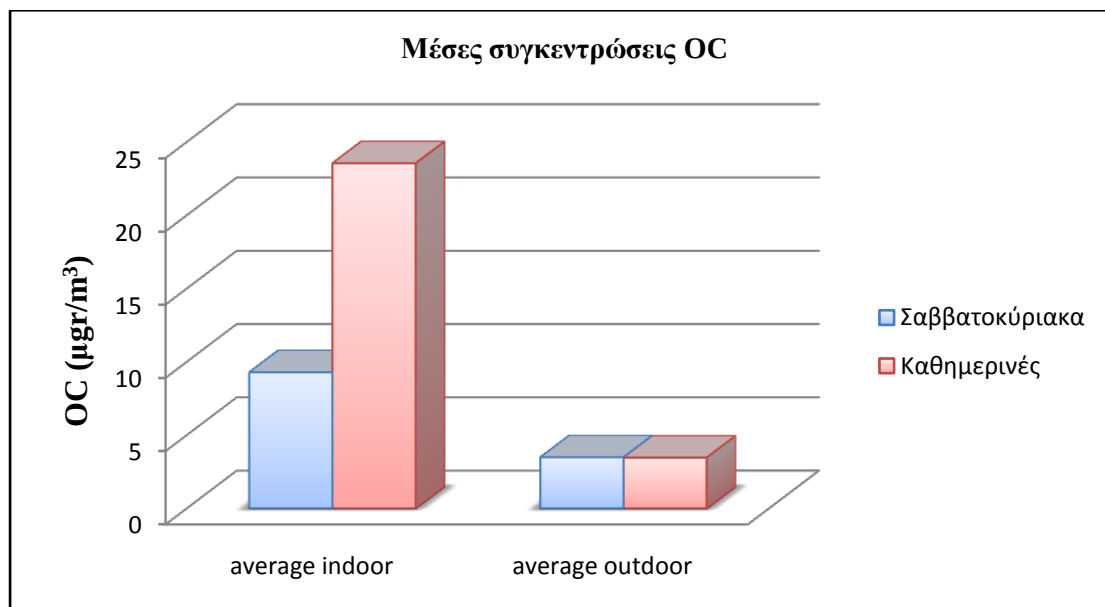
Έπειτα ακολουθεί πίνακας που περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις του στοιχειακού άνθρακα τα Σαββατοκύριακα.

Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις στοιχειακού άνθρακα για τα σαββατοκύριακα

Συγκεντρώσεις EC τα σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor	Outdoor	I/O
21/4	0.28	0.30	0.92
22/4	0.39	0.58	0.66
28/4	0.35	0.45	0.79
29/4	0.57	0.48	1.18
5/5	0.89	0.97	0.92
6/5	0.84	0.71	1.18
Average	0.55	0.58	0.94

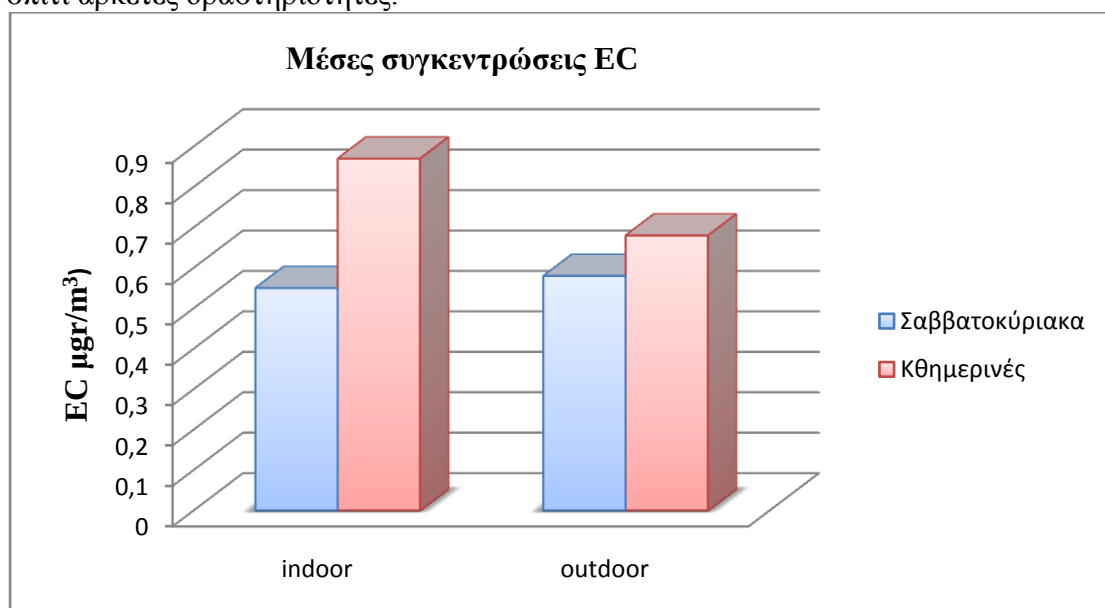
Παρατηρούμε ότι το πρώτο Σαββατοκύριακο του Μαΐου οι συγκεντρώσεις τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό είναι αρκετά υψηλές.

Παρακάτω ακολουθούν ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του οργανικού και του στοιχειακού άνθρακα για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.



Εικόνα 18: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων OC για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.

Παρατηρούμε ότι για το εξωτερικό περιβάλλον τόσο τα σαββατοκύριακα όσο και τις καθημερινές οι τιμές είναι ίδιες ενώ για το εσωτερικό περιβάλλον τις καθημερινές έχουμε αρκετά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από ότι τα σαββατοκύριακα γεγονός που πιθανόν οφείλεται στο ότι τις καθημερινές λαμβάνουν χώρα μέσα στο σπίτι αρκετές δραστηριότητες.



Εικόνα 19: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων EC για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.

Βλέποντας το ραβδόγραμμα του στοιχειακού άνθρακα παρατηρούμε ότι τόσο οι εσωτερικές όσο και οι εξωτερικές τιμές ακολουθούν την ίδια τάση στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας με τους λόγους I/O για τον οργανικό και το στοιχειακό άνθρακα καθώς και ο λόγος OC/EC.

Πίνακας 10:Λόγος I/O για τον οργανικό και στοιχειακό άνθρακα.

	OC	EC	OC/EC	
Ημέρες	I/O	I/O	Indoor	Outdoor
17/4	12.7	2.18	44.7	7.71
18/4	8.24	1	39.7	4.85
19/4	11.9	1.13	40.3	3.79
20/4	8.36	1.29	36.3	5.59
21/4	6.34	0.92	33.7	4.85
22/4	4.1	0.66	33.5	5.4
23/4	26.1	2.33	52.3	4.66
24/4	2.21	0.76	10.5	3.38
25/4	6.98	1.46	20.6	4.3
26/4	2.88	1.79	6.12	3.81
27/4	4.51	0.93	27.9	5.76
28/4	2.8	0.79	26	7.35
29/4	2.56	1.18	14.3	6.61
30/4	2.66	0.94	20.2	7.13
1/5	2.35	1.2	17	8.73
2/5	4.35	1.05	28	6.73
3/5	4.2	1.4	17.9	5.89
4/5	2.21	1.28	13.9	8
5/5	1.53	0.92	9.5	5.7
6/5	1.78	1.18	8.89	5.9
Average	5.94	1.22	25.1	5.81
Max	26.1	2.33	52.3	8.73
Min	1.78	0.66	8.89	3.79

Όλες τις ημέρες ο λόγος I/O για τον οργανικό άνθρακα είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τις ημέρες με πολύ υψηλές εσωτερικές τιμές έχουμε κάπνισμα χωρίς βέβαια αυτό να δικαιολογεί τις τόσο μεγάλες τιμές. Η μέγιστη τιμή του λόγου I/O για τον οργανικό άνθρακα είναι 12.7 ενώ η ελάχιστη 1.53. Αντίστοιχα ο στοιχειακός άνθρακας έχει μέγιστο λόγο 2.18 και ελάχιστο 0.66.

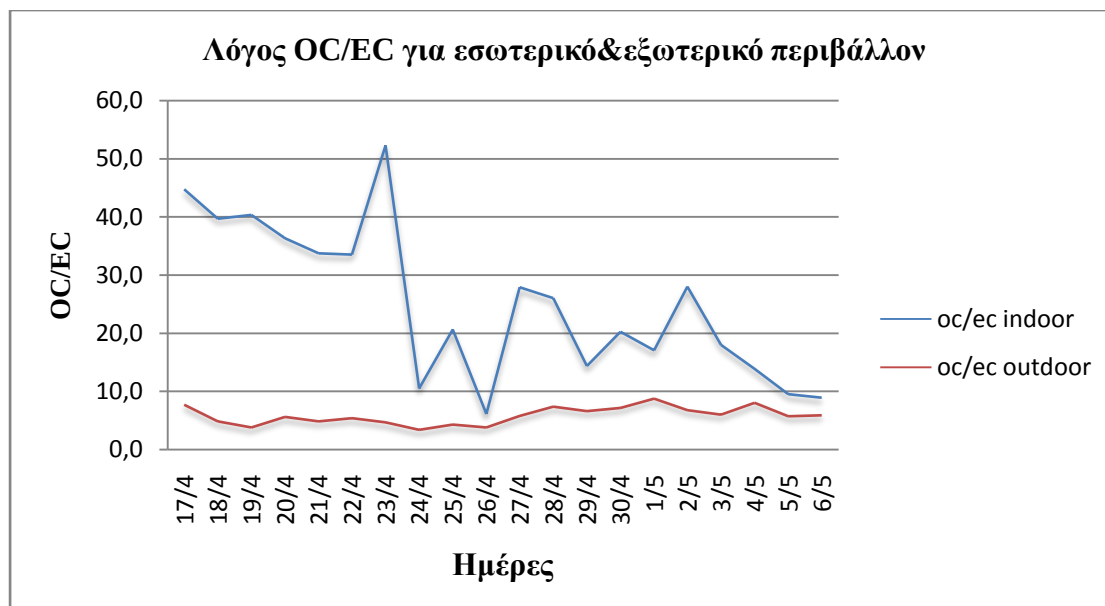
Ο λόγος OC/EC για το εσωτερικό περιβάλλον κυμαίνεται από 6.12-52.3 ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον από 3.38-8.73. Η διαφορά του λόγου OC/EC για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον είναι αρκετά μεγάλη.

Από μελέτες γνωρίζουμε ότι τα σωματίδια που περιέχουν άνθρακα απαρτίζονται από οργανικό και στοιχειακό άνθρακα. Ο στοιχειακός άνθρακας εκπέμπεται άμεσα από το περιβάλλον ενώ ο οργανικός άνθρακας εμφανίζεται με δύο μορφές πρώτον το πρωτογενή που εκπέμπεται άμεσα από το περιβάλλον και δεύτερον το δευτερογενή που προκύπτει μέσω ατμοσφαιρικής οξείδωσης των οργανικών αερίων. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τη συνεισφορά τόσο του πρωτογενή όσο και του δευτερογενή οργανικού άνθρακα στο περιβάλλον (Yu et.al 2004).

Όταν ο λόγος OC/EC υπερβαίνει τη τιμή δύο υποδηλώνεται η παρουσία δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων (Selevanti et.al 2011). Στη περίπτωση μας βλέπουμε ότι ο λόγος OC/EC ξεπερνά πάντα τη τιμή 2 τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον γεγονός που συνεπάγεται τη παρουσία δευτερογενών αερολυμάτων.



Εικόνα 20: Λόγος I/O για τον οργανικό και στοιχειακό άνθρακα.



Εικόνα 21: Λόγος OC/EC για το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον

4.3 Ιόντα

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τις μέσες τιμές των ιόντων και του λόγου I/O.

Πίνακας 11: Μέσες συγκεντρώσεις ιόντων

Ions	indoor			Outdoor			I/O	
	Average (μgr/m ³)	Range (μgr/m ³)	%	Average (μgr/m ³)	Range (μgr/m ³)	%	average	Range
F ⁻	0.05	0.01-0.03	0.14	0.02	0.01-0.3	0.15	2.32	1-16.5
Cl ⁻	0.24	0.02-0.79	0.69	0.22	0.02-1.33	1.68	2.56	0.58-14
NO ₃ ⁻	0.89	0.33-1.69	2.57	0.88	0.39-1.51	6.72	1.09	0.38-2.28
PO ₄ ⁻³	0.58	0.31-0.89	1.68	0.58	0.37-0.89	4.43	1.03	0.55-1.86
SO ₄ ⁻²	2.24	0.57-5.38	6.47	2.78	1.18-4.72	21.2	0.81	0.39-1.2
Na ⁺	1.03	0.38-1.42	2.98	1.09	0.31-2.19	8.32	1.07	0.66-3.38
NH ₄ ⁺	0.78	0.13-1.42	2.25	0.72	0.11-1.66	5.5	1.66	0.14-5.6
K ⁺	0.1	0.03-0.28	0.26	0.1	0.07-0.14	0.69	1.05	0.36-3.5
Mg ⁺²	0.05	0.04-0.16	0.14	0.06	0.03-0.16	0.46	1.02	0.75-1.66
Ca ⁺²	0.20	0.05-0.37	0.49	0.25	0.11-0.41	1.76	0.81	0,2-2,27

Έπειτα βλέπουμε το ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις των ιόντων για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

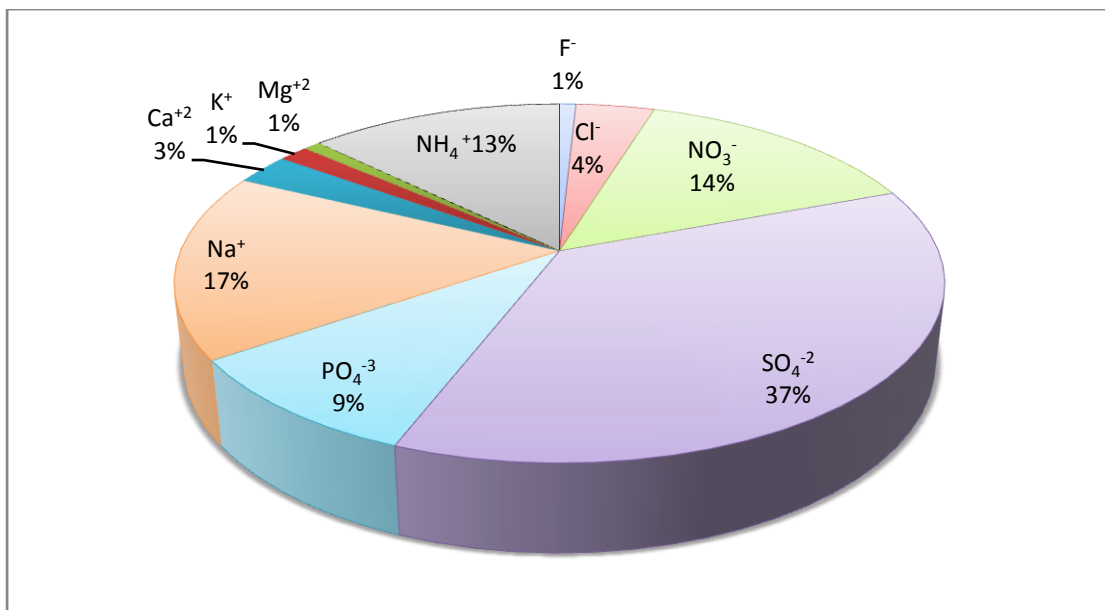


Εικόνα 22: Μέσες συγκεντρώσεις ιόντων στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

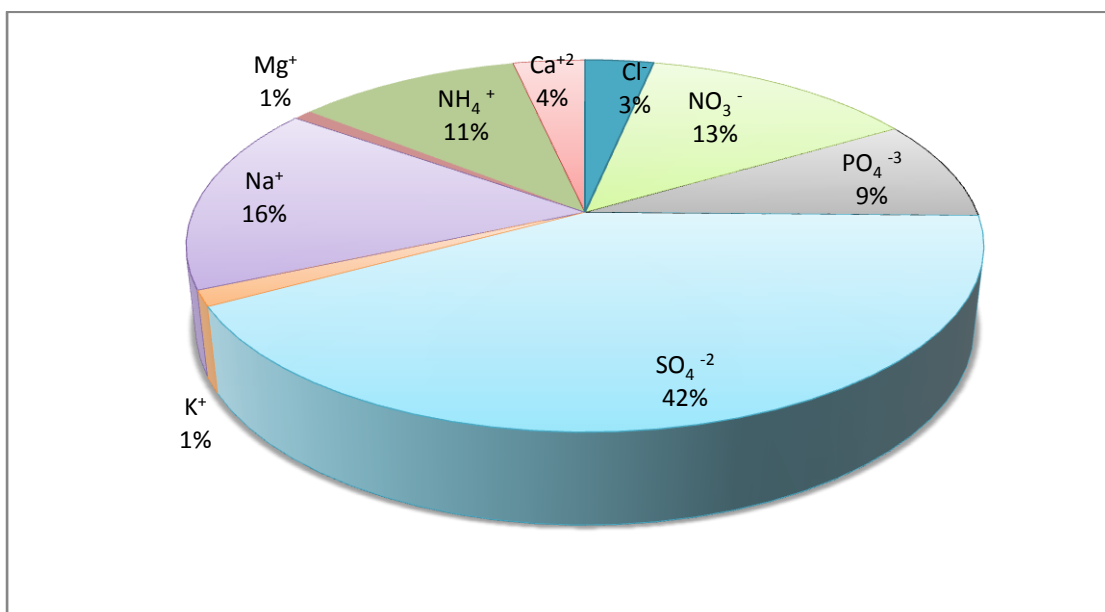
Από το ραβδόγραμμα παρατηρούμε ότι στα μισά ιόντα οι εξωτερικές τιμές είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές όπως στα PO₄³⁻, στα SO₄²⁻, στο Na⁺ και στο Mg²⁺ ενώ στα υπόλοιπα συμβαίνει το ανάποδο.

Επίσης βλέπουμε ότι τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τις εμφανίζουν τα SO₄²⁻, το Na⁺, το NH₄⁺ και τα NO₃⁻ ενώ τις μικρότερες συγκεντρώσεις τις εμφανίζουν το F⁻, το K⁺ και το Mg²⁺.

Στη συνέχεια ακολουθούν γραφήματα με τις συγκεντρώσεις του κάθε ιόντος ξεχωριστά.



Εικόνα 23: Ποσοστά ιόντων επί της ολικής συγκέντρωσης μάζας $\text{PM}_{2.5}$ για το εσωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 24: Ποσοστά ιόντων επί της ολικής συγκέντρωσης μάζας $\text{PM}_{2.5}$ για το εξωτερικό περιβάλλον.

Έπειτα ακολουθεί πίνακας με τις εξωτερικές συγκεντρώσεις ιόντων σε πέντε διαφορετικές περιοχές της Αθήνας.

Πίνακας 12: Μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις ιόντων σε πέντε διαφορετικές περιοχές της Αθήνας (Selevanti et.al 2011, Vratolis et.al 2012, Pateraki et.al 2008, Theodosi et.al 2011).

ions	Outdoor average ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)						Μαρούσι
	Λυκόβρυση	Νέα Σμύρνη	Γουδί	Αγ.Παρασκευή	Λυκόβρυση (2005)	Αθήνα (κέντρο)	
F^-	0.02	0.04		0.01	-	0.14	
Cl^-	0.22	0.68	0.49	0.05	0.40	2.76	2
NO_3^-	0.88	0.38	1.09	0.67	1.08	1.70	3.16
PO_4^{3-}	0.58	-	-	0.03	-	0.54	-
SO_4^{2-}	2.78	2.24	5.79	2.93	6.08	3.84	5.36
Na^+	1.09	1.28	0.83	0.15	0.85	6.68	11.3
NH_4^+	0.72	1.09	0.92	1.15	0.79	0.53	-
K^+	0.1	0.25	0.46	0.10	0.71	0.73	-
Mg^{+2}	0.06	0.07	0.05	0.02	0.07	0.12	0.29
Ca^{+2}	0.25	0.68	0.30	0.19	0.56	0.38	1.33

Παρατηρώντας το πίνακα φαίνεται ότι τα SO_4^{2-} παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ενώ το F^- και το Mg^{2+} τις μικρότερες. Επίσης αισθητές είναι οι διαφορές στο K^+ , στο Ca^{2+} και στα SO_4^{2-} στις τιμές που καταγράφηκαν στη παρούσα μελέτη ($0.1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, $0.25 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, $2.78 \mu\text{gr}/\text{m}^3$) με τις τιμές που είχαν καταγραφεί στη Λυκόβρυση το 2005 ($0.71 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, $0.56 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, $6.08 \mu\text{gr}/\text{m}^3$) (Theodosi et.al 2011).

Στη συνέχεια θα ακολουθήσει εκτενέστερη ανάλυση των ιόντων και σύγκριση τιμών με τις παραπάνω περιοχές.

4.4 Ανιόντα

4.4.1 Χλώριο

Ακολουθεί πίνακας με τις εσωτερικές και εξωτερικές τιμές του Cl^- του λόγου I/O και της τυπικής απόκλισης.

Πίνακας 13: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις χλωρίου.

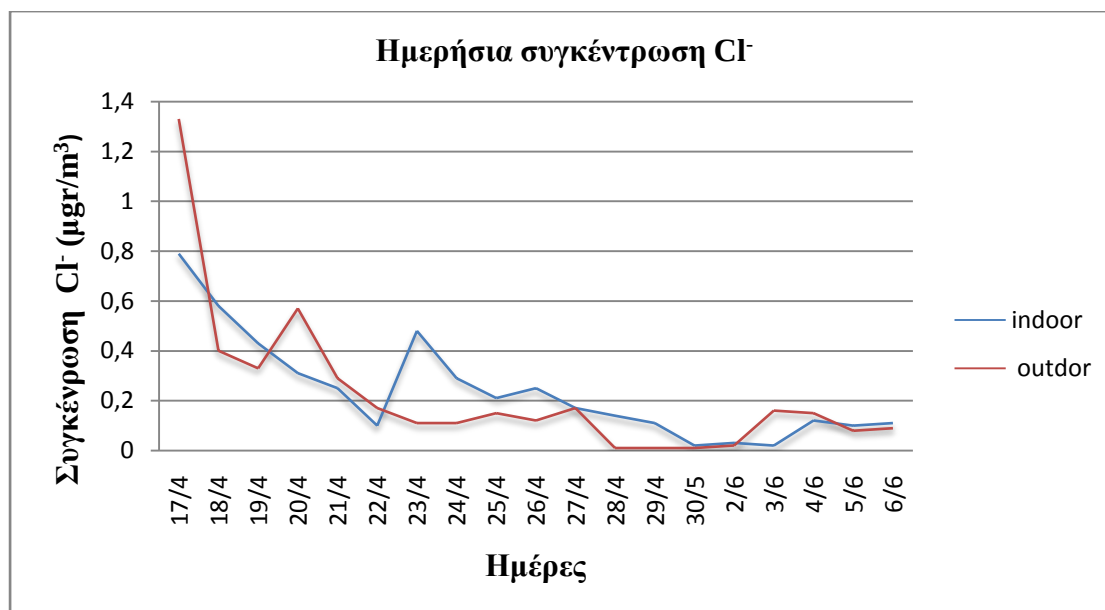
Συγκεντρώσεις Cl^-			
Ημέρες	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
17/4	0.79	1.33	0.59
18/4	0.58	0.4	1.45
19/4	0.43	0.33	1.30
20/4	0.31	0.57	0.54
21/4	0.25	0.29	0.86
22/4	0.1	0.17	0.59
23/4	0.48	0.11	4.36
24/4	0.29	0.11	2.63
25/4	0.21	0.15	1.4
26/4	0.25	0.12	2.08
27/4	0.17	0.17	1
28/4	0.14	0.01	14
29/4	0.11	0.01	11
30/4	0.02	0.01	2

Συγκεντρώσεις Cl^-			
Ημέρες	Indoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor ($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
2/5	0.03	0.02	1.5
3/5	0.02	0.16	0.12
4/5	0.12	0.15	0.8
5/5	0.1	0.08	1.25
6/5	0.11	0.09	1.22
Average	0.24	0.22	2.56
Max	0.79	1.33	14
Min	0.02	0.02	0.54
Std	0.21	0.3	3.66

Στο εσωτερικό περιβάλλον οι τιμές του Cl^- είναι τις περισσότερες φορές μεγαλύτερες από ότι στο εξωτερικό και ιδιαίτερα τη 28/4 και 29/4 με λόγους I/O 14 και 11 αντίστοιχα. Και τις δύο αυτές μέρες επικρατούσε πολύ δυνατός αέρας στο εξωτερικό περιβάλλον. Πιθανόν οι μεγάλες τιμές στο εσωτερικό να οφείλονται στη χρήση απορρυπαντικών. Η μέση εξωτερική τιμή του Cl^- που προέκυψε από τη δειγματοληψία είναι $0.22 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ συγκρίνοντας την με άλλες τιμές στη περιοχή της Αγίας παρασκευής $0.05 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et. al 2012), της Νέας Σμύρνης $0.68 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), του Γουδί $0.49 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011), της Λυκόβρυσης $0.40 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011) και στο κέντρο της Αθήνας $2,76 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι είναι αρκετά χαμηλή εν συγκρίσει με τις τιμές των άλλων περιοχών. Επίσης συγκρίνοντας την τιμή μας $0.22 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τη τιμή της Λυκόβρυσης $0.40 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ το 2005 βλέπουμε ότι είναι αρκετά μικρότερη γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μείωση των οχημάτων και σε μετεωρολογικούς παράγοντες.

Η τυπική απόκλιση του Cl^- στο εσωτερικό είναι 0.21 ενώ αν αφαιρέσουμε τη μέγιστη τιμή παρατηρούμε ότι μειώνεται στο 0.16 αντίστοιχα για το εξωτερικό περιβάλλον η τυπική απόκλιση είναι 0.3 και αφαιρώντας τη μέγιστη τιμή μειώνεται στο 0.15.

Ακολουθεί διάγραμμα με τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις του Cl^- για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 25: Ημερήσια συγκέντρωση χλωρίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

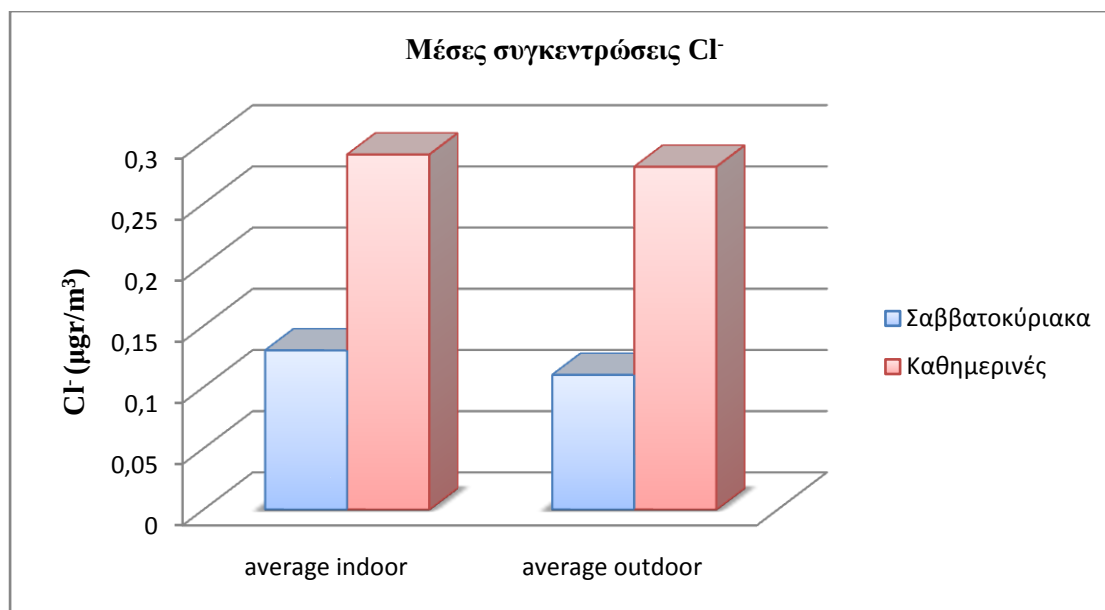
Έπειτα ακολουθεί πίνακας που περιλαμβάνει τις συγκεντρώσεις του Cl⁻ τα Σαββατοκύριακα.

Πίνακας 14: Συγκεντρώσεις χλωρίου τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις Cl ⁻ τα σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor	Outdoor	I/O
21/4	0.25	0.29	0.86
22/4	0.1	0.17	0.59
28/4	0.14	0.01	14
29/4	0.11	0.01	11
5/5	0.1	0.08	1.25
6/5	0.11	0.09	1.22
Average	0.13	0.11	4.82

Σχεδόν όλα τα Σαββατοκύριακα οι εσωτερικές συγκεντρώσεις του Cl⁻ είναι ελαφρά μεγαλύτερες από τις εξωτερικές με εξαίρεση το πρώτο σαββατοκύριακο του απριλίου.

Στη συνέχεια βλέπουμε το διάγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του Cl⁻ τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.



Εικόνα 26: Ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του χλωρίου τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Παρατηρούμε ότι οι μέσες συγκεντρώσεις του Cl⁻ τις καθημερινές είναι ίδιες τόσο για το εσωτερικό όσο και το εξωτερικό περιβάλλον ενώ τα σαββατοκύριακα οι μέσες συγκεντρώσεις του Cl⁻ είναι ελαφρά μεγαλύτερες στο εσωτερικό περιβάλλον από ότι στο εξωτερικό. Επίσης παρατηρούμε ότι ακολουθείτε η ίδια τάση και τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον.

4.4.2 Φθόριο

Ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του F⁻ για όλες τις ημέρες τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό.

Πίνακας 15: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις φθορίου.

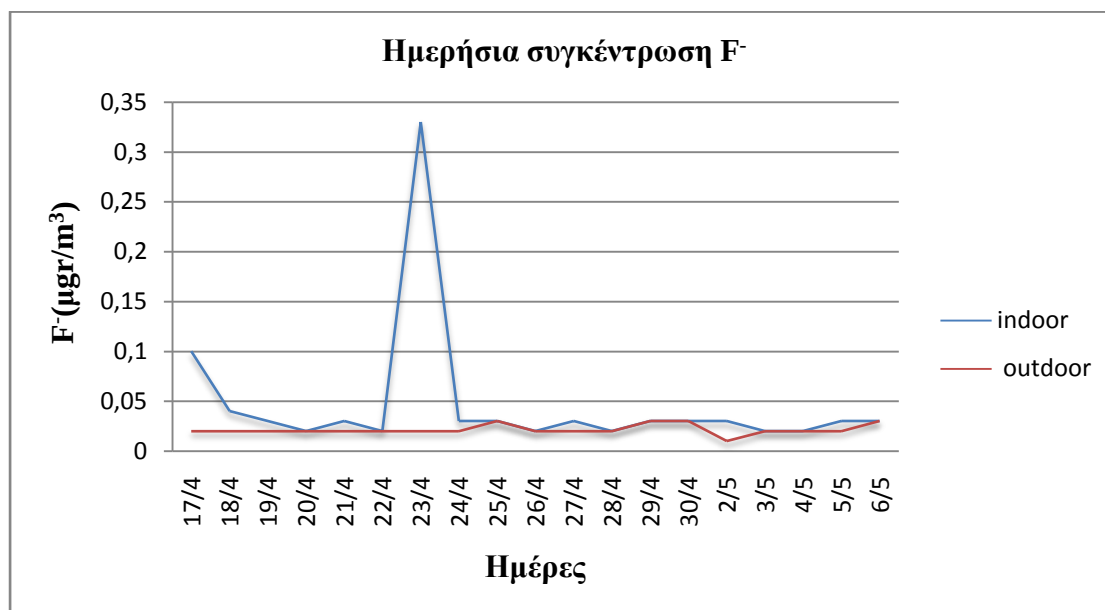
Συγκεντρώσεις F ⁻			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
17/4	0.1	0.02	5
18/4	0.04	0.02	2
19/4	0.03	0.02	1.5
20/4	0.02	0.02	1
21/4	0.03	0.02	1.5
22/4	0.02	0.02	1
23/4	0.33	0.02	16.5
24/4	0.03	0.02	1.5
25/4	0.03	0.03	1
26/4	0.02	0.02	1
27/4	0.03	0.02	1.5
28/4	0.02	0.02	1
29/4	0.03	0.03	1

30/4	0.03	0.03	1
2/5	0.03	0.01	3
3/5	0.02	0.02	1
4/5	0.02	0.02	1
5/5	0.03	0.02	1.5
6/5	0.03	0.03	1
Average	0.05	0.02	2.32
Max	0.33	0.03	16.5
Min	0.02	0.01	1

Οι τιμές του F^- είναι παραπλήσιες στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον για αυτό και ο λόγος I/O είναι ίσος με ένα. Με εξαίρεση δύο ημέρες την πρώτη που ο λόγος I/O είναι 5 και την έβδομη που είναι 16.5. Να σημειωθεί ότι την έβδομη μέρα υπήρχε έντονο κάπνισμα (10 τσιγάρα).

Συγκρίνοντας τη μέση εξωτερική συγκέντρωση του F^- που προέκυψε από τη δειγματοληψία $0.02 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τις μέσες τιμές στη περιοχή της Αγίας παρασκευής $0.01 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνη $0.04 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και του κέντρου της Αθήνας $0.14 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στην Αγία Παρασκευή.

Ακολουθεί διάγραμμα με τις εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις του φθορίου.



Εικόνα 27: Ημερήσια συγκέντρωση φθορίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

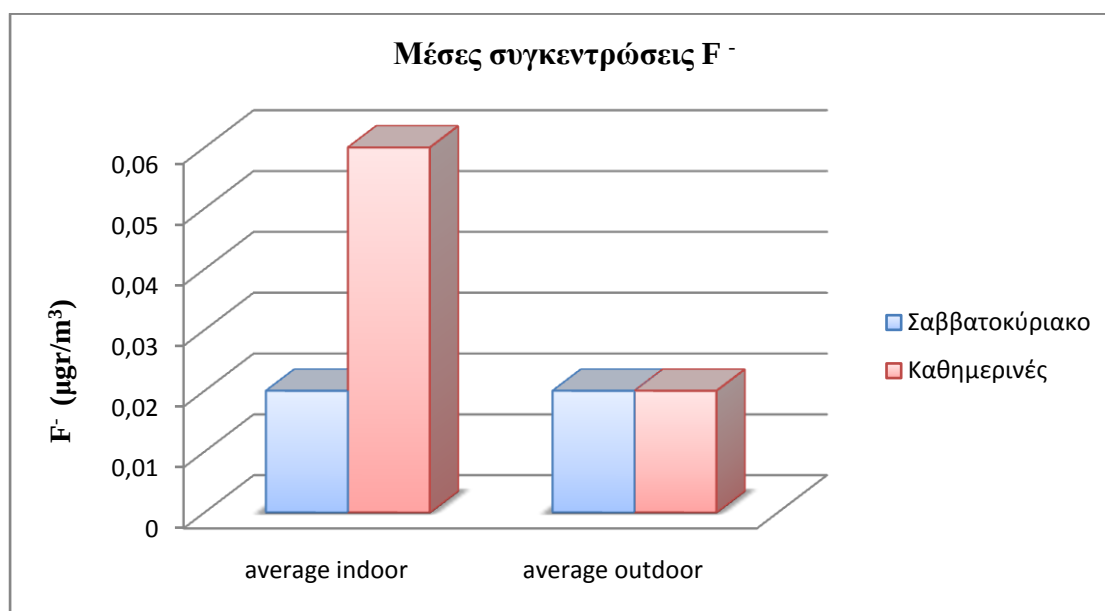
Έπειτα βλέπουμε το πίνακα με τις συγκεντρώσεις του F^- το σαββατοκύριακο.

Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις φθορίου τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις F ⁻ το Σαββατοκύριακο			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
21/4	0.03	0.02	1.5
22/4	0.02	0.02	1
28/4	0.02	0.02	1
29/4	0.03	0.03	1
5/5	0.03	0.02	1.5
6/5	0.03	0.03	1
Average	0.03	0.02	1.17

Βλέπουμε ότι τις περισσότερες φορές οι εσωτερικές και οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι ίδιες γι αυτό και ο λόγος I/O είναι ένα, με εξαίρεση το πρώτο Σάββατο του Απριλίου και το πρώτο Σάββατο του Μαΐου.

Στη συνέχεια φαίνεται το ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις F⁻ το σαββατοκύριακο.



Εικόνα 28: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων του χλωρίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Παρατηρούμε ότι για το εσωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις τις καθημερινές είναι αρκετά μεγαλύτερες από ότι τα σαββατοκύριακα ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις είναι ίδιες και τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

4.4.3 Νιτρικά

Ακολουθεί πίνακας με τις εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις των NO₃⁻ για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας.

Πίνακας 17: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις νιτρικών.

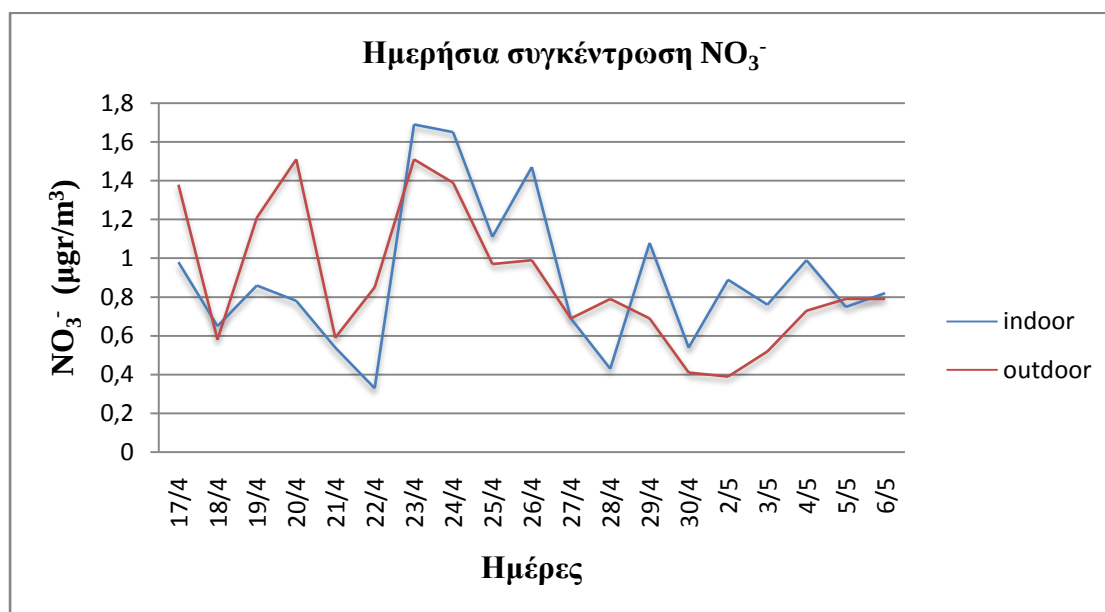
Συγκεντρώσεις NO ₃ ⁻			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
17/4	0.98	1.38	0.71
18/4	0.65	0.58	1.12
19/4	0.86	1.21	0.71
20/4	0.78	1.51	0.51
21/4	0.54	0.59	0.91
22/4	0.33	0.85	0.39
23/4	1.69	1.51	1.12
24/4	1.65	1.39	1.19
25/4	1.11	0.97	1.14
26/4	1.47	0.99	1.48
27/4	0.69	0.69	1
28/4	0.43	0.79	0.54
29/4	1.08	0.69	1.56
30/4	0.54	0.41	1.31
2/5	0.89	0.39	2.28
3/5	0.86	0.52	1.46
4/5	0.99	0.73	1.35
5/5	0.75	0.79	0.95
6/5	0.82	0.79	1.03
Average	0.89	0.88	1.09
Max	1.69	1.51	2.28
Min	0.33	0.39	0.54

Παρατηρούμε ότι τις ημέρες που οι τιμές στο εξωτερικό περιβάλλον είναι αυξημένες και στο εσωτερικό οι τιμές είναι εξίσου μεγάλες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η 23/4 με εξωτερική τιμή 1.51 μgr/m³ και εσωτερική 1.64 μgr/m³.

Η μέση εξωτερική τιμή είναι 0.88 μgr/m³ συγκρίνοντας την με τις μέσες τιμές στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής 0.63 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012) , της Νέας Σμύρνης 0.38 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012), του κέντρου της Αθήνας 1.70 μgr/m³ (Selevanti et.al 2011), της Λυκόβρυσης 1.08μgr/m³ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί 1.09 μgr/m³ (Theodosi et.al 2011) παρατηρούμε ότι βρίσκεται πιο κοντά στη τιμή που έχει καταγραφεί στην Αγία Παρασκευή ενώ είναι αρκετά μικρότερη από την τιμή που έχει καταγραφεί στη Λυκόβρυση το 2005.

Γενικά, τις περισσότερες ημέρες οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τις εξωτερικές γεγονός που υποδηλώνει ότι το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει άμεσα το εσωτερικό. Συγκρίνοντας την μέση εσωτερική μας τιμή 0.89 μgr/m³ με αυτή που καταγράφηκε στο κέντρο της Αθήνας 0.44 μgr/m³ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι αρκετά μεγαλύτερη γεγονός που πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι στη περιοχή υπάρχουν αρκετά εργοστάσιο και ότι το σπίτι βρίσκεται μόνο 1km μακριά από δρόμο ταχείας κυκλοφορίας.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις των NO_3^- .



Εικόνα 29: Ημερήσια συγκέντρωση νιτρικών για το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον.

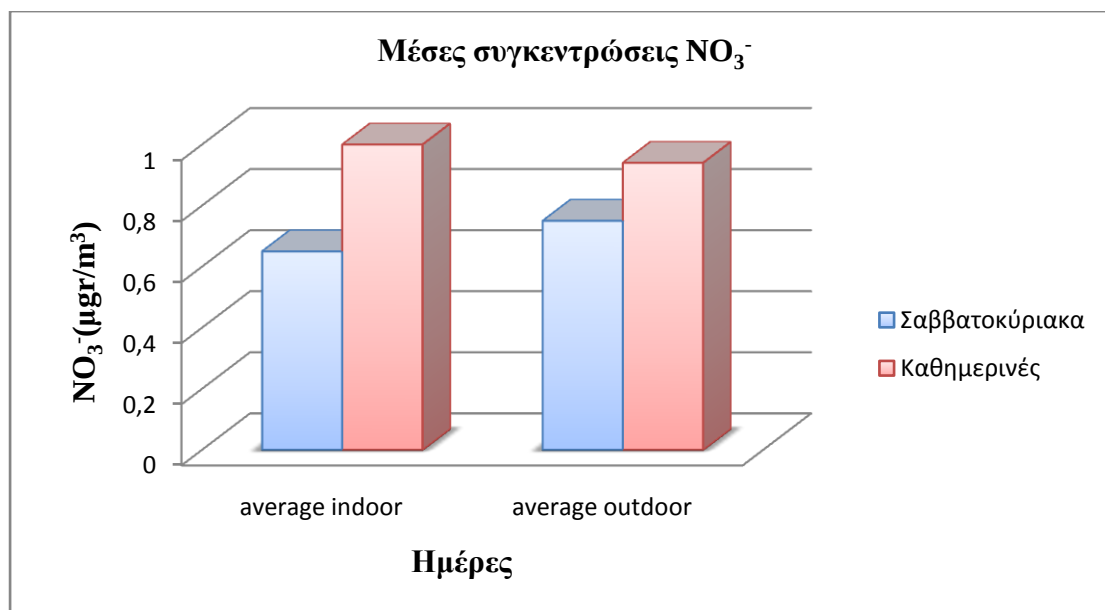
Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι συγκεντρώσεις των NO_3^- τα σαββατοκύριακα

Πίνακας 18: Συγκεντρώσεις νιτρικών για τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις NO_3^- τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
21/4	0.54	0.59	0.91
22/4	0.33	0.85	0.39
28/4	0.43	0.79	0.54
29/4	1.08	0.69	1.56
5/5	0.75	0.79	0.95
6/5	0.82	0.79	1.03
Average	0.66	0.75	0.89

Παρατηρούμε ότι σχεδόν όλα τα σαββατοκύριακα οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές με εξαίρεση τη τελευταία Κυριακή του Απριλίου και τη πρώτη Κυριακή του Μαΐου. Γενικά όλες οι εξωτερικές τιμές είναι μικρότερες από τη μέση εξωτερική συγκέντρωση $0.88 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Έπειτα ακολουθεί το ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις το σαββατοκύριακο.



Εικόνα 30: Μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Βλέπουμε ότι τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις τις καθημερινές είναι μεγαλύτερες από ότι τα σαββατοκύριακα.

4.4.4 Φωσφορικά

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις εξωτερικές και εσωτερικές συγκεντρώσεις καθώς και το λόγο I/O των PO₄³⁻.

Πίνακας 19: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις φωσφορικών.

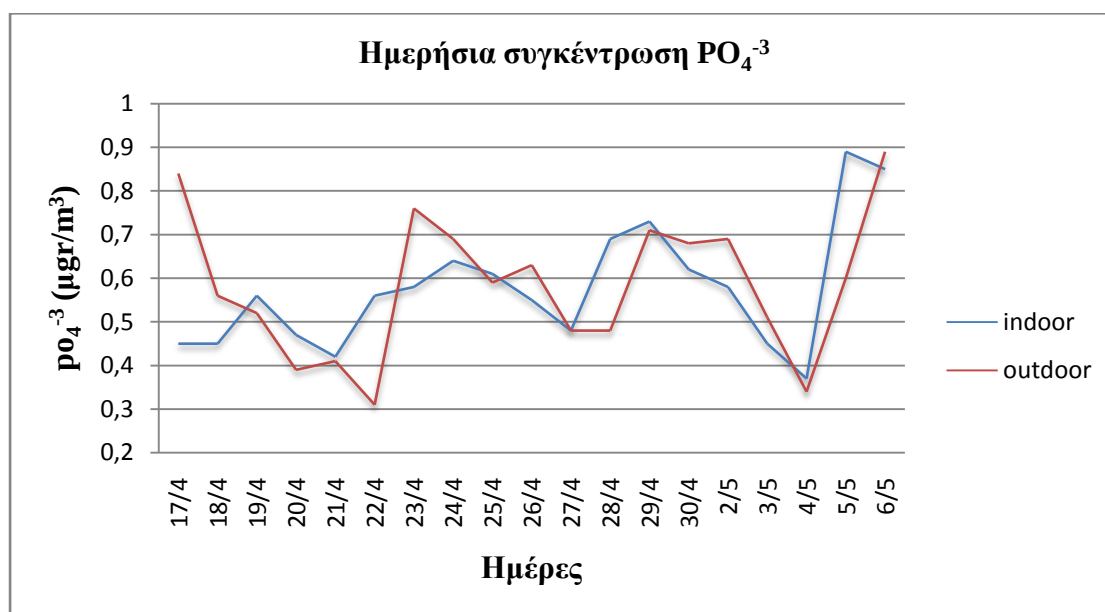
Ημέρες	Συγκεντρώσεις PO ₄ ³⁻		
	Indoor(µgr/m ³)	Outdoor(µgr/m ³)	I/O
17/4	0.84	0.45	1.86
18/4	0.56	0.45	1.24
19/4	0.52	0.56	1.92
20/4	0.39	0.47	1.83
21/4	0.41	0.42	0.97
22/4	0.31	0.56	0.55
23/4	0.76	0.58	1.33
24/4	0.69	0.64	1.07
25/4	0.59	0.61	0.96
26/4	0.63	0.55	1.14
27/4	0.48	0.48	1
28/4	0.48	0.69	0.69
29/4	0.71	0.73	0.97
30/4	0.68	0.62	1.09
2/5	0.69	0.58	1.18
3/5	0.51	0.45	1.13
4/5	0.34	0.37	0.92
5/5	0.6	0.89	0.67
6/5	0.89	0.85	1.04

Συγκεντρώσεις PO_4^{3-}			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
Average	0.58	0.58	1.03
Max	0.84	0.89	1.92
Min	0.31	0.37	0.55

Οι τιμές στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον είναι περίπου παραπλήσιες. Ο μέσος όρος τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον είναι $0.58\mu\text{gr}/\text{m}^3$ γεγονός που μας δείχνει ότι το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει άμεσα το εσωτερικό. Συγκρίνοντας την μέση εξωτερική τιμή των PO_4^{3-} $0.58\mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τη μέση εξωτερική τιμή στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής $0.03\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνης $2.24\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012) και του κέντρου της Αθήνας $0.54\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011), βλέπουμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στο κέντρο της Αθήνας.

Συγκρίνοντας τη μέση εσωτερική τιμή $0.58\mu\text{gr}/\text{m}^3$ με την αντίστοιχη στο κέντρο της Αθήνας $0.54\mu\text{gr}/\text{m}^3$ βλέπουμε ότι και στις δύο περιοχές η μέση εξωτερική τιμή είναι ίση με τη μέση εσωτερική.

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα των εσωτερικών και εξωτερικών συγκεντρώσεων.



Εικόνα 31: Ημερήσια συγκέντρωση φωσφορικών για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

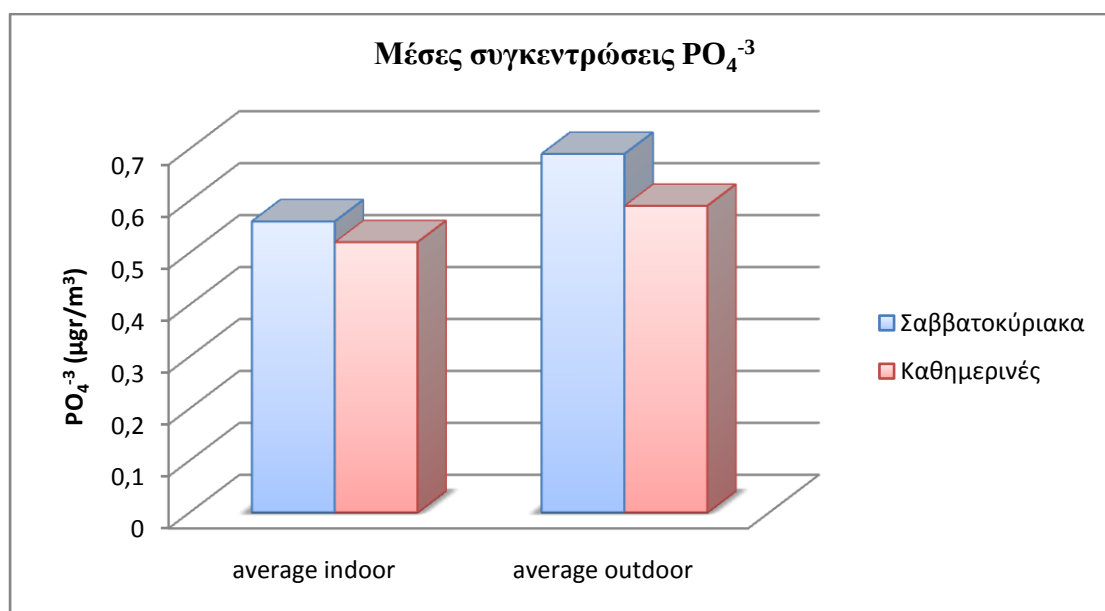
Στη συνέχεια βλέπουμε το πίνακα με τις συγκεντρώσεις των PO_4^{3-} τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 20: Συγκεντρώσεις φωσφορικών τα σαββατοκύριακα.

Συγκέντρωση PO_4^{3-} τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
21/4	0.41	0.42	0.97
22/4	0.31	0.56	0.55
28/4	0.48	0.69	0.69
29/4	0.71	0.73	0.7
5/5	0.6	0.89	0.67
6/5	0.89	0.85	1.04
Average	0.57	0.69	0.77

Σχεδόν όλα τα σαββατοκύριακα οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές για αυτό το λόγο ο λόγος I/O είναι μικρότερος της μονάδας με εξαίρεση τη πρώτη Κυριακή του Μαΐου.

Έπειτα βλέπουμε το ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις των PO_4^{3-} .



Εικόνα 32: Μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις τα σαββατοκύριακα είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των καθημερινών σε αντίθεση με τα υπόλοιπα ιόντα. Και τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές ακολουθείτε η ίδια τάση τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον.

4.4.5 Θεικά

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας που περιέχει τις συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και το λόγο I/O.

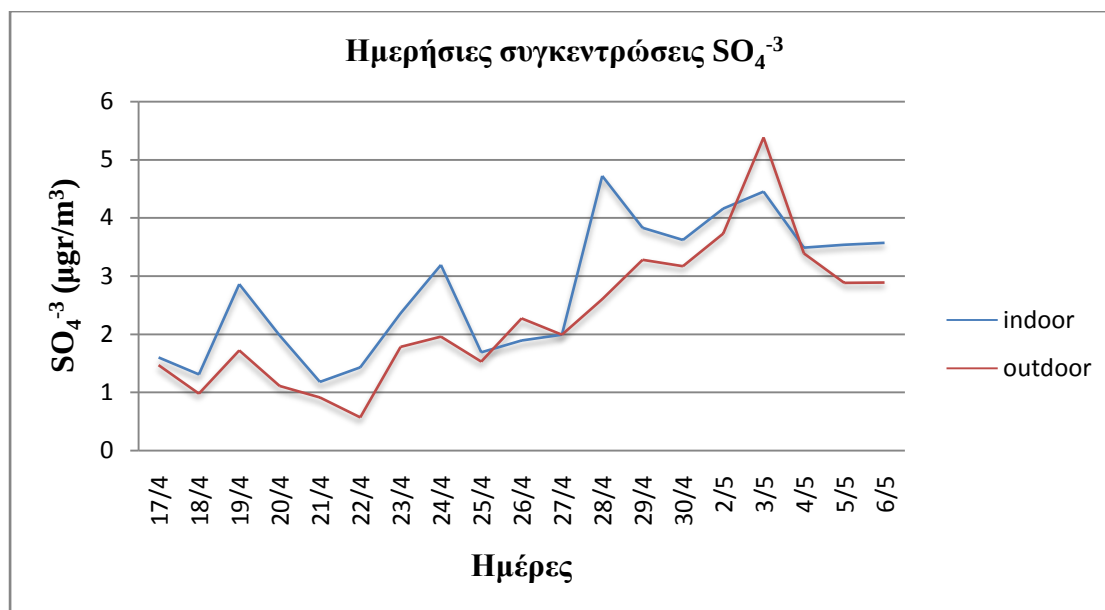
Πίνακας 21: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις θεικών.

Συγκεντρώσεις SO_4^{2-}			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
17/4	1.47	1.6	0.92
18/4	0.98	1.31	0.75
19/4	1.72	2.86	0.60
20/4	1.11	1.98	0.56
21/4	0.91	1.18	0.77
22/4	0.57	1.43	0.39
23/4	1.78	2.36	0.75
24/4	1.96	3.19	0.61
25/4	1.53	1.69	0.90
26/4	2.27	1.89	1.20
27/4	1.99	1.99	1
28/4	2.6	4.72	0.55
29/4	3.28	3.83	0.85
30/4	3.17	3.62	0.87
2/5	3.73	4.16	0.89
3/5	5.38	4.45	1.20
4/5	3.39	3.49	0.97
5/5	2.88	3.54	0.81
6/5	2.89	3.57	0.81
Average	2.24	2.78	0.81
Max	5.38	4.72	1.20
Min	0.57	1.18	0.39

Σχεδόν όλες τις ημέρες οι εξωτερικές τιμές είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές γι αυτό και ο λόγος I/O είναι μικρότερος του ένα. Μέγιστη τιμή για τα SO_4^{2-} παρατηρείται στις 3/5 για το εσωτερικό περιβάλλον και είναι $5.38 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Η μέση εξωτερική τιμή στη Λυκόβρυση είναι $2.78 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής $2.93 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012),στη Νέα Σμύρνη $2.24 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), στο κέντρο της Αθήνας $3.84 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011), στη Λυκόβρυση $6.08 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011) και στο Γουδί $5.79 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011). Η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στην Αγία Παρασκευή. Παρατηρώντας τη τιμή που καταγράφηκε στη Λυκόβρυση το 2005 βλέπουμε ότι η τωρινή τιμή είναι αρκετά μικρότερη γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μείωση των αυτοκινήτων και σε μετεωρολογικές παραμέτρους.

Έπειτα ακολουθεί το διάγραμμα των εξωτερικών και των εσωτερικών συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} .



Εικόνα 33: Ημερήσια συγκέντρωση θεικών για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

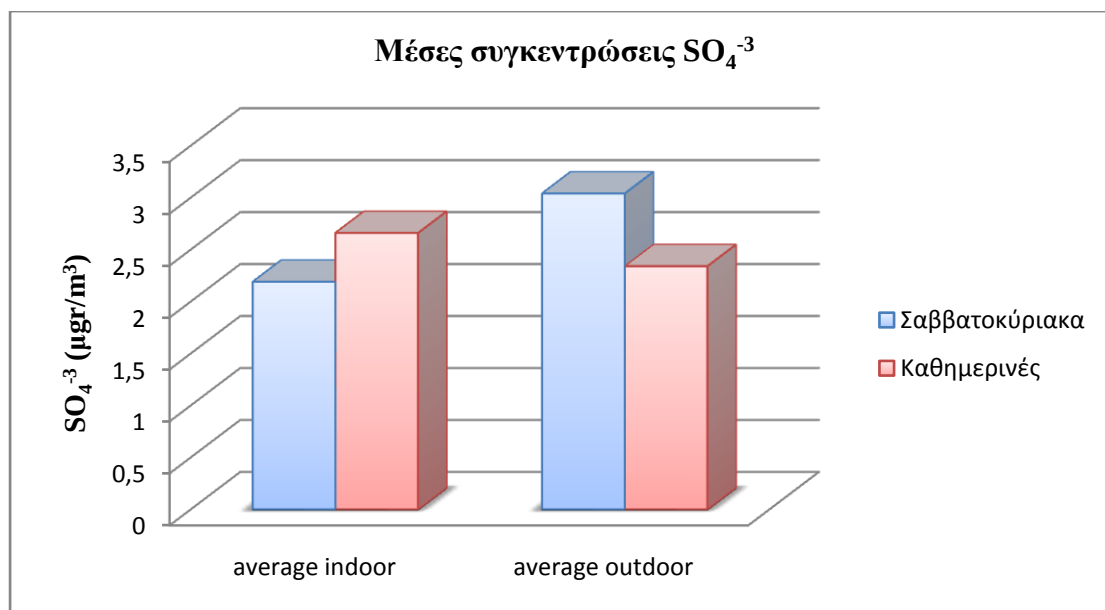
Έπειτα ακολουθεί ο πίνακας με τις μέσες συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 22: Συγκεντρώσεις θεικών τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις SO_4^{2-} τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
21/4	0.91	1.18	0.77
22/4	0.57	1.43	0.39
28/4	2.6	4.72	0.55
29/4	3.28	3.83	0.85
5/5	2.88	3.54	0.81
6/5	2.89	3.57	0.81
Average	2.19	3.04	0.7

Παρατηρούμε ότι το τελευταίο σαββατοκύριακο του Απριλίου και το πρώτο του Μαΐου οι τιμές των SO_4^{2-} είναι αρκετά υψηλές, με τις εξωτερικές συγκεντρώσεις να είναι πιο μεγάλες από τις εσωτερικές.

Στη συνέχεια ακολουθεί ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις SO_4^{2-} τα σαββατοκύριακα.



Εικόνα 34: Μέσες συγκεντρώσεις θεικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι για το μεν εσωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις των καθημερινών είναι μεγαλύτερες από των σαββατοκύριακων ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις των σαββατοκύριακων είναι μεγαλύτερες από των καθημερινών.

4.5 Κατιόντα

4.5.1 Κάλιο

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με τις εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις του K^+ και το λόγο I/O.

Πίνακας 23: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις καλίου.

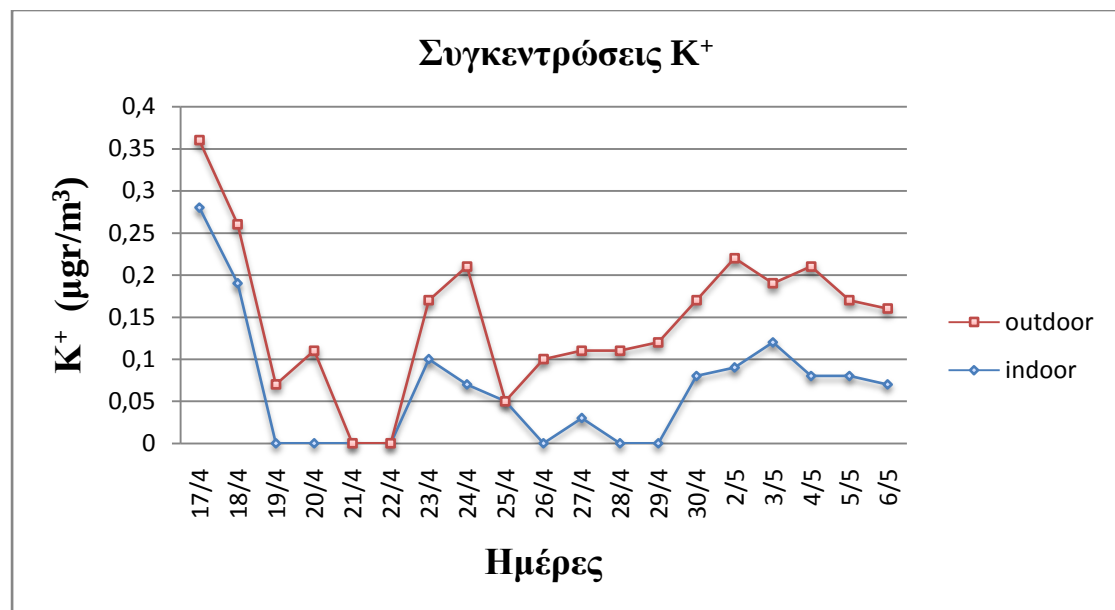
Συγκεντρώσεις K^+			
Ημέρες	Indoor(µgr/m³)	Outdoor(µgr/m³)	I/O
17/4	0.28	0.08	3.5
18/4	0.19	0.07	2.71
19/4	<LOQ	0.07	-
20/4	<LOQ	0.11	-
21/4	<LOQ	<LOQ	-
22/4	<LOQ	<LOQ	-
23/4	0.1	0.07	1.43
24/4	0.07	0.14	0.5
25/4	0.05	<LOQ	-
26/4	<LOQ	0.1	-
27/4	0.03	0.08	0.37
28/4	<LOQ	0.11	-
29/4	<LOQ	0.12	-
30/4	0.08	0.09	0.88

Συγκεντρώσεις K^+			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
2/5	0.09	0.13	0.69
3/5	0.12	0.07	1.71
4/5	0.08	0.13	0.61
5/5	0.08	0.09	0.88
6/5	0.07	0.09	0.77
Average	0.1	0.1	1.27
Max	0.28	0.14	3.5
Min	0.03	0.07	0.61

Η μέση εξωτερική τιμή είναι ίση με τη μέση εσωτερική τιμή $0.1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Συγκρίνοντας την μέση εξωτερική τιμή μας με τις τιμές στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής $0.10 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνης $0.25 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Λυκόβρυσης $0.71 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί $0.46 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011) και του κέντρου της Αθήνας $0.73 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Seleventi et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι ίδια με αυτή που καταγράφηκε στην Αγία Παρασκευή ενώ είναι σχεδόν επτά φορές μικρότερη από εκείνη που είχε καταγραφεί στη Λυκόβρυση το 2005.

Η μέση εσωτερική τιμή είναι $0.1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ συγκρίνοντας την με αυτή στο κέντρο της Αθήνας $0.46 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι αρκετά μικρότερη.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις του K^+ .



Εικόνα 35: Ημερήσια συγκέντρωση καλίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

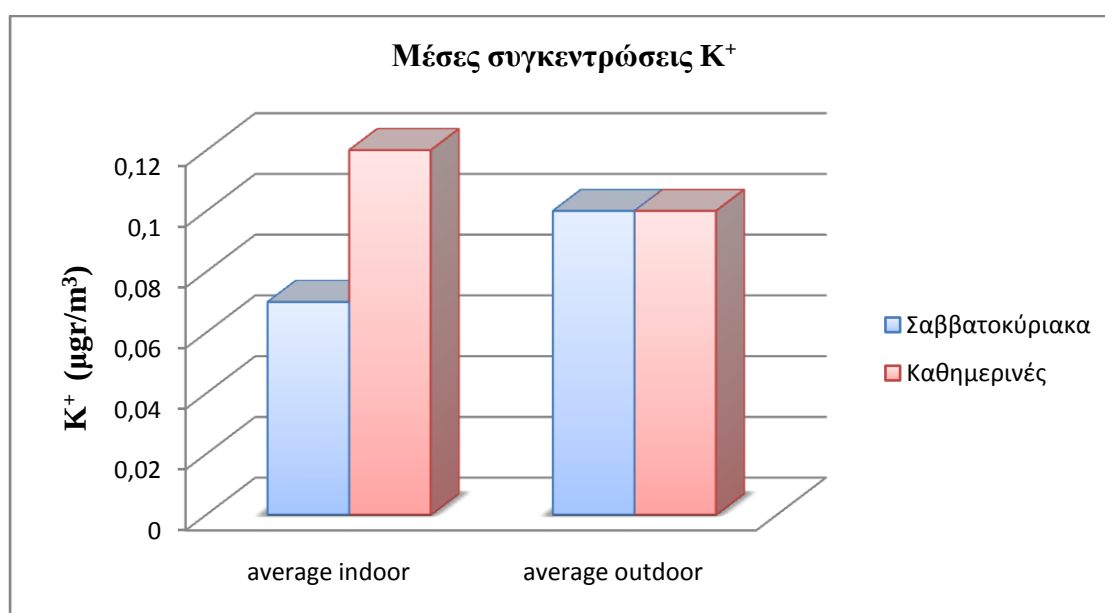
Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του K^+ τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 24: Συγκεντρώσεις καλίου τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις K^+ τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
21/4	<LOQ	<LOQ	<LOQ
22/4	<LOQ	<LOQ	<LOQ
28/4	0.04	0.11	0.36
29/4	0.09	0.12	0.75
5/5	0.08	0.09	0.88
6/5	0.07	0.09	0.77
Average	0.07	0.1	0.74

Βλέποντας το πίνακα παρατηρούμε ότι ο λόγος I/O είναι μικρότερος της μονάδας αφού οι εξωτερικές τιμές είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές.

Στη συνέχεια ακολουθεί το ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του K^+ .



Εικόνα 36: Μέση συγκέντρωση καλίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι τα σαββατοκύριακα οι μέσες συγκεντρώσεις για το εσωτερικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερες από ότι τις καθημερινές σε αντίθεση με το εξωτερικό περιβάλλον.

4.5.2 Νάτριο

Έπειτα ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του Na^+ για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας.

Πίνακας 25: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις νατρίου.

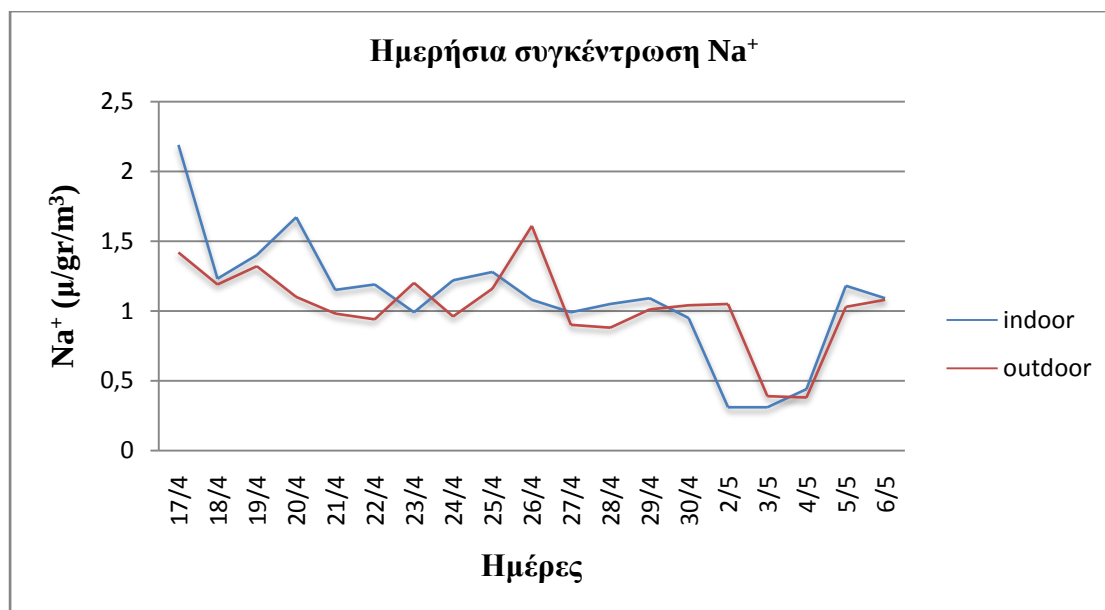
Συγκεντρώσεις Na ⁺			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
17/4	1.42	2.19	0.64
18/4	1.19	1.23	0.96
19/4	1.32	1.4	0.94
20/4	1.1	1.67	0.65
21/4	0.98	1.15	0.85
22/4	0.94	1.19	0.79
23/4	1.2	0.99	1.21
24/4	0.96	1.22	0.78
25/4	1.16	1.28	0.90
26/4	1.61	1.08	1.49
27/4	0.9	0.99	0.90
28/4	0.88	1.05	0.83
29/4	1.01	1.09	0.92
30/4	1.04	0.95	1.09
2/5	1.05	0.31	3.38
3/5	0.39	0.31	1.25
4/5	0.38	0.44	0.86
5/5	1.03	1.18	0.87
6/5	1.08	1.08	0.99
Average	1.03	1.09	1.07
Max	1.61	2.19	3.38
Min	0.38	0.31	0.64

Οι τιμές δε παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό του κτιρίου με μεγαλύτερη εξωτερική τιμή 2.19 μgr/m³ και εσωτερική 1.61 μgr/m³. Γενικά οι εσωτερικές τιμές είναι μικρότερες από τις εξωτερικές χωρίς όμως μεγάλες αποκλίσεις. Εξαίρεση αποτελεί η 2/5 με λόγο I/O 3.38.

Συγκρίνοντας τη μέση εξωτερική τιμή μας 1.09 μgr/m³ με τις τιμές στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής 0.15 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνης 1.28 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012), της Λυκόβρυσης 0.85 μgr/m³ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί 0.83 μgr/m³ (Theodosi et.al 2011) και του κέντρου της Αθήνας 6.68 μgr/m³ (Selevanti et.al 2011) βλέπουμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στη Νέα Σμύρνη ενώ για πρώτη φορά είναι μεγαλύτερη από τη τιμή που είχε καταγραφεί στη Λυκόβρυση το 2005.

Η μέση τιμή στο εσωτερικό περιβάλλον είναι 1.03 μgr/m³ συγκρίνοντας την με εκείνη που καταγράφηκε στο κέντρο της Αθήνας 6.33 μgr/m³ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι αρκετά μικρότερη.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις του Na⁺.



Εικόνα 37: Ημερήσια συγκέντρωση νατρίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

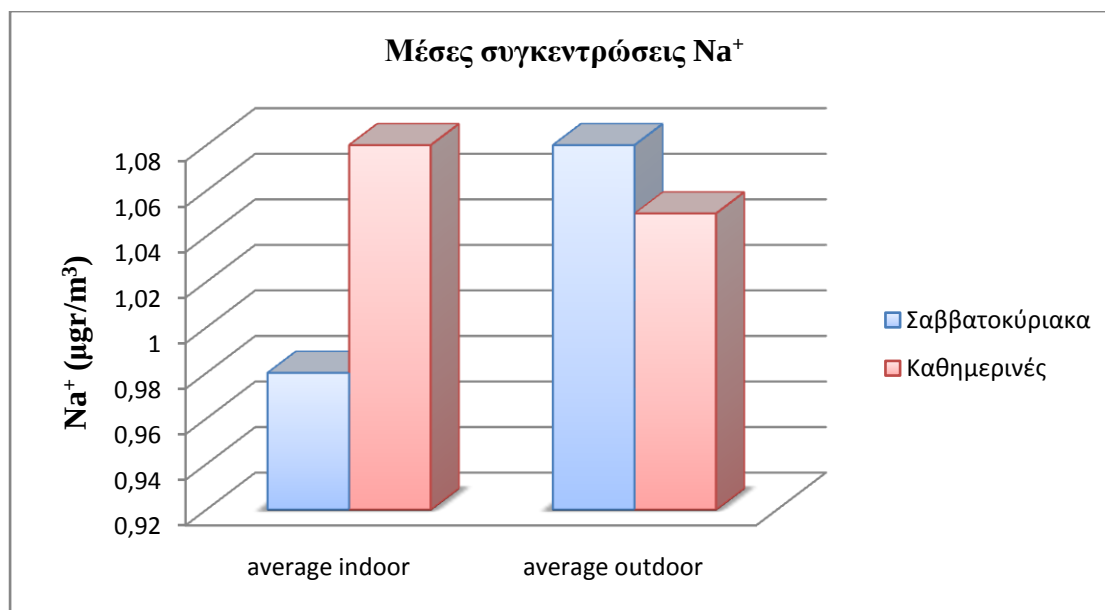
Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του Na⁺ τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 26: Συγκεντρώσεις νατρίου για τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις Na ⁺ το Σαββατοκύριακο			
Ημέρες	Indoor (μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
21/4	0.98	1.15	0.85
22/4	0.94	0.99	0.95
28/4	0.88	1.05	0.83
29/4	1.01	1.03	0.92
5/5	1.03	1.18	0.87
6/5	1.08	1.08	1
Average	0.99	1.08	0.9

Παρατηρούμε ότι οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές για όλα τα σαββατοκύριακα με εξαίρεση τη πρώτη Κυριακή του Μαΐου.

Στη συνέχεια ακολουθεί ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του Na⁺ για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.



Εικόνα 38: Μέσες συγκεντρώσεις νατρίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι στο εσωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις τις καθημερινές είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις τα σαββατοκύριακα γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο σπίτι τις καθημερινές ενώ για το εξωτερικό περιβάλλον συμβαίνει το αντίθετο.

4.5.3 Μαγνήσιο

Παρακάτω βλέπουμε το πίνακα με τις συγκεντρώσεις του Mg²⁺ για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 27: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις μαγνησίου.

Συγκεντρώσεις Mg ⁺²			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	Outdoor(μgr/m ³)	I/O
17/4	0.16	0.16	1
18/4	0.07	0.06	1.16
19/4	0.06	0.08	0.75
20/4	0.05	0.12	0.41
21/4	0.05	0.06	0.83
22/4	0.04	0.05	0.8
23/4	0.05	0.04	1.25
24/4	0.04	0.05	0.8
25/4	0.04	0.05	0.8
26/4	0.09	0.05	1.8
27/4	0.04	0.04	1
28/4	0.04	0.05	0.8
29/4	0.04	0.05	0.8
30/4	0.04	0.04	1
2/5	0.05	0.03	1.66

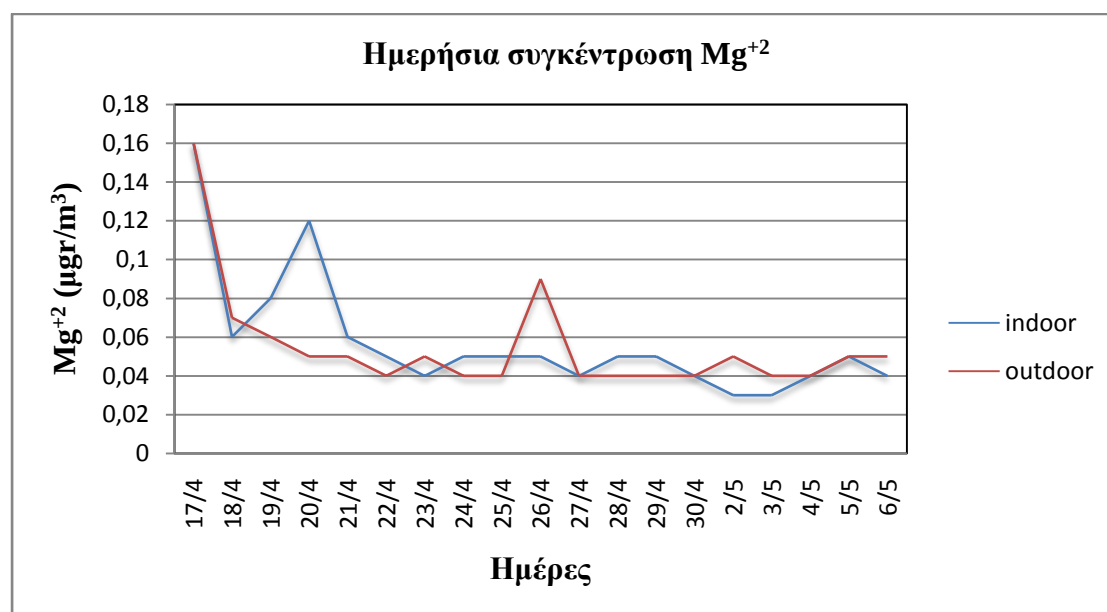
Συγκεντρώσεις Mg^{+2}			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
3/5	0.04	0.03	1.33
4/5	0.04	0.04	1
5/5	0.05	0.05	1
6/5	0.02	0.04	1.25
Average	0.05	0.06	1.02
Max	0.16	0.16	1.66
Min	0.02	0.03	0.41

Οι τιμές τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον είναι παραπλήσιες. Παρουσιάζεται μέγιστο στις 17/4 και για το εσωτερικό αλλά και για το εξωτερικό περιβάλλον με τιμή $0.16 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Συγκρίνοντας τη μέση εξωτερική τιμή $0.06 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τις τιμές στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής $0.02 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνης $0.07 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Λυκόβρυσης $0.07 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί $0.46 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011) και του κέντρου της Αθήνας $0.12 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Seleventi et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στη Νέα Σμύρνη.

Συγκρίνοντας τη μέση εσωτερική τιμή $0.05 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με αυτή που καταγράφηκε στο κέντρο της Αθήνας $0.16 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Seleventi et.al 2011) βλέπουμε ότι η τιμή μας είναι αρκετά μικρότερη.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις.



Εικόνα 39: Ημερήσια συγκέντρωση μαγνησίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

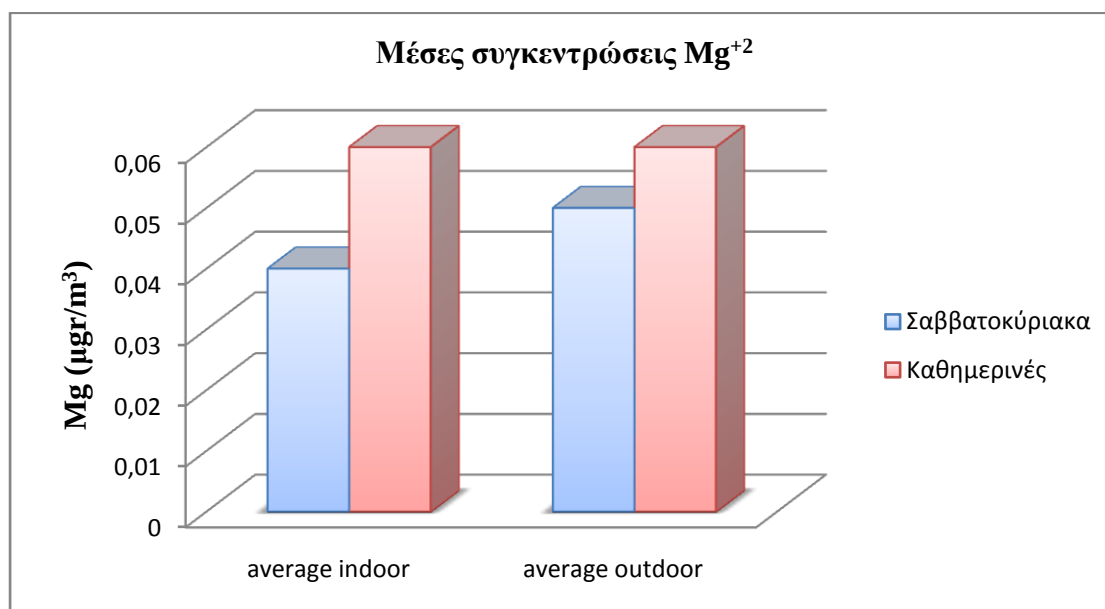
Έπειτα ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του Mg^{2+} τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 28: Συγκεντρώσεις μαγνησίου για τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις Mg^{+2} τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	indoor($\mu gr/m^3$)	Outdoor($\mu gr/m^3$)	I/O
21/4	0.05	0.06	0.83
22/4	0.04	0.05	0.8
28/4	0.04	0.05	0.8
29/4	0.04	0.05	0.8
5/5	0.05	0.05	1
6/5	0.02	0.04	1.25
Average	0.04	0.05	0.91

Παρατηρούμε ότι οι εξωτερικές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τις εσωτερικές με εξαίρεση τη πρώτη Κυριακή του Μαΐου.

Στη συνέχεια ακολουθεί ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του Mg^{2+} για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.



Εικόνα 40: Μέσες συγκεντρώσεις μαγνησίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι και στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον τις καθημερινές οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από ότι τα σαββατοκύριακα.

4.5.4 Αμμώνιο

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του NH_4^+ στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον.

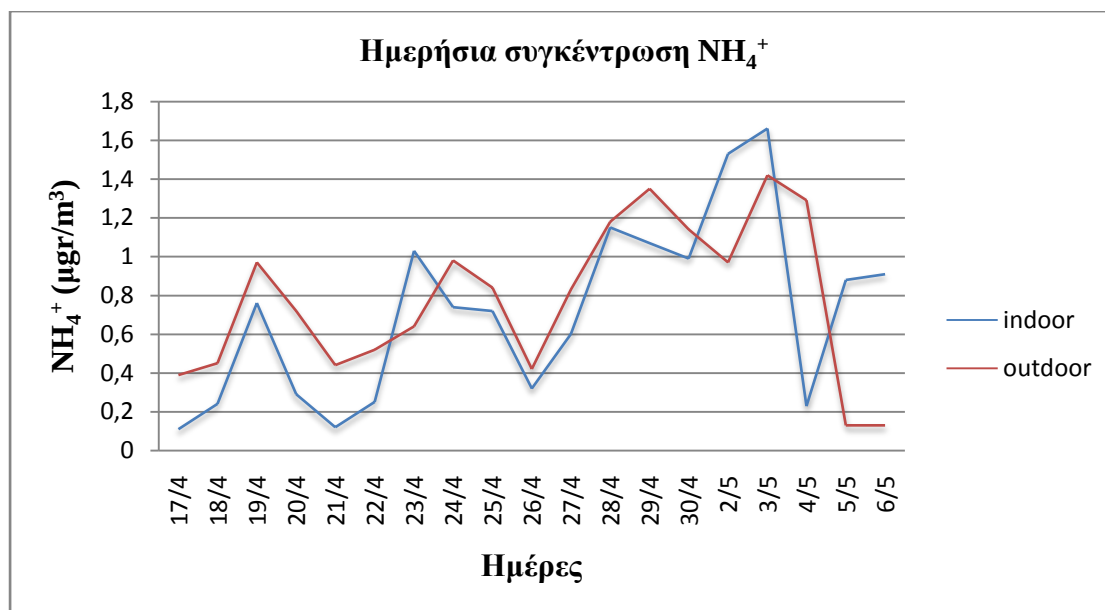
Πίνακας 29: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις αμμωνίου.

Συγκεντρώσεις NH₄			
Ημέρες	indoor(μgr/m³)	outdoor(μgr/m³)	I/O
17/4	0.39	0.11	3.54
18/4	0.45	0.24	1.87
19/4	0.97	0.76	1.27
20/4	0.72	0.29	2.48
21/4	0.44	0.12	3.66
22/4	0.52	0.25	2.08
23/4	0.64	1.03	0.62
24/4	0.98	0.74	1.32
25/4	0.84	0.72	1.16
26/4	0.42	0.32	1.31
27/4	0.83	0.6	1.38
28/4	1.18	1.15	1.02
29/4	1.35	1.07	1.26
30/4	1.14	0.99	1.15
2/5	0.97	1.53	0.63
3/5	1.42	1.66	0.85
4/5	1.29	0.23	5.6
5/5	0.13	0.88	0.14
6/5	0.13	0.91	0.14
Average	0.78	0.72	1.66
Max	1.42	1.66	5.6
Min	0.13	0.11	0.14

Σχεδόν όλες τις ημέρες οι τιμές στο εσωτερικό του κτιρίου είναι μεγαλύτερες από ότι στο εξωτερικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο μέσος όρος στο εσωτερικό είναι 0.78 μgr/m³ ενώ στο εξωτερικό 0.71μgr/m³. Επίσης παρατηρούμε ότι την ίδια μέρα έχω μέγιστο στο εσωτερικό με τιμή 1.42μgr/m³ και στο εξωτερικό με τιμή 1.66μgr/m³. Ο λόγος I/O τις περισσότερες φορές είναι μεγαλύτερος του ένα με μέγιστη τιμή 5.61.

Συγκρίνοντας τη μέση εξωτερική τιμή 0.72 μgr/m³ με αυτές που καταγράφηκαν στη περιοχή της Αγίας Παρασκευής 1.15 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012), της Νέας Σμύρνης 0.25 μgr/m³ (Vratolis et.al 2012), της Λυκόβρυσης 0.79 μgr/m³ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί 0.92 μgr/m³ (Theodosi et.al 2011) και του κέντρου της Αθήνας 0.53 μgr/m³ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που είχε καταγραφεί στη Λυκόβρυση στο παρελθόν.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις του NH₄⁺ στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 41: Ημερήσια συγκέντρωση αμμωνίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

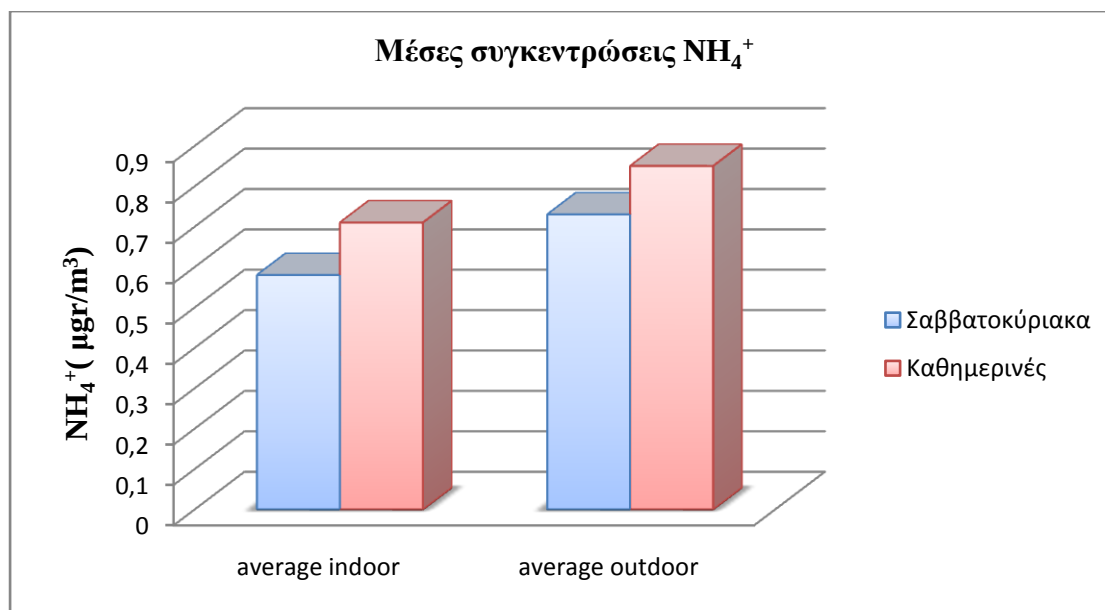
Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του NH_4^+ τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 30: Συγκεντρώσεις αμμωνίου τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις NH_4 τα Σαββατοκύριακα			
Ημέρες	Indoor (μgr/m ³)	Outdoor (μgr/m ³)	I/O
21/4	0.44	0.12	3.66
22/4	0.52	0.25	2.08
28/4	1.18	1.15	1.02
29/4	1.35	1.07	1.26
5/5	0.13	0.88	0.14
6/5	0.13	0.91	0.14
Average	0.62	0.73	1.23

Παρατηρώντας το πίνακα βλέπουμε ότι όλα τα σαββατοκύριακα του Απριλίου ο λόγος I/O είναι μεγαλύτερος της μονάδας αφού οι εσωτερικές συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες από τις εξωτερικές.

Στη συνέχεια ακολουθεί ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του NH_4^+ για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.



Εικόνα 42: Μέσες συγκεντρώσεις αμμονίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές για το εσωτερικό και εξωτερικό.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι τις καθημερινές οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από τα σαββατοκύριακα τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον. Γενικά και τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα ακολουθείτε η ίδια τάση για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

4.5.5 Ασβέστιο

Παρακάτω ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του Ca^{2+} στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 31: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις ασβεστίου.

Συγκεντρώσεις Ca^{+2}			
Ημέρες	Indoor(μgr/m ³)	outdoor(μgr/m ³)	I/O
17/4	0.17	0.31	0.54
18/4	0.16	0.14	1.14
19/4	<LOQ	0.17	-
20/4	0.09	0.41	0.21
21/4	0.05	<LOQ	-
22/4	<LOQ	0.15	-
23/4	0.25	<LOQ	-
24/4	0.09	0.31	0.29
25/4	<LOQ	<LOQ	-
26/4	0.37	0.26	1.42
27/4	0.12	0.19	0.63
28/4	0.21	0.22	0.95
29/4	0.19	0.24	0.79
30/4	0.21	0.2	1.05
2/5	0.29	0.27	1.07
3/5	0.26	0.19	1.36

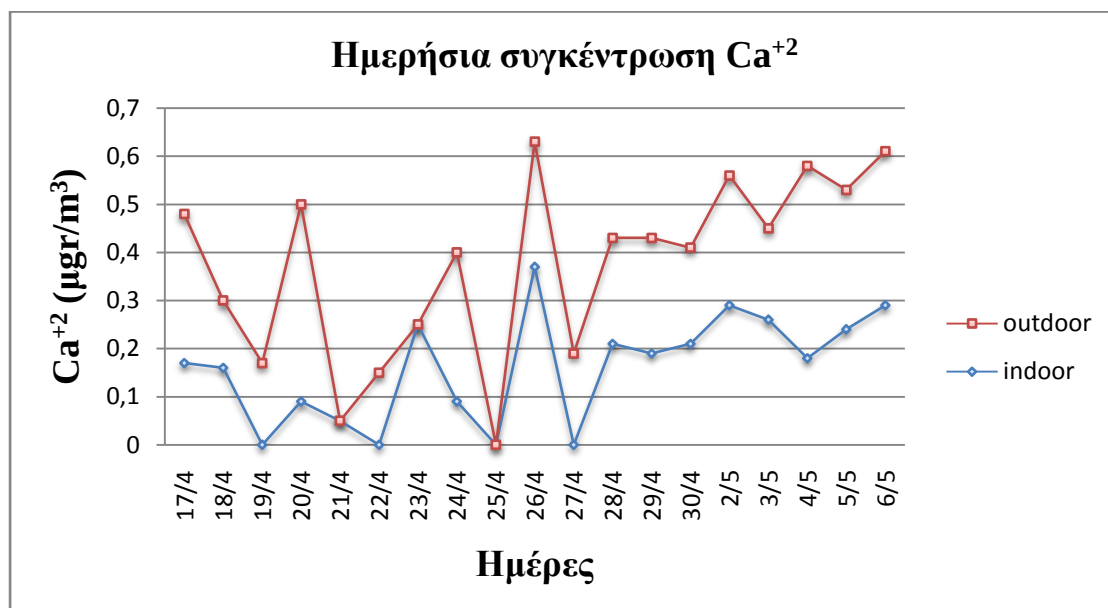
Συγκεντρώσεις Ca^{+2}			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
4/5	0.18	0.11	0.45
5/5	0.24	0.19	0.82
6/5	0.29	0.32	0.9
Average	0.20	0.25	0.83
Max	0.37	0.41	2.27
Min	0.05	0.11	0.21

Τις περισσότερες μέρες οι τιμές στο εξωτερικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερες από ότι στο εσωτερικό. Γενικά οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.

Συγκρίνοντας τη μέση εξωτερική τιμή $0.25 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με εκείνες που έχουν καταγραφεί στη περιοχή της Νέας Σμύρνης $0.68 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Αγίας Παρασκευής $0.19 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Vratolis et.al 2012), της Λυκόβρυσσης $0.56 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011), του Γουδί $0.30 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Theodosi et.al 2011), και του κέντρου της Αθήνας $0.38 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011) παρατηρούμε ότι η τιμή μας είναι πιο κοντά στη τιμή που καταγράφηκε στο Γουδί.

Συγκρίνοντας τη μέση εσωτερική τιμή $0.20 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με εκείνη που έχει καταγραφεί στο κέντρο της Αθήνας $0.49 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ (Selevanti et.al 2011) βλέπουμε ότι η τιμή μας είναι χαμηλότερη.

Στη συνέχεια ακολουθεί διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις του Ca^{2+} στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.



Εικόνα 43: Ημερήσια συγκέντρωση ασβεστίου στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

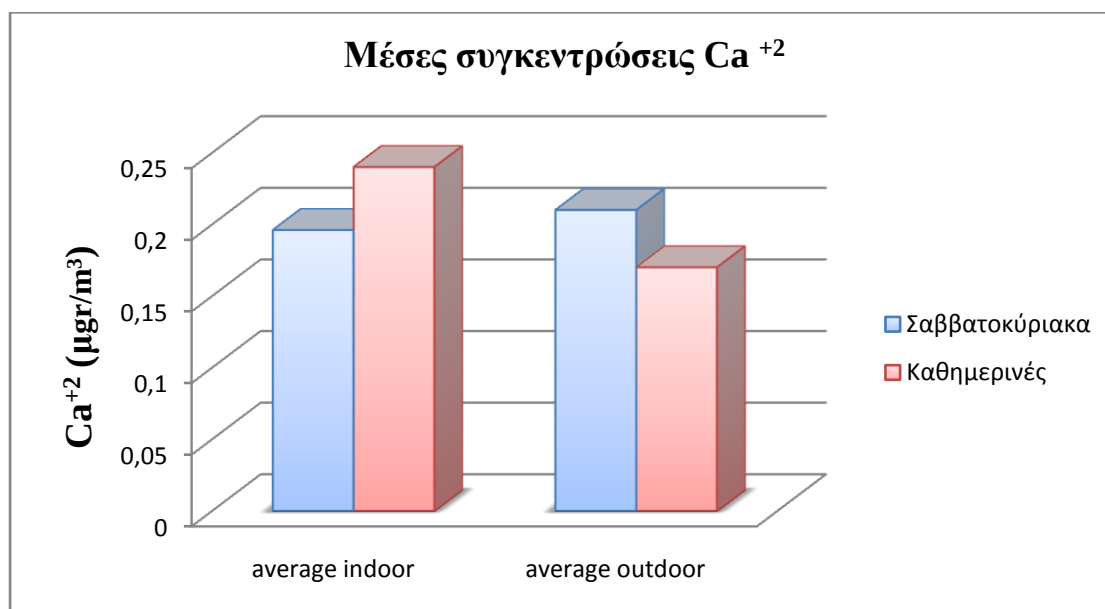
Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις του Ca^{2+} τα σαββατοκύριακα.

Πίνακας 32: Συγκεντρώσεις ασβεστίου για τα σαββατοκύριακα.

Συγκεντρώσεις Ca^{+2} για το Σαββατοκύριακο			
Ημέρες	Indoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	Outdoor($\mu\text{gr}/\text{m}^3$)	I/O
21/4	0.05	0.08	0.62
22/4	<LOQ	<LOQ	<LOQ
28/4	0.21	0.22	0.95
29/4	0.19	0.24	0.79
5/5	0.24	0.19	0.82
6/5	0.29	0.32	0.9
Average	0.17	0.2	0.71

Παρατηρούμε ότι όλα τα σαββατοκύριακα οι εσωτερικές τιμές είναι χαμηλότερες από τις εξωτερικές.

Έπειτα ακολουθεί ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του Ca^{2+} για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.



Εικόνα 44: Μέσες συγκεντρώσεις ασβεστίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.

Παρατηρώντας το ραβδόγραμμα βλέπουμε ότι για το μεν εσωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες τις καθημερινές για το δε εξωτερικό περιβάλλον οι συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες τα σαββατοκύριακα.

4.6 Λόγοι ιόντων

Στη συνέχεια ακολουθούν πίνακες που περιέχουν τους λόγους των συγκεντρώσεων των ιόντων για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον καθώς και της θαλάσσιας αύρας και το φλοιό της γης.

Πίνακας 33: Λόγοι των εσωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για τα δείγματα μας, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής.

Indoor	Cl/Na	K/Na	Ca/Na	Mg/Na	SO ₄ /Na	NO ₃ /SO ₄
Max	0.56	0.31	0.67	0.11	13.8	0.95
Min	0.02	0.03	0.05	0.03	0.61	0.14
average	0.22	0.07	0.18	0.05	2.9	0.48
Sea water	1.16	0.02	0.04	0.22	0.12	
Crustal average	0.003	0.54	1.47	1.42		

Πίνακας 34: Λόγοι των εξωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για τα δείγματα μας, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής.

Outdoor	Cl/Na	K/Na	Ca/Na	Mg/Na	SO ₄ /Na	NO ₃ /SO ₄
Max	0.61	0.42	0.91	0.1	14.3	0.86
Min	0.07	0.03	0.11	0.04	0.73	0.12
average	0.19	0.1	0.26	0.05	3.74	0.39
Sea water	1.16	0.02	0.04	0.22	0.12	
Crustal average	0.003	0.54	1.47	1.42		

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες οι λόγοι των ιόντων για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές γεγονός που υποδεικνύει ότι το εξωτερικό περιβάλλον επηρεάζει άμεσα και το εσωτερικό. Οι λόγοι με τις μεγαλύτερες τιμές τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον είναι ο λόγος του SO₄/Na (2.9 και 3.74 αντίστοιχα) και του NO₃/SO₄ (0.48 και 0.39 αντίστοιχα). Πιο συγκεκριμένα φαίνεται ότι οι λόγοι και στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον αποκλίνουν και από τις τιμές της θαλάσσιας αύρας και από τη τιμή του έδάφους γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην ύπαρξη ανθρωπογενών πηγών και όχι φυσικών.

Πίνακας 35: Λόγοι των εξωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για δείγματα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής.(Tsitouridou et. al 1992).

Outdoor	Cl/Na	K/Na	Ca/Na	Mg/Na	SO ₄ /Na	NO ₃ /SO ₄
Max	5.35	3.5	47	1	27.9	1.62
Min	0.32	0.08	0.21	0.01	0.92	0.02
Mean	1.43	0.55	1.17	0.12	4.22	0.16
Sea water	1.16	0.02	0.04	0.22	0.12	
Crustal average	0.003	0.54	1.47	1.42		

Συγκρίνοντας τους λόγους των ιόντων για τα δείγματα μας στο εξωτερικό περιβάλλον (πίνακας 32) με τους αντίστοιχους που υπολογίστηκαν στη περιοχή της Θεσσαλονίκης (πίνακας 33) παρατηρούμε ότι όλοι οι λόγοι των ιόντων μας είναι μικρότεροι από αυτούς στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με εξαίρεση το λόγο NO₃/SO₄ όπου η τιμή μας είναι 0.39 ενώ η αντίστοιχη στη περιοχή της Θεσσαλονίκης 0.16 (Tsitouridou et.al 1992).Γενικά η περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι μια περιοχή με έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση.

Βλέπουμε ότι οι λόγοι έχουν την ίδια τάση και στις δύο περιοχές δηλαδή ο μεγαλύτερος λόγος και στις δύο περιοχές είναι ο Cl/Na με τιμή στη περιοχή της Λυκόβρυσης 1.16 και της Θεσσαλονίκης 1.43.(Tsitouridou et. al 1992) και ο μικρότερος λόγος K/Na με τιμή 0.02 και για τις δύο περιοχές.

5 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη σκοπό έχει να εξετάσει την επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό περιβάλλον ενός σπιτιού. Συγκεκριμένα μελετήθηκε ο λόγος της εσωτερικής προς εξωτερικής (I/O) συγκέντρωσης μάζας των $PM_{2.5}$ καθώς και η σύσταση τους σε οργανικό-στοιχειακό άνθρακα και ιόντα. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε την άνοιξη του 2012 και συγκεκριμένα από τις 17 Απριλίου έως τις 6 Μαΐου σε μία ημιαστική περιοχή στα βόρεια προάστια της Αθήνας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δύο ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες εσωτερικής ρύπανσης, πρώτον το κάπνισμα και δεύτερον η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος. Άλλοι παράγοντες που δεν έπαιζαν τόσο καθοριστικό ρόλο μπορεί να είναι η χρήση οικιακής θέρμανσης, η επαναιώρηση της σκόνης, η εξάτμιση πτητικών οργανικών ουσιών από τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για το βάψιμο του σπιτιού και το καθαρίσμα. Οι εσωτερικές συγκεντρώσεις μάζας των $PM_{2.5}$ κυμαίνονταν από $4.81 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ - $146 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ με τη μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται τη μέρα με το εκταταμένο κάπνισμα. Ο λόγος I/O για τα $PM_{2.5}$ είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας με μέγιστη τιμή 11.6 την ημέρα που υπήρχε κάπνισμα στο σπίτι.

Επίσης, οι συγκεντρώσεις του οργανικού άνθρακα είναι αρκετά αυξημένες κυμαίνονται από $6.77 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ έως $112 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ γεγονός που πιθανόν οφείλεται στο ότι το σπίτι μόλις είχε βαφτεί και κατοικηθεί καθώς και στις δραστηριότητες που πραγματοποιούνταν μέσα στο σπίτι (μαγείρεμα, σκούπισμα κ.α). Ο λόγος οργανικού προς στοιχειακού άνθρακα (OC/EC) για το εσωτερικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερος του δύο με μέγιστη τιμή 52.3, ένδειξη της επίδρασης του εξωτερικού περιβάλλοντος στο εσωτερικό καθώς και σχηματισμό δευτερογενών αερολυμάτων (εξαιτίας φωτοχημικών αντιδράσεων, καυσαερίων κτλ). Για το εξωτερικό περιβάλλον η μέγιστη τιμή του λόγου OC/EC είναι 8.73 αρκετά μικρότερη από αυτή του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Όσο αναφορά τα ιόντα παρατηρούμε ότι στο εσωτερικό περιβάλλον τα ανιόντα καταλαμβάνουν το 12% της συνολικής συγκέντρωσης μάζας ενώ τα κατιόντα μόλις το 6% το αντίθετο συμβαίνει στο εξωτερικό περιβάλλον τα κατιόντα έχουν ποσοστό 20% ενώ τα ανιόντα 40%.

Τα ιόντα γενικά δε παρουσιάζουν μεγάλες τιμές στις συγκεντρώσεις τους. Τα ιόντα με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι τα SO_4^{2-} με μέση τιμή $2.24 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, τα NO_3^- $0.89 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, τα PO_4^{3-} $0.58 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ και το Na^+ $1.03 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Η τιμή των SO_4^{2-} πιθανόν οφείλεται στο δευτερογενή σχηματισμό σωματιδίων τα οποία συνήθως προέρχονται από μεταφορά. Τα NO_3^- είναι συνήθως πρωτογενή και κατά κύριο λόγο οφείλονται στη κίνηση των αυτοκινήτων. Το Na^+ κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στη θαλάσσια αύρα.

Όσο αναφορά τους λόγους των ιόντων τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον οι λόγοι με τις μεγαλύτερες τιμές είναι του SO_4/Na (2.9 και 3.74 αντίστοιχα) και του NO_3/SO_4 (0.48 και 0.39 αντίστοιχα). Παρατηρείται ότι και στο εσωτερικό και στο εξωτερικό περιβάλλον οι τιμές των λόγων των ιόντων

αποκλίνουν και από τις τιμές της θαλάσσιας αύρας και από τις τιμές του εδάφους ένδειξη της ύπαρξης ανθρωπογενών πηγών και όχι φυσικών πηγών.

Στο μέλλον θα μπορούσαν να γίνουν μελέτες και σε άλλες περιοχές της Αθήνας καθώς και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Επίσης ενδιαφέρον θα ήταν να πραγματοποιηθεί η ίδια μελέτη σε άλλη χρονική περίοδο.

6 Βιβλιογραφία

Abt E., Suh H.H., Catalano P., Koutrakis P. Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentration, 2000.

Allen R., Larson T., Sheppard L., Wallace L. and Liu L-J.S. Use of real-time light scattering data to estimate the contribution of infiltrated and indoor-generated particles to indoor air, 2003

Cao J. J, Lee S. C, Chow J. C, Cheng Y, Ho K. F, Fung K., Liu S. X , Watson J. G .Indoor/outdoor relationships for PM_{2.5} and associated carbonaceous pollutants at residential homes in Hong Kong – case study, 2005.

Chong-Shu Zhu, Jun-Ji Cao, Chuen-Jinn Tsai, Zhen-Xing Shen, Kin-Fai Ho, Sui-Xin Liu. The Indoor and Outdoor Carbonaceous Pollution during Winter and Summer in Rural Areas of Shaanxi, China, 2012

Chun Chen, Bin Zhao. Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, 2010.

Cornejo J. J, Munoz F. G, Ma C. Y, Stewart A. J. Studies on the Decontamination of Air by Plants, 1999.

Dainius Martuzevicius, Sergey A. Grinshpun, Taekhee Lee, Shaohua Hu, Pratim Biswas, Tiina Reponen, Grace LeMasters. Traffic-related PM_{2.5} aerosol in residential houses located near major highways: Indoor versus outdoor concentrations, 2008.

Funasaka K., Miyazaki T., Tsuruho K., Tamurab K., Mizunoc T. and Kuroda K. Relationship between indoor and outdoor carbonaceous particulates in roadside households, 2000.

Gerard Hoek, Gerard Kos, Roy Harrison, Jeroen de Hartog, Kees Meliefste, Harry ten Brink, Klea Katsouyanni, Anna Karakatsani, Maria Lianou, Anastasia Kotronarou, Ilias Kavouras, Juha Pekkanen, Marko Vallius, Markku Kulmala, Arto Puustinen, Steve Thomas, Claire Meddings, Jon Ayres, Joop van Wijnen, Kaarle Hameri. Indoor-outdoor relationships of particle number and mass in four European cities, 2007.

Grivas, G., Chaloulakou, A., and Kassomenos, P. An overview of the particle pollution problem in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport, 2008.

Hak Sung Lee, Byung-Wook Kang, Jang-Pyo Cheongs and Sang-Kwun Lee. Relationships between indoor and outdoor air quality during the summer season in Korea, 1997.

Ho K.F, Cao J.J, Harrisona Roy M, Lee S.C, Bau K.K. Indoor/outdoor relationships of organic carbon (OC) and elemental carbon (EC) in PM_{2.5} in roadside environment of Hong Kong, 2004.

Jenkins P.L., Phillips T.J., Mulberg E.J., Hui S.P. Activity patterns of Californians—use of and proximity to indoor pollutant sources, 1992.

Jo W.K., Lee J.Y. Indoor and outdoor levels of respirable particulates (PM₁₀) and carbon monoxide (CO) in high-rise apartment buildings, 2006

Jo W., Seo Y. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes, 2005.

Kang H.S , Cheong B.W, Lee S.K. Relationships between indoor and outdoor air quality during the summer season in Korea, 1997.

Kwangsam Na, David R. Cocker. Organic and elemental carbon concentrations in fine particulate matter in residences, schoolrooms, and outdoor air in Mira Loma, California, 2005.

Li C.-S., Lin C.-H. Carbon profile of residential indoor PM₁ and PM_{2.5} in the subtropical region, 2003.

Long C.M., Suh H.H., Koutrakis P. Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors, 2000.

Lydia E. Gerharz , Antonio Krüger , Otto Klemm .Applying indoor and outdoor modeling techniques to estimate individual exposure to PM_{2.5} from personal GPS profiles and diaries: A pilot study, 2009.

Mar cazzan G.M, Ceriani M, Valli G, Vecchi R. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in Milan (Italy) using receptor modeling, 2003.

Moffat Donald W.(eds). Handbook of indoor air quality management. Englewood Cliffs, NJ 07632, 1997.

Pateraki. St , Maggos .Th, Michopoulos. J, Flocas. H.A, Asimakopoulos. D.N, Vasilakos. Ch

Pegas .P.N , Nunes. T , Alves. C.A, Silva. J.R, Vieira. S.L.A, Caseiro. A , C.A. Pio. Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal, 2012.

Ramachandran G., Adgate J.L. Hill N., Sexton K., Pratt G.C. and Bock D. Comparison of short-term variation (15-minute averages) in outdoor and indoor PM_{2.5} concentrations, 2000.

Samara. C and Tsitouridou. R. Fine and coarse ionic aerosol components in relation to wet and dry deposition, 1999.

Seleventi. Maria K, Saraga. Dikaia E, Helmis. Constantinos G, Bairachtari Kyriaki , Vasilakos Christos and Maggos Thomas. PM_{2.5} indoor/outdoor relationship and chemical composition in ions and OC/EC in an apartment in the center of Athens, 2011

Shaocai Yu, Robin L. Dennis, Prakash V. Bhave, Brian K. Eder. Primary and secondary organic aerosols over the United States: estimates on the basis of observed organic carbon (OC) and elemental carbon (EC), and air quality modeled primary OC/EC ratios, 2004.

Theodosi C, Grivas G, Zarmpas P, Chaloulakou A and Mihalopoulos N. Mass and chemical composition of size-segregated aerosols (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) over Athens, Greece: local versus regional sources, 2011.

Tsitouridou. R and Samara. C. First results of acidic and alkaline constituents determination in air particulates of Thessaloniki, 1992.

Vratolis. Sterios , Diapouli. E, Vasilatou. V, Gini. M, Maggos. Th, Saraga. D, Ntoka. Th and Eleftheriadis. K. PM concentration and chemical speciation measurements at two sites in Athens, Greece. European Aerosol Conference 2012, Granada, Spain, 2-7 Sept 2012.

Yoko Shimada , Yuzuru Matsuoka . Analysis of indoor PM_{2.5} exposure in Asian countries using time use survey, 2011.

Yang, H., Yu J.Z. Uncertainties in charring correction in the analysis of elemental and organic carbon in atmospheric particles by thermal/optical method, 2002.

www.environment.european-lung-foundation.org

www.env-health.org

www.ersnet.org

www.air-quality.gr

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Κατηγορίες Ρύπων.....	16
Εικόνα 2: Κατανομή μεγέθους σε μm των διαφόρων τύπων των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων. (Wikipedia free encyclopedia).....	17
Εικόνα 3: Χάρτης της περιοχής (πηγή: Google Earth).....	20
Εικόνα 4: Χάρτης της περιοχής (πηγή: Google Earth).....	21
Εικόνα 5: Ειδικός χώρος ζύγισης και συνθηκοποίησης των φίλτρων –αναλυτικός ζυγός ακριβείας 10^{-6} gr METTLER TOLEDO.	22
Εικόνα 6: φίλτρο πριν και μετά τη δειγματοληψία.....	23
Εικόνα 7: Τοποθέτηση φίλτρου στο ζυγό με τη βοήθεια λαβίδας.	23
Εικόνα 8: Αναλυτής OC/EC.....	24
Εικόνα 9: Ιοντικός Χρωματογράφος ICS-5000 Reagent-Free – Dionex	26
Εικόνα 10: Ιοντικός Χρωματογράφος ICS-1100 – Dionex	26
Εικόνα 11: Ποσοστό οργανικού-στοιχειακού άνθρακα. ανιόντων και κατιόντων στη συνολική εσωτερική συγκέντρωση μάζας των PM _{2.5}	29
Εικόνα 12: Ποσοστό οργανικού-στοιχειακού άνθρακα ανιόντων και κατιόντων στη συνολική εξωτερική συγκέντρωση μάζας των PM _{2.5}	29
Εικόνα 13: Συγκέντρωση μάζας PM 2.5 για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.....	32
Εικόνα 14: Λόγος I/O για τα PM _{2.5} για όλες τις ημέρες της δειγματοληψίας.	32
Εικόνα 15: Ραβδόγραμμα εσωτερικών και εξωτερικών μέσων συγκεντρώσεων μάζας PM 2.5 για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.	33
Εικόνα 16: Συγκέντρωση oc για το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον.....	36
Εικόνα 17 Συγκέντρωση EC για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.	37
Εικόνα 18: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων OC για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.....	38
Εικόνα 19: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων EC για τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα.....	38
Εικόνα 20: Λόγος I/O για τον οργανικό και στοιχειακό άνθρακα.	40
Εικόνα 21: Λόγος OC/EC για το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον.....	40
Εικόνα 22: Μέσες συγκεντρώσεις ιόντων στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.....	41
Εικόνα 23: Ποσοστά ιόντων επί της ολικής συγκέντρωσης μάζας PM _{2.5} για το εσωτερικό περιβάλλον.	42
Εικόνα 24: Ποσοστά ιόντων επί της ολικής συγκέντρωσης μάζας PM _{2.5} για το εξωτερικό περιβάλλον.	42
Εικόνα 25: Ημερήσια συγκέντρωση χλωρίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.....	45
Εικόνα 26: Ραβδόγραμμα με τις μέσες συγκεντρώσεις του χλωρίου τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.	46
Εικόνα 27: Ημερήσια συγκέντρωση φθορίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.....	47
Εικόνα 28: Ραβδόγραμμα μέσων συγκεντρώσεων του χλωρίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.	48
Εικόνα 29: Ημερήσια συγκέντρωση νιτρικών για το εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον.....	50
Εικόνα 30: Μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.	51
Εικόνα 31: Ημερήσια συγκέντρωση φωσφορικών για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.....	52
Εικόνα 32: Μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.	53
Εικόνα 33: Ημερήσια συγκέντρωση θεικών για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.	55
Εικόνα 34: Μέσες συγκεντρώσεις θεικών για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.....	56

<i>Εικόνα 35: Ημερήσια συγκέντρωση καλίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>57</i>
<i>Εικόνα 36: Μέση συγκέντρωση καλίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές.</i>	<i>58</i>
<i>Εικόνα 37: Ημερήσια συγκέντρωση νατρίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>60</i>
<i>Εικόνα 38: Μέσες συγκεντρώσεις νατρίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>61</i>
<i>Εικόνα 39: Ημερήσια συγκέντρωση μαγνησίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>62</i>
<i>Εικόνα 40: Μέσες συγκεντρώσεις μαγνησίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>63</i>
<i>Εικόνα 41: Ημερήσια συγκέντρωση αμμωνίου για το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>65</i>
<i>Εικόνα 42: Μέσες συγκεντρώσεις αμμωνίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές για το εσωτερικό και εξωτερικό.</i>	<i>66</i>
<i>Εικόνα 43: Ημερήσια συγκέντρωση ασβεστίου στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>67</i>
<i>Εικόνα 44: Μέσες συγκεντρώσεις ασβεστίου για τα σαββατοκύριακα και τις καθημερινές στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον.</i>	<i>68</i>

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης και η επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία (www.european –lung -foundation.org).	13
Πίνακας 2: Μέσες εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις όλων των ενώσεων.....	28
Πίνακας 3: Δραστηριότητες που έλαβαν τόπο στο εσωτερικό του σπιτιού κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.	30
Πίνακας 4: Συγκεντρώσεις μάζας των PM 2.5.....	30
Πίνακας 5: Συγκεντρώσεις μάζας PM 2.5 για τα σαββατοκύριακα.	33
Πίνακας 6: Συγκεντρώσεις PM2.5 σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος (Selevanti et.al 2011, Vratolis et.al 2012, Samara et.al 1987, Theodosi et.al 2011, Scheff et.al 1990, Pateraki et.al 2008).....	34
Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις οργανικού και στοιχειακού άνθρακα.	34
Πίνακας 8: Συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα τα σαββατοκύριακα.	37
Πίνακας 9: Συγκεντρώσεις στοιχειακού άνθρακα για τα σαββατοκύριακα	37
Πίνακας 10: Λόγος I/O για τον οργανικό και στοιχειακό άνθρακα.	39
Πίνακας 11: Μέσες συγκεντρώσεις ιόντων	41
Πίνακας 12: Μέσες εξωτερικές συγκεντρώσεις ιόντων σε πέντε διαφορετικές περιοχές της Αθήνας (Selevanti et.al 2011, Vratolis et.al 2012, Pateraki et.al 2008, Theodosi et.al 2011).	43
Πίνακας 13: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις χλωρίου.	43
Πίνακας 14: Συγκεντρώσεις χλωρίου τα σαββατοκύριακα.	45
Πίνακας 15: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις φθορίου.	46
Πίνακας 16: Συγκεντρώσεις φθορίου τα σαββατοκύριακα.	48
Πίνακας 17: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις νιτρικών.	49
Πίνακας 18: Συγκεντρώσεις νιτρικών για τα σαββατοκύριακα.	50
Πίνακας 19: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις φωσφορικών.	51
Πίνακας 20: Συγκεντρώσεις φωσφορικών τα σαββατοκύριακα.	53
Πίνακας 21: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις θεικών.	54
Πίνακας 22: Συγκεντρώσεις θεικών τα σαββατοκύριακα.	55
Πίνακας 23: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις καλίου.	56
Πίνακας 24: Συγκεντρώσεις καλίου τα σαββατοκύριακα.	58
Πίνακας 25: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις νατρίου.	59
Πίνακας 26: Συγκεντρώσεις νατρίου για τα σαββατοκύριακα.	60
Πίνακας 27: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις μαγνησίου.	61
Πίνακας 28: Συγκεντρώσεις μαγνησίου για τα σαββατοκύριακα.	63
Πίνακας 29: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις αμμωνίου.	64
Πίνακας 30: Συγκεντρώσεις αμμωνίου τα σαββατοκύριακα.	65
Πίνακας 31: Εσωτερικές και εξωτερικές συγκεντρώσεις ασβεστίου.	66
Πίνακας 32: Συγκεντρώσεις ασβεστίου για τα σαββατοκύριακα.	68
Πίνακας 33: Λόγοι των εσωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για τα δείγματα μας, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής.	69
Πίνακας 34: Λόγοι των εξωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για τα δείγματα μας, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής.	69
Πίνακας 35: Λόγοι των εξωτερικών συγκεντρώσεων των ιόντων για δείγματα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης, τη θαλάσσια αύρα και το φλοιό της γής. (Tsitouridou et. al 1992).	69