



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΖΑΓΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δ.Ν. ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ
ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΖΑΓΚΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δ.Ν. Ασημακόπουλος, Καθηγητής Τμήματος Φυσικής - ΕΚΠΑ
Κ. Χέλμης, Καθηγητής Τμήματος Φυσικής - ΕΚΠΑ
Α. Στούμπος, Ερευνητής Α', Δ/ντής Ι.Π.Ρ.Ε.Τ.Ε.Α. - ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	v

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισαγωγή.....	1
---------------	---

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Χημεία και Αιωρούμενα Σωματίδια.....	8
2.2.1 Ανόργανες Ενώσεις.....	8
2.2.2 Οργανικές Ενώσεις.....	11
2.3 Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη στην Αττική.....	13
2.3.1 Τοπογραφία – Μορφολογία Λεκανοπεδίου.....	13
2.3.2 Δίκτυο σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. Μέτρησης Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης.....	15
2.3.3 Επίπεδα Συγκέντρωσης Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης.....	16
2.3.4 Χημεία και Αιωρούμενα Σωματίδια.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Πειραματικές Περιοχές.....	24
3.2 Πειραματικός Εξοπλισμός – Μεθοδολογία.....	28

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Αιωρούμενα Σωματίδια.....	32
4.1.1 Συγκεντρώσεις.....	32
4.1.1.1 Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης.....	41
4.1.2 Αιωρούμενα Σωματίδια – Χημική Σύσταση.....	45
4.1.2.1 Χημική Σύσταση - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης.....	56
4.2 Αιωρούμενα Σωματίδια και Μετεωρολογία.....	63
4.2.1 Συγκεντρώσεις.....	63
4.2.1.1 Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης.....	74
4.2.2 Χημική Σύσταση.....	84
4.2.2.1 Χημική Σύσταση – Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης.....	100
4.3 Συμπεράσματα.....	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

5.1 Αιωρούμενα Σωματίδια.....	131
5.1.1 Συγκεντρώσεις.....	131
5.1.2 Χημική Σύσταση.....	135
5.2 Αιωρούμενα Σωματίδια και Μετεωρολογία.....	140
5.2.1 Συγκεντρώσεις.....	140
5.2.2 Χημική Σύσταση.....	148
5.3 Συμπεράσματα.....	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	156
6.2 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	157
6.3 Χημική Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	158
6.4 Μελλοντική Έρευνα.....	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία.....	161
-------------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Οριακές Τιμές Συγκέντρωσης Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	174
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Συγκέντρωση, Χημική Σύσταση και Λόγοι Αερολυμάτων στη Διεθνή Βιβλιογραφία.....	175
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.1: Χρήση Λόγων Οργανικού/Στοιχειακού Άνθρακα και Ιόντων για τον Προσδιορισμό των Πηγών των Αερολυμάτων	188

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακες Αντιστοίχισης Όρων.....	190
Πίνακες Συντομογραφιών.....	191

ΚΑΤΑΛΟΓΟΙ

Κατάλογος Σχημάτων.....	193
Κατάλογος Πινάκων.....	200

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία του τομέα Φυσικής Περιβάλλοντος – Μετεωρολογίας του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α με το Ινστιτούτο Πυρηνικών και Ραδιολογικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ενέργειας και Ασφάλειας (Ι.Π.Ρ.Ε.Τ.Ε.Α) του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος. Η επίβλεψη της παρούσας εργασίας έγινε από τον καθηγητή του Τμήματος Φυσικής κ. Δημοσθένη Ασημακόπουλο και την ερευνήτρια Δρ. Πατεράκη Στέλλα.

Θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ τόσο στον κ. Ασημακόπουλο όσο και στη Δρ. Πατεράκη, αρχικά για την εμπιστοσύνη που έδειξαν ως προς το πρόσωπο μου με την ανάθεση της παρούσας εργασίας αλλά και για την πολύτιμη βοήθεια τους σε όλη τη διάρκεια τόσο της πειραματικής μελέτης όσο και της συγγραφής της συγκεκριμένης μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην καθηγήτρια της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. κ. Διδώ Γιόβα για την ουσιαστική και καθοριστική βοήθεια της, καθώς και στον Τάσο Αλούπη και Γιάννη Αυγέρη από το Τμήμα Φυσικής.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στη Θάλεια Μαυράκου και Έλενα Μαστραποστόλη γιατί ήταν εκεί καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού καθώς και στη Μυρτώ Γρατσέα.

Αλέξανδρος Ζάγκος

Στη Λίνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια μελέτη της ποσοτικοποίησης των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης σε τρεις περιοχές εντός του λεκανοπέδιου Αττικής καθώς και τη διαχρονική της εξέλιξη σε σχέση με παλαιότερες μελέτες στους ίδιους σταθμούς δειγματοληψίας. Η συγκεκριμένη διαδικασία έγινε μελετώντας τόσο τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των δύο διαφορετικών μετρούμενων κλασμάτων (PM_1 και $PM_{2.5}$) όσο και τη χημική τους σύσταση. Σε κάθε περίπτωση μελετήθηκε η συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη είναι η ταχύτητα του ανέμου, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία καθώς και οι επιφανειακοί άνεμοι που επικρατούν.

Το πειραματικό μέρος της μελέτης καλύπτει το διάστημα από τέλη Ιανουαρίου μέχρι τα μέσα Απρίλη κατά το έτος 2013 με ταυτόχρονη μελέτη των δύο κλασμάτων στους δύο σταθμούς δειγματοληψίας και τη μελέτη μόνο των $PM_{2.5}$ στον τρίτο σταθμό.

ABSTRACT

This thesis constitutes a study of the quantification of the levels of particulate pollution in three areas inside the Attica region, as well as its historical development in relation to past studies carried out at the same sampling stations. The specific process was carried out by studying the levels of the concentration of the two different measured fractions (PM_1 και $PM_{2.5}$) and their chemical composition. In each case, the behaviour of the suspended particles was studied in accordance with the prevailing weather conditions. The meteorological parameters that were taken into account were wind speed, temperature, relative humidity and the prevailing surface winds.

The experimental section of the study took place from the end of January 2013 until the middle of April of the same year, with the simultaneous study of the two fractions in two of the sampling stations and the study of only $PM_{2.5}$ in the third station.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) θεωρούνται ως ένας από τους πιο σημαντικούς ρύπους των Ευρωπαϊκών χωρών. Ποικίλουν δε σημαντικά όσον αφορά το μέγεθος, τη χημική τους σύσταση, τον τρόπο και τόπο εκπομπής και σχηματισμού τους και τις επιπτώσεις τους τόσο στο ατμοσφαιρικό και θαλάσσιο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν τόσο ανθρωπογενείς όσο και φυσικές πηγές. Εκλύονται απευθείας στην ατμόσφαιρα ως πρωτογενώς παραγόμενα ή δημιουργούνται από το μετασχηματισμό πρόδρομων χημικών ουσιών ως δευτερογενή παράγωγα. Το μέγεθος, η σύσταση καθώς και ο αριθμός των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλει και μπορεί να μεταβληθεί μέσα από διάφορους μηχανισμούς. Ο χρόνος ζωής των αερολυμάτων κυμαίνεται και έχει άμεση εξάρτηση με το μέγεθος τους.

Επιδημιολογικές μελέτες υποστηρίζουν ότι τα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου έχουν την ικανότητα να εισχωρήσουν βαθύτερα στην περιοχή των πνευμόνων με σημαντικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με παρόμοιες μελέτες, τα αυξημένα επίπεδα αερολυμάτων σχετίζονται άμεσα με καρδιαγγειακές παθήσεις, εμφάνιση άσθματος ακόμα και καρκίνου του πνεύμονα.

Η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου είναι ιδιαίτερα επηρεασμένη από τη σωματιδιακή ρύπανση λόγω της επιβάρυνσης τόσο από ανθρωπογενείς όσο και φυσικές πηγές. Η συγκεκριμένη περιοχή επηρεάζεται και από κλιματολογικούς παράγοντες που ευνοούν τη δημιουργία δευτερογενώς παραγόμενων σωματιδίων λόγω των έντονων φωτοχημικών διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή του λεκανοπέδιου Αττικής βρίσκεται στο κέντρο της λεκάνης της ανατολικής Μεσογείου και υπόκειται σε συνεχείς ροές τόσο φυσικώς παραγόμενων σωματιδίων όπως η σκόνη από την περιοχή της Σαχάρα όσο και ανθρωπογενών από την περιοχή της Ευρώπης και Αφρικής. Σε αρκετές των περιπτώσεων οι συγκεκριμένες ροές έχουν το χαρακτήρα έντονων επεισοδίων. Λόγω της μορφολογίας και θέσης της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών, σε συνδυασμό με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής δημιουργούνται συνθήκες παγίδευσης των αερίων μαζών πάνω από την πόλη, ειδικά κατά τη διάρκεια θερμοκρασιακής ατμοσφαιρικής ευστάθειας, καθώς δεν ευνοείται η διασπορά των αερολυμάτων και ο αερισμός του λεκανοπέδιου είναι ελλιπής. Ακόμα παρατηρούμε αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης και λόγω του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας που μεταφέρει και ανακατανέμει του αέριους ρύπους στην περιοχή, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο.

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και οι διαδικασίες που τα αναδεικνύουν ως έναν από τους σημαντικούς παράγοντες επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας δεν έχουν διερευνηθεί πλήρως. Επίσης μένει να απαντηθεί το σοβαρό ερώτημα αν η χημική σύσταση, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων ή το μέγεθος των σωματιδίων είναι ο παράγοντας που παίζει τον πρωταρχικό ρόλο στο χαρακτηρισμό των αερολυμάτων και στον επικίνδυνο χαρακτήρα τους.

Η διεθνής βιβλιογραφία είναι επικεντρωμένη στη μελέτη των χαρακτηριστικών κυρίως των μεγαλύτερων κλασμάτων των αερολυμάτων (PM_{10} και $PM_{2.5}$). Οι πληροφορίες σχετικά με τα μικρότερα σωματίδια (PM_1), τη χημική τους σύσταση και τη γενικότερη συμπεριφορά τους είναι πολύ λιγότερες.

Η παρούσα δουλειά συμπληρώνει με τη σειρά της ένα μικρό κενό στην παγκόσμια βιβλιογραφία καθώς δίνει πληροφορίες σχετικά με την ταυτόχρονη μέτρηση σε δύο σταθμούς, εντός του λεκανοπέδιου Αττικής, των κλασμάτων PM_1 και $PM_{2.5}$ και σε έναν τρίτο σταθμό αναφορικά με τα $PM_{2.5}$. Ακόμα περιλαμβάνει μελέτη τόσο των συγκεντρώσεων όσο και της χημικής σύστασης των αερολυμάτων παίρνοντας υπόψη τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες που. Η

επιλογή του λεπτού κλάσματος των αερολυμάτων θα μας δώσει πληροφορίες σχετικά με τις επιρροή των ανθρωπογενώς εκπεμπόμενων σωματιδίων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Οι σταθμοί είναι προσεκτικά επιλεγμένοι και περιέχουν ένα σταθμό υποβάθρου (Νέα Σμύρνη), ένα βιομηχανικό σταθμό (Βοτανικός) και έναν κυκλοφοριακό (Μαρούσι). Οι διαφορετικού τύπου σταθμοί θα βοηθήσουν στη μελέτη της συμπεριφοράς των αερολυμάτων σχετικά με τις διαφοροποιημένες συνθήκες περιβάλλοντος. Σε συνδυασμό με τις μετρήσεις του Υ.Π.Ε.Κ.Α. στις ίδιες περιοχές για το κλάσμα των PM_{10} , έχουμε μια πιο πλήρη εικόνα των επιπέδων της αέριας ρύπανσης.

Η συλλογή δειγμάτων έγινε στο έτος 2013 και πιο συγκεκριμένα στο διάστημα 30/01/2013 – 15/04/2013. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη του ρόλου της μετεωρολογίας αφορούν την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία. Επίσης έγινε κατηγοριοποίηση και μελέτη σχετικά με τη μέση κλίμακας κυκλοφορία και τους επιφανειακούς ανέμους.

Για την καλύτερη κατανόηση των επιπέδων της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας από τα αιωρούμενα σωματίδια έγινε συγκριτική μελέτη σχετικά με τις ίδιες περιοχές δειγματοληψίας. Η Μελέτη αφορά το 2011 – 2012 για το σταθμό της Νέας Σμύρνης, το 2008 για το σταθμό του Βοτανικού και το 2005 αναφορικά με το Μαρούσι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Αιωρούμενα Σωματίδια

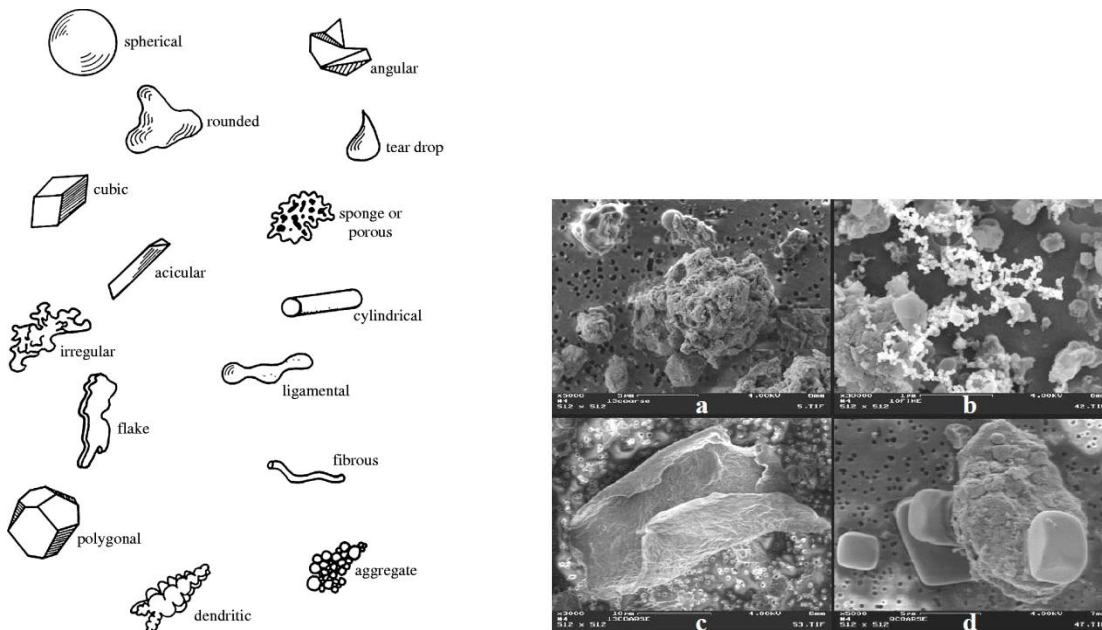
Με τον όρο *αιωρούμενα σωματίδια* (Particulate Matter ή PM) ορίζουμε τα στερεά ή υγρά σωματίδια τα οποία παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για κάποια διάστημα (Hinds 1999). Οι διαστάσεις αυτών των σωματιδίων ποικίλουν αλλά είναι μεγαλύτερες από τις μοριακές ($\cong 2 \cdot 10^{-4} \mu m$) και μικρότερες των $500 \mu m$ σε διάμετρο. Οι πηγές παραγωγής των σωματιδίων είναι δύο ειδών, οι *φυσικές* και οι *ανθρωπογενείς*. Σα φυσικές πηγές μπορούμε να θεωρήσουμε το θαλάσσιο ψεκασμό (seaspray), τα ηφαίστεια, τη μηχανική αποσάθρωση της επιφάνειας της γης και τα αερομεταφερόμενα σωματίδια σκόνης. Σαν ανθρωπογενείς θεωρούμε κυρίως τις καύσεις προϊόντων του άνθρακα, όπως η κίνηση των οχημάτων, οι βιομηχανικές καύσεις ή ακόμα και η οικιακή θέρμανση. Το σημαντικό για τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ότι ποικίλουν σημαντικά όσον αφορά το μέγεθος, τη χημική τους σύσταση, τον τρόπο και τόπο εκπομπής και σχηματισμού τους και τις επιπτώσεις τους τόσο στο ατμοσφαιρικό και θαλάσσιο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο.

Σχετικά με τον τρόπο που επιδρούν στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, γνωρίζουμε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα της Γης τόσο άμεσα μέσα από φαινόμενα σκέδασης και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (εξασθενώντας την), όσο και έμμεσα δρώντας σαν πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (cloud condensation nuclei, CCN). Σύμφωνα μάλιστα με το IPCC (2001), "ένα 2% στη σωματιδιακή αύξηση της λευκαύγειας σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι ικανό να συνεισφέρει στην παγκόσμια θέρμανση καθώς διπλασιάζει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου". Τα σωματίδια σκεδάζουν έντονα την ηλιακή ακτινοβολία τόσο μέσω της μοριακής σκέδασης Rayleigh (κυρίως τα μικρότερα σωματίδια με διάμετρο $< 0.7 \mu m$) αλλά κυρίως μέσω της φυσικής διεργασίας της σκέδασης Mie. Από τη στιγμή που τα σωματίδια βρεθούν στην ατμόσφαιρα, με τους ποικίλους τρόπους που μπορεί να συμβεί αυτό, το μέγεθος, η χημική τους σύσταση καθώς και ο αριθμός τους μπορεί να μεταβληθεί μέσα από διάφορους μηχανισμούς μέχρι την απομάκρυνση τους με φυσικές διεργασίες (Colbeck 1995). Ο χρόνος ζωής τους δεν είναι σταθερός και κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι μερικούς μήνες. Τα πιο συνηθισμένα μεγέθη που εξετάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι τα PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10} και $PM_{2.5-10}$.

Εκτός από την κατάταξη των σωματιδίων σχετικά με την πηγή εκπομπής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται επιπλέον σε δύο σημαντικές υποκατηγορίες. Εκείνα που εκπέμπονται απευθείας από την πηγή ως σωματίδια, για παράδειγμα από εργοτάξια, ασφαλτοστρώσεις δρόμων, καπνοδόχους, αγρούς ακόμα και από φωτιές και ονομάζονται *πρωτογενή* (primary). Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από εκείνα που παράγονται από τις πηγές τους, αντιδρούν μεταξύ τους ή με τα αέρια της ατμόσφαιρας και μέσα από φωτοχημικές αντιδράσεις με συστατικά όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και οξείδια του αζώτου (NO_x), σχηματίζουν *δευτερογενή* προϊόντα. Τα τελευταία ονομάζονται *δευτερογενή* (secondary) σωματίδια. Σύμφωνα με την U.S.E.P.A. τα δευτερογενή σωματίδια εκλύονται κυρίως από μονάδες παραγωγής ενέργειας, βιομηχανίες και αυτοκινούμενα οχήματα. Σύμφωνα με ερευνητές, τα πρωτογενώς παραγόμενα σωματίδια κατά γενικό κανόνα επηρεάζουν τοπικής κλίμακας φαινόμενα σε αντίθεση με τα δευτερογενώς παραγόμενα που μπορεί να επηρεάσουν τόσο τοπικής όσο και μεγαλύτερης κλίμακας (Ito et al. 2004; Wilson et al. 2005).

Τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία, έκτος όλων των άλλων, και όσον αφορά το σχήμα τους· μπορεί να είναι τελείως σφαιρικό ή εξαιρετικά πολύπλοκο (Σχήμα 2.1) ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται και ανάλογα με τη μεταβολή- διαμόρφωση τους στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο που καθορίζει τόσο τη συμπεριφορά τους (κίνηση στην ατμόσφαιρα, αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και τον άνθρωπο κλπ) όσο και τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον το μέγεθος μπορεί να μας τροφοδοτήσει με πληροφορίες σχετικά με την πηγή και τη χημική σύσταση των σωματιδίων. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας αλλά και της σημαντικότητας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα φυσικό μέγεθος που να περιγράφει και να κατηγοριοποιεί τα διαφορετικά είδη των σωματιδίων. Το φυσικό μέγεθος που χρησιμοποιείται είναι η *διάμετρος*. Παρόλο που υπάρχουν διάφοροι τρόποι να μετρήσουμε τη διάμετρο ενός σωματιδίου, το πιο διαδεδομένο μέγεθος είναι η ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος (d_{ae}). Σαν ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο ορίζουμε “το μήκος της διαμέτρου ενός σφαιρικού σωματιδίου πυκνότητας 1 g/cm^3 το οποίο έχει την ίδια τελική ταχύτητα πτώσης σε αέριο, με το υπό μελέτη σωματίδιο”. Το σημαντικό είναι ότι σωματίδια με ίδια αεροδυναμική διάμετρο μπορεί να έχουν διαφορετικά σχήματα και διαστάσεις. Οι βασικές κατηγορίες αναφορικά με το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δύο, όπως παρουσιάζονται παρακάτω, με διαφορετικές πηγές και διαφορετικούς μηχανισμούς απομάκρυνσης η κάθε μία.

Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη των 2.5 μm αναφέρονται ως *χονδροειδή* ή *χονδρόκοκκα*. Τα *χονδροειδή* σωματίδια σχηματίζονται από τη διάσπαση μεγαλύτερων σωματιδίων με μηχανικές διεργασίες όπως διάβρωση, μεταφορά μέσω δυνατών ανέμων ή ακόμα και άλεση (grinding) και συνήθως αποτελούνται από ανθρωπογενή σωματίδια καθώς και από φυσικά σωματίδια σκόνης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μεταφοράς τέτοιων σωματιδίων στον Ελλαδικό χώρο είναι τα επεισόδια σκόνης από την περιοχή της Σαχάρα.

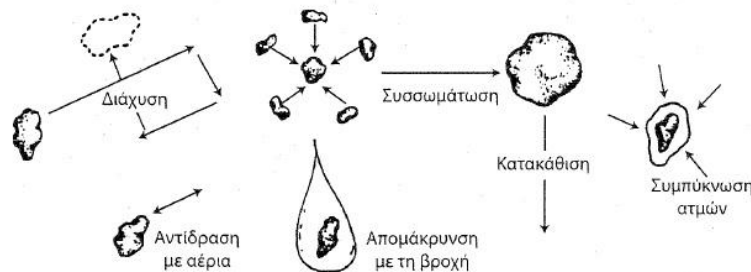


Σχήμα 2.1: Πιθανά Σχήματα Αιρούμενων Σωματιδίων (Πηγή: Internet)

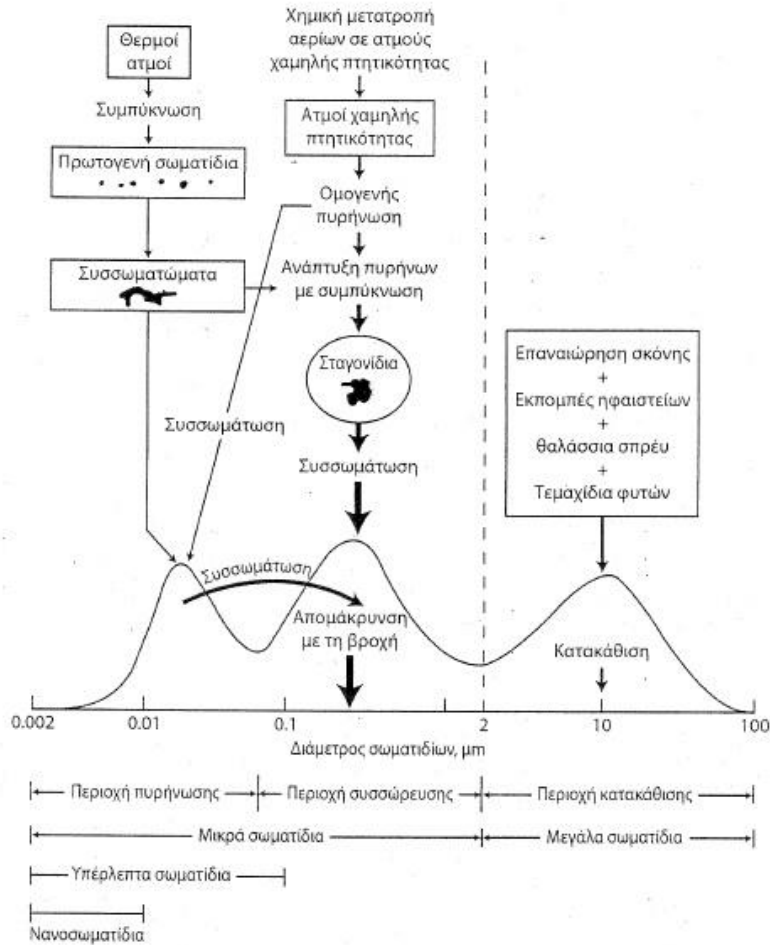
Χονδροειδή σωματίδια μπορεί να δημιουργηθούν και από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού κοντά στις ακτές. Γύρη, μύκητες καθώς και έντομα μπορεί να συμβάλουν στη συγκέντρωση αυτών. Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους τους, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, τα συγκεκριμένα σωματίδια έχουν ουσιαστικές ταχύτητες καθίζησης και απομακρύνονται πιο γρήγορα μέσω της ξηρής εναπόθεσης. Η βροχόπτωση, όπως είναι γνωστό, αποτελεί έναν από τους μηχανισμούς απομάκρυνσης των συγκεκριμένων σωματιδίων μέσω της υγρής εναπόθεσης (Finlayson-Pitts & Pitts, 2000). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το μέγεθος μπορεί να καθορίσει το χρόνο παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, για παράδειγμα στην περίπτωση που τα σωματίδια έχουν διάμετρο $d_{ae} > 20 \mu m$ τότε αποβάλλονται ταχέως λόγω της επίδρασης της βαρύτητας. Ο χρόνος ζωής των συγκεκριμένων σωματιδίων είναι της τάξης των λεπτών ή ωρών. Σύμφωνα με τους Seinfeld and Pandis (2006), “τα μεγαλύτερα χονδροειδή σωματίδια είναι κυρίως πρωτογενή και καταλαμβάνουν περίπου το 95% της αιωρούμενης σωματιδιακής μάζας και μόλις το 5-10% του πλήθους της σε σωματίδια”.

Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2.5 μm αναφέρονται ως *λεπτά* ή *λεπτόκοκκα* (fine particles). Στην περιοχή των *λεπτών* σωματιδίων συναντώνται τα περισσότερα σωματίδια όσον αφορά τον αριθμό σε σχέση με τη συνολική αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη καθώς και ένα μεγάλο ποσοστό της μάζας της. Σύμφωνα με τους Finlayson-Pitts & Pitts (2000), “σε μη αστικές περιοχές το ένα τρίτο (1/3) της ολικής μάζας ανήκει στην περιοχή των *λεπτών* σωματιδίων και στις αστικές περιοχές το ένα δεύτερο (1/2) αυτής”. Όσο μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων τόσο αυξάνεται η ανθρωπογενής τους φύση γεγονός που τα κάνει και πιο επικίνδυνα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι άξιο επισήμανσης ότι σύμφωνα με τους Seinfeld and Pandis (2006) “σωματίδια μικρότερα των 1 μm έχουν συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα της τάξης των δεκάδων με αρκετές χιλιάδες ανά cm^3 ενώ εκείνα που υπερβαίνουν τα 1 μm συναντώνται με συγκεντρώσεις μικρότερες του ενός ανά cm^3 ”.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλέον συνηθισμένα μεγέθη που εξετάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία είναι τα PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} και $PM_{2.5-10}$. Με τους παραπάνω όρους αναφερόμαστε στα σωματίδια εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 1 μm , των 2.5 μm , των 10 μm και στα σωματίδια με εύρος από 2.5 μm μέχρι 10 μm (coarse) αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με τον όρο TSP (Total Suspended Particulates) αναφερόμαστε στο σύνολο της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης στην ατμόσφαιρα. Στο Σχήμα 2.2 φαίνονται οι διεργασίες στις οποίες υπόκεινται τα αιωρούμενα σωματίδια κατά τη διάρκεια της ροής ενός ρευστού ενώ στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η σχηματική παράσταση σχηματισμού, συσσωμάτωσης και απόθεσης των σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθος τους.



Σχήμα 2.2: Διεργασίες στις οποίες υπόκεινται τα ατμοσφαιρικά σωματίδια (Πηγή: Φυτιανός και Σαμαρά 2009)



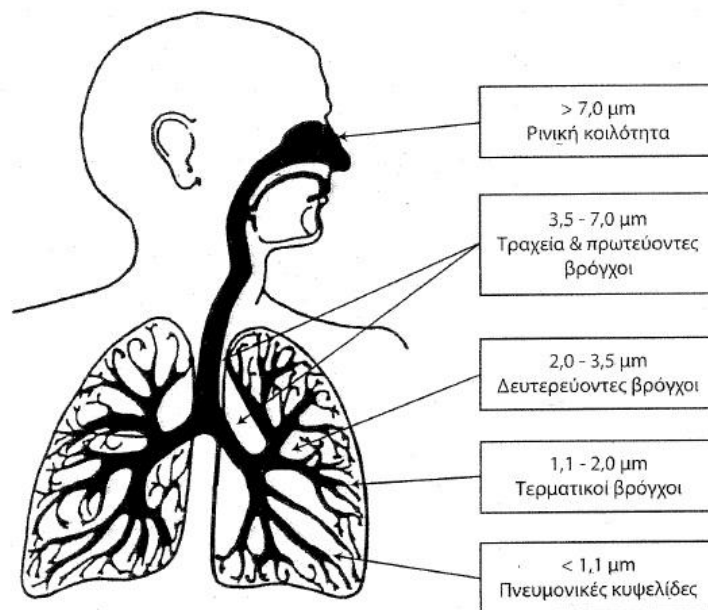
Σχήμα 2.3: Κατανομή της επιφάνειας των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους καθώς και οι κύριες διεργασίες σχηματισμού, συσσωμάτωσης και απόθεσης τους (Πηγή: Φυτιανός και Σαμαρά 2009)

Στα πλαίσια της βασικής κατηγοριοποίησης των αιωρούμενων σωματιδίων βάσει μεγέθους, μελετάτε και το σημείο διείσδυσης τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Η συμπεριφορά καθώς και οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ένας τομέας που μελετάτε καθώς απασχολεί όχι μόνο την επιστημονική κοινότητα αλλά και τον καθένα από εμάς ξεχωριστά. Η διαπερατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου είναι συνάρτηση του μεγέθους των σωματιδίων. Τα τμήματα του αναπνευστικού συστήματος που μας ενδιαφέρουν είναι ο ρινοφάρυγγας (το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού), η τραχεία με τους πρωτεύοντες και δευτερεύοντες βρόγχους και οι τερματικοί βρόγχοι με τις πνευμονικές κυψελίδες (Σχήμα 2.4). Είναι πλέον γνωστό ότι όσο μικρότερα είναι τα σωματίδια τόσο περισσότερο εισχωρούν στους αεραγωγούς και στις πνευμονικές κυψελίδες και είναι πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία (Manoli et al. 2002; Pateraki et al. 2008). Τα λεπτά σωματίδια μάλιστα, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα καθώς απορροφούν χημικές ενώσεις στην επιφάνεια τους με αποτέλεσμα να αυξάνουν την τοξική τους δράση και να είναι πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία (Σκούλλος & Σίσκος 2010). Επιπλέον σύμφωνα με τους Vassilakos et al. (2005), "υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα καθώς οι πνευμονικές κυψελίδες είναι ο πιο σημαντικός στόχος των σωματιδίων". Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των Φυτιανός και Σαμαρά (2009), τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να χωριστούν σε τρεις

κατηγορίες βάσει του σημείου εισχώρησης στον ανθρώπινο οργανισμό, στα εισπνεύσιμα, τα θωρακικά και τα αναπνεύσιμα. Τα πρώτα θεωρείται ότι έχουν διάμετρο $< 10 \mu m$ και αποτίθενται στη ρινική κοιλότητα, τα δεύτερα έχουν διάμετρο $< 7 \mu m$ και διαπερνούν το ρινοφάρυγγα ενώ τα τρίτα και πιο επικίνδυνα, φτάνουν στους τερματικούς βρόγχους και τις κυψελίδες του πνεύμονα και έχουν διάμετρο $2.5 \mu m$. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι, όσο πιο μικρά τα σωματίδια, τόσο πιο βαθιά στους πνεύμονες εισχωρούν αυξάνοντας την επικινδυνότητα τους. Στην παρούσα εργασία μελετάμε την πιο επικίνδυνη κατηγορία για την ανθρώπινη υγεία ($< 2.5 \mu m$) γεγονός το οποίο αναδεικνύει τη σημαντικότητα της.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, εκτός από τον όρο “αιωρούμενα σωματίδια”, για να περιγράψουμε το μίγμα μικροσκοπικών στερεών και υγρών σωματιδίων που βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα σε αέρια, χρησιμοποιούμε και τον όρο του “αερολύματος”.

Σχετικά με τις μονάδες συγκέντρωσης που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των αέριων ρύπων είναι δύο ειδών, οι μονάδες κατά όγκο και οι μονάδες κατά βάρος. Η πιο συνηθισμένη μονάδα κατά όγκο είναι τα *μέρη στο εκατομμύριο* (parts per million, ppm) και χρησιμοποιείται στους αέριους ρύπους αντιπροσωπεύοντας τον όγκο του ρυπαντικού αερίου που βρίσκεται σε ένα εκατομμύριο όγκου ατμοσφαιρικού αέρα. Η συγκέντρωση κατά βάρος χρησιμοποιείται τόσο στους σωματιδιακούς ρύπους όσο και στους αέριους. Η πιο συνηθισμένη μονάδα της είναι το $\mu g/m^3$ (μικρογραμμάριο ανά τετραγωνικό μέτρο) και αντιπροσωπεύει το βάρος του ρυπαντικού αερίου σε όγκο αέρα. Στην παρούσα δουλειά χρησιμοποιούμε τη μονάδα $\mu g/m^3$ τόσο για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων όσο και των ρύπων που περιέχουν. Είναι σαφές ότι για τον πλήρη χαρακτηρισμό της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης δεν επαρκεί μόνο η συγκέντρωσή τους αλλά και επιπλέον πληροφορίες όπως είναι η χημική σύστασή τους.



Σχήμα 2.4: Κατανομή των σωματιδίων σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα ανάλογα με το μέγεθος τους (Πηγή: Φυτιανός και Σαμαρά 2009)

2.2 Χημεία και Αιωρούμενα Σωματίδια

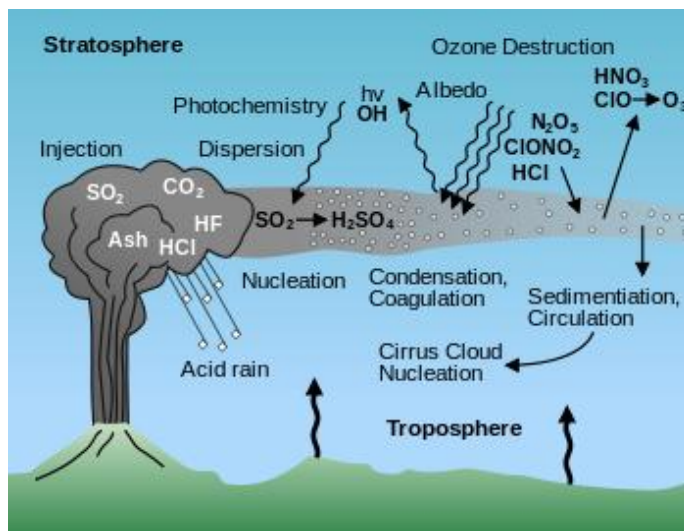
Η κατανόηση της συμπεριφοράς των αερολυμάτων και τις επιδράσεις τους στον ανθρώπινο οργανισμό και το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, δεν είναι εύκολη υπόθεση και απαιτεί εκτός όλων των άλλων τη μελέτη της χημικής τους σύστασης. Η χημική σύνθεση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πολυπαραγοντική και εξαρτάται τόσο από την πηγή δημιουργίας τους όσο και από τις διαδικασίες σχηματισμού τους, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και το μέγεθος τους. Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από μία πληθώρα διαφορετικών χημικών ενώσεων και έχουν δύο ειδών φάσεις, μία οργανική και μία ανόργανη. Σαν οργανική μπορεί να θεωρηθεί ο οργανικός ή στοιχειακός άνθρακας και οι υδρογονάνθρακες ενώ σαν ανόργανη, τα υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα και το στερεό ανόργανο υλικό (Φυτιανός & Σαμαρά 2009). Πρέπει να σημειωθεί ότι η χημική σύνθεση των $PM_{2.5}$ είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή των μεγαλύτερων σωματιδίων. Για παράδειγμα, το κλάσμα των *λεπτών* ($PM_{2.5}$) είναι κυρίως εμπλουτισμένο σε ημιπτητικά συστατικά (π.χ. νιτρικό αμμώνιο, οργανικές ουσίες) ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια μεταξύ $PM_{2.5}$ και PM_{10} ($PM_{2.5-10}$) αποτελούνται κυρίως από αδρανή συστατικά όπως το πυρίτιο, τα μεταλλικά οξειδία και άλλα.

2.2.1 Ανόργανες Ενώσεις

Ένα σημαντικό μέρος της χημικής σύστασης των αερολυμάτων αποτελείται από ανόργανες ενώσεις, δηλαδή τις χημικές ενώσεις που δεν περιέχουν άνθρακα. Τέτοιες ενώσεις είναι τόσο κάποια ανόργανα ιόντα όσο και οι εδαφικής και θαλάσσιας προέλευσης χημικές ενώσεις. Σύμφωνα με ερευνητές μάλιστα, συναντάμε μια πληθώρα βαρέων μετάλλων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από *ανθρωπογενείς* πηγές όπως χαλκό, μόλυβδο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο και πολλά άλλα (Ρεμουντάκη 2012, Seinfeld and Pandis 2006). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ερευνών καθώς και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, τα ανόργανα ιόντα που αποτελούν το σημαντικότερο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα θειικά (SO_4^{2-}), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα ιόντα αμμωνίου (NH_4^+). Οι μεγάλες συγκεντρώσεις των συγκεκριμένων ιόντων θεωρείται ότι μπορεί να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία καθώς και να μειώσουν την ορατότητα (Taylor and Watson 2011; Lei and Wuebbles 2013). Στις παρακάτω παραγράφους θα αναλύσουμε κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά των βασικών ανόργανων ενώσεων που περιέχονται στα αιωρούμενα σωματίδια.

Τα θειικά ιόντα, όπως ήδη αναφέραμε, αποτελούν ένα από τα βασικά συστατικά των *δευτερογενώς* παραγόμενων σωματιδίων (Clements et al. 2013). Η διαδικασία δημιουργίας τους είναι γνωστή καθώς αποτελούν το τελικό στάδιο μετασχηματισμού των ενώσεων του θείου στην ατμόσφαιρα και προκύπτουν μετά από οξειδώσεις του διοξειδίου του θείου (SO_2). Σύμφωνα μάλιστα με τους Kondratyev et al. (2006), “το διοξείδιο του θείου αποτελεί τη σημαντικότερη ανθρωπογενή πηγή θειικών στην ελεύθερη τροπόσφαιρα”. Η διαδικασία της οξειδωσης, συμβαίνει τόσο με ομογενείς (αέρια φάση), όσο και με ετερογενείς (υγρή φάση) αντιδράσεις (Seinfeld and Pandis 2006; McGouldrick et al. 2011; Smith et al. 2014). Ένα σημαντικό κομμάτι της μελέτης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η κατανόηση των πηγών τους. Σχετικά με τη συγκεκριμένη ανόργανη ένωση, σαν πηγή διοξειδίου του θείου θεωρούμε τόσο την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο καθώς και ένα πλήθος βιομηχανικών διεργασιών ή ακόμα τα διυλιστήρια και τα λιπάσματα (θειικό αμμώνιο) (Tsitouridou and Samara 1993). Εκτός από τις τοπικές πηγές που εκλύουν τέτοιες ενώσεις, σημαντική είναι και η συνεισφορά φαινομένων

μεταφοράς όπως για παράδειγμα τα μεγάλης κλίμακας φαινόμενα μεταφοράς από χώρες της κεντρικής Ευρώπης τα οποία εμπλουτίζουν με τη σειρά τους την ατμόσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου με SO_2 (Sciare et al. 2003; Saliba et al. 2007). Σύμφωνα με τους Tsitouridou and Samara (1993), “η συνεισφορά του εδάφους στο σχηματισμό SO_4^{2-} μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα”. Σχετικά με τους μηχανισμούς απομάκρυνσης του SO_2 από την ατμόσφαιρα, γνωρίζουμε ότι δημιουργούν όξινη απόθεση λόγω της δημιουργίας θειικού οξέως (H_2SO_4) από τη διαδικασία οξειδωσης του (Iakowβίδης 2009). Τα θειικά ιόντα παρουσιάζουν εποχικότητα στην εμφάνιση υψηλότερων συγκεντρώσεων. Είναι γνωστό ότι λόγω του χαρακτήρα τους, παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά την περίοδο του καλοκαιριού, καθώς οι φωτοχημικές διαδικασίες ευνοούν το σχηματισμό τους (Colbeck et al. 2002; Saliba et al. 2007; Pateraki et al. 2008). Σύμφωνα με τους (Kouvarakis and Mihalopoulos 2002), “οι υψηλές συγκεντρώσεις σε SO_4^{2-} κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να έχουν και φυσική προέλευση όπως για παράδειγμα από την οξείδωση του διμεθυλοσουλφιδίου (DMS) θαλάσσιας προέλευσης”. Η πιο συνηθισμένη εικόνα κατά την περίοδο του χειμώνα για τα θειικά ιόντα είναι να παρουσιάζουν μικρότερες συγκεντρώσεις με εξαίρεση όταν οι συνθήκες ευνοούνται από αντικυκλωνικές κινήσεις όπου μπορεί να σημειώσουν κάποιο τοπικό μέγιστο (Querol et al. 2009a). Το διοξείδιο του θείου υπάρχει τόσο στο στρώμα της τροπόσφαιρας όσο και της στρατόσφαιρας, στην οποία υπάρχει ένα σημαντικό στρώμα αερολυμάτων στο ύψος περίπου των 15-25 km. Γνωρίζουμε ότι το SO_2 παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη χημεία του όζοντος στην στρατόσφαιρα (Μελάς 2007). Ένας άμεσος τρόπος τροφοδότησης της στρατόσφαιρας με ενώσεις του θείου είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Μέσω των μεγάλων ηφαιστειακών εκρήξεων, SO_2 εκλύεται στη στρατόσφαιρα, το οποίο μέσω οξειδώσεων με την παρουσία ριζών υδροξυλίου (OH^\cdot) και έντονης φωτοχημείας μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4) και σχηματίζει λεπτά σωματίδια. Τα συγκεκριμένα σωματίδια αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να ψύχουν την τροπόσφαιρα· ωστόσο επειδή απορροφούν θερμότητα που εκλύεται από τη Γη, θερμαίνουν το στρώμα της στρατόσφαιρας. Τα σωματίδια του στρατοσφαιρικού στρώματος, μέσα από σύνθετες χημικές αντιδράσεις, παράγουν μονοξειδίο του χλωρίου (ClO) το οποίο καταστρέφει το όζον (O_3). Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η παραπάνω διαδικασία.



Σχήμα 2.5: Επίδραση των ηφαιστειακών εκρήξεων στη στρατοσφαιρική χημεία (Πηγή: Internet)

Εκτός από τα θειικά ιόντα, στη μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων συναντάμε και νιτρικά ιόντα. Τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) μπορεί να ανιχνευτούν τόσο στα λεπτά όσο και στα χονδροειδή σωματίδια και η συγκέντρωσή τους εξαρτάται τόσο από την πηγή, όσο και από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής. Τα νιτρικά ιόντα σχηματίζονται από οξειδώσεις του διοξειδίου του αζώτου NO_2 ενώ οι πηγές τους είναι κυρίως οι ανθρωπογενείς καύσεις όπως οι μονάδες παραγωγής ενέργειας που εκπέμπουν οξείδια του αζώτου (NO_x) και τα αυτοκινούμενα οχήματα (Vassilakos et al. 2005). Όπως είναι αντιληπτό οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων αναμένονται σε περιοχές με αυξημένη ανθρωπογενή δραστηριότητα και κίνηση αυτοκινούμενων οχημάτων, δηλαδή σε αστικές περιοχές. Τα νιτρικά ιόντα έχουν και αυτά εποχικό χαρακτήρα όπως και τα θειικά που ήδη αναφέραμε. Λόγω του χαρακτήρα τους, παρουσιάζουν το μέγιστο στη συγκέντρωσή τους κατά την ψυχρή περίοδο καθώς η χαμηλή θερμοκρασία και η έλλειψη έντονης φωτοχημείας ευνοεί το σχηματισμό του (Minoura et al. 2006; Pateraki et al. 2008). Συμπερασματικά και με την προηγούμενη παράγραφο, κατά τη θερμή περίοδο αναμένουμε υψηλότερες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων, ενώ κατά την ψυχρή περίοδο αναμένουμε αύξηση του επιπέδου των νιτρικών ιόντων. Σύμφωνα με τους Querol et al. (2004) "ένας άλλος λόγος μειωμένων συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών είναι ο ασταθής σχηματισμός νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3) κατά τη συγκεκριμένη περίοδο". Παρόλο που το άζωτο είναι απαραίτητο για την ίδια τη ζωή, από την παρουσία του στα αμινοξέα, τις πρωτεΐνες ακόμα και στο ίδιο DNA, στην περίπτωση της εκτεταμένης έκλυσης του, έχει επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον (Galloway et al. 2003; Erisman et al. 2007). Συμπερασματικά σχετικά με την επίδραση τόσο των θειικών όσο και νιτρικών ιόντων στην ατμόσφαιρα και στο περιβάλλον, γνωρίζουμε ότι τα συγκεκριμένα ιόντα επηρεάζοντας την ορατότητα (όπως αναφέρθηκε παραπάνω), επιδρούν στο οικοσύστημα μέσω της όξινης υγρής απόθεσης τους και δρουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης μέσω των μικροφυσικών διαδικασιών των νεφών. Ακόμα, συνεισφέρουν στην παγκόσμια ψύξη αφού αλληλεπιδρούν με τη μικρού μήκους ακτινοβολία και τελευταίο αλλά πολύ σημαντικό είναι ότι σε μεγάλες συγκεντρώσεις, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Pope III and Dockery 2006; Petters et al. 2009; Aherne 2010; Hand et al. 2012; Beyn et al. 2014)). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τόσο τα θειικά όσο και νιτρικά ιόντα αυξάνουν την οξύτητα των αερολυμάτων και τα καθιστούν ακόμα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία.

Τα ιόντα του αμμωνίου (NH_4^+) αποτελούν με τη σειρά τους ένα σημαντικό μέρος της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων όπως τα θειικά και νιτρικά ιόντα. Η αμμωνία (NH_3) είναι η σπουδαιότερη σταθερή υδρογονούχος ένωση του αζώτου και βρίσκεται στη φύση σε διάφορες μορφές. Τα θειικά όσο και τα νιτρικά ιόντα, κατά τη διάρκεια σχηματισμού τους, βρίσκονται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή των αντίστοιχων οξέων. Τα οξέα εξουδετερώνονται από την NH_3 και σχηματίζουν αμμωνιακά άλατα όπως το θετικά φορτισμένο πολυατομικό ιόν NH_4^+ (κατιόν αμμωνίου). Η κύρια πηγή της αμμωνίας που είναι η πρόδρομη ουσία του NH_4^+ , μπορεί να εκλυθεί τόσο από βιομηχανικές εκπομπές και να δημιουργήσει το συγκεκριμένο ιόν αλλά κυρίως είναι γεωργικής προέλευσης με τα λιπάσματα και την κτηνοτροφία να είναι οι κύριες πηγές της (Beuning et al. 2008; Proemse et al. 2012). Όπως έγινε αντιληπτό, τα NO_3^- και NH_4^+ αποτελούν τις κύριες αζωτούχες ενώσεις που περιέχονται στα αιωρούμενα σωματίδια.

Ένα μέρος της χημικής σύστασης των αερολυμάτων αποτελείται και από θαλασσινής προέλευσης χημικές ενώσεις. Από τη θάλασσα προέρχονται σωματίδια τα οποία είναι τόσο προϊόντα εκτίναξης όσο και εξάτμισης ποσοτήτων θαλασσινού νερού κάτω από την επίδραση των ανέμων και είναι πλούσια σε χλωριούχο νάτριο ($NaCl$) (Σκούλλος και Σίσκος 2010). Τα ιόντα χλωρίου (Cl^-) και νατρίου (Na^+), ιόντα θαλάσσιας προέλευσης, θεωρούνται ως οι

σημαντικότεροι δείκτες για την ανίχνευση θαλασσινού αλατιού στα αιωρούμενα σωματίδια. Η μέγιστη συγκέντρωση των συγκεκριμένων ιόντων παρουσιάζεται κατά τους θερινούς μήνες, καθώς η οριζόντια μεταφορά του θαλασσινού αλατιού ευνοείται από το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας (Kouvarakis and Mihalopoulos 2002; Tsitouridou 2003; Pateraki et al. 2008; Theodosi et al. 2010). Όπως είναι αναμενόμενο το χειμώνα δεν αναμένονται μεγάλες συγκεντρώσεις τους στα αιωρούμενα σωματίδια. Η αυξημένη συγκέντρωση σε ιόντα χλωρίου, αυξάνει την οξύτητα των αερολυμάτων, όπως τα θειικά και νιτρικά ιόντα, καθιστώντας τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Στο παράρτημα 3.2 παρουσιάζονται ορισμένες τιμές δεικτών, από τη διεθνή βιβλιογραφία, για την ανίχνευση θαλασσινης προέλευσης σωματιδίων.

Εκτός των ιόντων θαλασσινης προέλευσης, τα αιωρούμενα σωματίδια περιέχουν και μια σειρά από εδαφικής προέλευσης χημικές ενώσεις. Τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) ανήκουν στην ομάδα των αλκαλικών γαιών και αποτελούν δείκτη καθώς είναι κατά κανόνα εδαφικής προέλευσης (Sciare et al. 2005; Theodosi et al. 2011). Η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και ειδικά η Ελλάδα, επηρεάζεται άμεσα από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Αφρικής με αποτέλεσμα να έχει αναπτυχθεί ο κλάδος της μελέτης τέτοιων φαινομένων. Τα επίπεδα της σκόνης μπορεί να υπολογιστούν εκτός όλων των άλλων και από τις συγκεντρώσεις μετάλλων όπως ο σίδηρος (Fe) ή το μαγγάνιο (Mn) που λειτουργούν σα δείκτες για εδαφικής προέλευσης σωματίδια (Guieu et al. 2002; Theodosi et al. 2011) όπως και από το αργίλιο (Al) και πυρίτιο (Si) (Bardouki et al. 2003). Ερευνητές χρησιμοποιούν και τα ιόντα καλίου (K^+) από την ομάδα των αλκαλίων σαν δείκτη ανίχνευσης εδαφικής προέλευσης σωματιδίων ενώ σύμφωνα με τους Theodosi et al. (2011), “το K^+ χρησιμοποιείται ως δείκτης ανίχνευσης προϊόντων καύσης βιομάζας στα αιωρούμενα σωματίδια”. Στο παράρτημα 3.2 παρουσιάζονται ορισμένες τιμές δεικτών, από τη διεθνή βιβλιογραφία, για την ανίχνευση εδαφικής προέλευσης σωματιδίων.

Ορισμένα στατιστικά στοιχεία σχετικά με το ποσοστό των παραπάνω ανόργανων ενώσεων στη μάζα των αερολυμάτων (στις αστικές περιοχές), θέλουν τα θειικά και νιτρικά ιόντα να είναι τα κυρίαρχα ιόντα με ποσοστό περίπου 69%, σε σχέση με τις υπόλοιπες υδατοδιαλυτές ανόργανες ενώσεις, στα λεπτά σωματίδια και να αποτελούν το 20-50% της συνολικής τους μάζας (He et al. 2001; Querol et al. 2008; Plaza et al. 2011). Σύμφωνα με τους Seinfeld and Pandis (2006) “τα ανόργανα ιόντα SO_4^{2-} , NO_3^- και NH_4^+ , παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα λεπτά σωματίδια ($< 2.5 \mu g/m^3$) ενώ τα μεταλλικά ιόντα Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , το Cl^- καθώς και τα μέταλλα Fe, Mn, Al και Si παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα χονδροειδή σωματίδια ($> 2.5 \mu g/m^3$)”.

2.2.2 Οργανικές Ενώσεις

Εκτός των ανόργανων χημικών ενώσεων ένα μεγάλο μέρος της μάζας των αερολυμάτων αποτελείται από οργανικές ενώσεις. Λόγω της πολυπλοκότητας των οργανικών ενώσεων στα αερολύματα, οι ερευνητές χωρίζουν τον άνθρακα σε οργανικό (organic carbon, OC) και στοιχειακό (elemental, EC). Το άθροισμα του οργανικού και στοιχειακού άνθρακα (OC+EC) είναι γνωστό και ως μαύρος άνθρακας (black carbon) (Pateraki et al., 2012). Η μελέτη των ανθρακούχων ενώσεων στα σωματίδια ελκύουν μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω των αρνητικών τους επιπτώσεων στο περιβάλλον, στον άνθρωπο και λόγω της επιρροής τους στην αλλαγή του κλίματος (Hansen 2005; Zhang et al. 2011).

Ο στοιχειακός άνθρακας (*EC*) είναι *πρωτογενής*. Οι πηγές παραγωγής του, αν και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν απόλυτα, περιλαμβάνουν διαδικασίες ατελούς καύσης προϊόντων του άνθρακα, καύσεις ορυκτής ύλης, καύσεις καυσίμων και βιομάζας, σκόνη από ασφαλτοστρώσεις δρόμων, εκπομπές από μαγείρεμα και πιο σπάνια φυσικές πυρκαγιές (Castro et al. 1999; Jacobson 2001; Harrison and Yin 2008). Σύμφωνα με τους (Watson et al. 1994; Cao et al. 2004), “η πιο σημαντική πηγή *EC* στην ατμόσφαιρα είναι τα αυτοκινούμενα οχήματα”. Ο οργανικός άνθρακας (*OC*), *ανθρωπογενούς* ή *φυσικής* προέλευσης, μπορεί να παραχθεί *πρωτογενώς* (primary organic carbon, *POC*), με παρόμοιο τρόπο με τον *EC* και επιπλέον, από πρωτογενή βιογενή σωματίδια όπως ιοί, γύρη, μύκητες καθώς και από ροές γαιών (ροές από συντρίμμια) (Schwarz et al. 2008). Ο *δευτερογενής OC* (secondary organic carbon, *SOC*) παράγεται μέσω φωτοχημικών διεργασιών μετατροπής αερίου σε σωματίδιο. Ένα παράδειγμα τέτοιων ενώσεων είναι τα σωματίδια που δημιουργούνται από την οξείδωση πτητικών υδρογονανθράκων. (Ρεμουντάκη 2012; Grivas et al. 2011). Μηχανικές διαδικασίες όπως η εκπομπή φυτικών σπόρων και γύρης, ροές γαιών, ελαστικά οχημάτων και εδαφικό οργανικό υλικό παράγουν κυρίως *πρωτογενή χονδροειδή* σωματίδια (Schauer et al. 1996; Castro et al. 1999).

Τόσο ο οργανικός (*OC*), όσο και ο στοιχειακός (*EC*) άνθρακας καταλαμβάνουν ένα μεγάλο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων όπως ήδη αναφέραμε. Σύμφωνα με τους (Putaud et al. 2010), “στις Ευρωπαϊκές αστικές πόλεις οι οργανικές ενώσεις καταλαμβάνουν περίπου το 25-40 % των PM_{10} σωματιδίων”. Ακόμα είναι από τα βασικότερα συστατικά του *λεπτού* ($< 2.5 \mu g/m^3$) κλάσματος των αιωρούμενων σωματιδίων, ειδικά σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές, καθώς σύμφωνα με ερευνητές καταλαμβάνουν το 30-50 % της συνολικής τους μάζας (Grivas et al. 2012(Cao et al. 2004)). Σύμφωνα με τους Theodosi et al. (2011), “το σύνολο του οργανικού υλικού αποτελεί περίπου το 79 % της μάζας των PM_1 ” ενώ άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι μπορεί να φτάσει ακόμα και το 100% στα πλέον λεπτά (ultrafine) σωματίδια (Samara and Voutsas 2014).

Οι επιπτώσεις των αυξημένων συγκεντρώσεων των αερολυμάτων σε οργανικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα αρνητικές. Πιο συγκεκριμένα, επιδημιολογικές μελέτες σε μεγάλες αστικές πόλεις, όπως η Νέα Υόρκη για παράδειγμα, έδειξαν ότι υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε ενώσεις του άνθρακα συνδέονται με καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις. Σύμφωνα με τους Ito et al. (2010) το παραπάνω γεγονός “τονίζει τον σημαντικό χαρακτήρα των τοπικών πηγών καύσης που σχετίζεται με την κίνηση των οχημάτων και την καύση πετρελαίου και λαδιού”. Παρόμοια έρευνα διεξήχθη και στην Καλιφόρνια από τους Ostro et al. (2006), υποδεικνύει ότι τόσο οργανικός (*OC*), όσο και ο στοιχειακός (*EC*) άνθρακας σχετίζεται με τη θνησιμότητα. Εκτός των αρνητικών επιπτώσεων για την υγεία του ανθρώπου, οι οργανικές ενώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο και στο κλίμα του πλανήτη μας, επηρεάζοντας το ισοζύγιο της ακτινοβολίας, θερμαίνοντας ή ακόμα και ψύχοντας την ατμόσφαιρα (Jacobson 2001; Harrison and Yin 2008). Πιο συγκεκριμένα, πολλές έρευνες υποδεικνύουν ότι ο *EC* είναι ένας ισχυρός απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας και παίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια θέρμανση (Jacobson 2001; Feng et al. 2009; Bernardoni et al. 2013). Αντίστοιχες έρευνες καταλήγουν στο αντίθετο συμπέρασμα καθώς δείχνουν ότι ο *EC* μειώνει την ορατότητα, επηρεάζοντας το οπτικό βάθος και ρίχνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών μειώνοντας το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη (Waston et al. 2001; Feng et al. 2009). Παρόλη την εμφανή σημαντικότητα των *OC* και *EC* στις φυσικές και χημικές διαδικασίες της ατμόσφαιρας, πληροφορίες όσον αφορά τη χωρική και την εποχική κατανομή αλλά και τις πηγές και τους μηχανισμούς σχηματισμού τους, είναι σχετικά περιορισμένες (Salma et al. 2004; Zhang et al. 2011).

Ένας σημαντικό σημείο στην έρευνα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι η εύρεση του μέρους της συνεισφοράς των *πρωτογενών* και *δευτερογενών* οργανικών συστατικών στα αιωρούμενα σωματίδια, δηλαδή ο προσδιορισμός των *δευτερογενών* παραγόμενων σωματιδίων από το σύνολο τους. Ο οργανικός άνθρακας (OC) αποτελείται από ένα μείγμα εκατοντάδων οργανικών συστατικών, γεγονός το οποίο κάνει τη διάκριση μεταξύ *πρωτογενή* OC και *δευτερογενή* ακόμα πιο δύσκολη όπως τονίζεται σε μια πληθώρα από έρευνες (Zhang et al. 2011; Grivas et al. 2012; Bernardoni et al. 2013). Ακριβώς επειδή δεν υπάρχει αναλυτική μέθοδος διάκρισης μεταξύ OC και EC, στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται μια σειρά από μέθοδοι που μελετούν τόσο τη θερμοκρασία όσο και τις οπτικές τους ιδιότητες. Ένας σημαντικός δείκτης για τον σχηματισμό ή μη *δευτερογενώς* παραγόμενων οργανικών σωματιδίων είναι ο λόγος OC/EC. Έρευνες υποδεικνύουν ότι αν ο συγκεκριμένος λόγος υπερβαίνει περίπου την τιμή 2, έχουμε ισχυρές ενδείξεις παραγωγής *δευτερογενών* οργανικών αερολυμάτων (Cao et al. 2004; Giugliano et al. 2005; Feng et al. 2009; Theodosi et al. 2010; Mantas et al. 2014). Σύμφωνα με τους Feng et al. (2009), όπως αναφέρεται και στο Παράρτημα 3 (Π3.1), παρουσιάζονται μερικές τυπικές τιμές του συγκεκριμένου λόγου που σχετίζονται με τις εκπομπές οργανικών ενώσεων και τον προσδιορισμό των πηγών τους. Έρευνα των Robinson et al. (2009) αναφέρει ότι “η φωτοχημική γήρανση εκπομπών από κινητήρες πετρελαίου δημιουργούν *δευτερογενή* παραγόμενα αερολύματα”.

2.3 Αιωρούμενη Σωματιδιακή Ύλη στην Αττική

2.3.1 Τοπογραφία – Μορφολογία Λεκανοπεδίου

Το λεκανοπέδιο Αττικής ή λεκανοπέδιο Αθηνών (Σχήμα 2.6) είναι ο πεδινός γεωγραφικός χώρος που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νομού Αττικής καλύπτοντας μία συνολική έκταση 450 km^2 περίπου. Καλύπτεται σχεδόν ολόκληρο από τους τομείς της Αθήνας (κεντρικός, βόρειος, δυτικός, νότιος) καθώς και από τους γύρω δήμους και οικισμούς. Έχει σχήμα πετάλου με διεύθυνση άξονα ΒΒΑ - ΝΝΔ και σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο πληθυσμός του αποτελεί περίπου το $1/3$ του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδας (περίπου 3,752,973 μόνιμοι κάτοικοι). Το λεκανοπέδιο, έχει μήκος 25 km και πλάτος 17 km περίπου. Περικλείεται από μια σειρά ορεινών όγκων με την Πάρνηθα στα Βόρεια (ύψος 1413 m), την Πεντέλη στα Βορειοανατολικά (ύψος 1109 m), τον Υμηττό στα Ανατολικά (ύψος 1026 m) και το όρος Αιγάλεω με την προέκτασή του το Ποικίλο όρος στα Δυτικά (ύψος 468 m). Πίσω από τους ορεινούς όγκους βρίσκονται οι πεδιάδες της Ελευσίνας (Θριάσιο πεδίο) στα Δυτικά καθώς και των Μεσογείων και Μαραθώνα στα Ανατολικά. Στο εσωτερικό του Λεκανοπεδίου και κατά μήκος του κεντρικού του άξονα αναπτύσσεται μια σειρά από λόφους (από Βορρά προς Νότο) όπως: Τουρκοβούνια (338 m), Λυκαβηττός (260 m), Ακρόπολη (156 m), Φιλοπάππου (160 m). Στο κεντρικό του τμήμα υπάρχουν και άλλοι μικρότεροι λόφοι όπως: του Στρέφη (163 m), Αρδηττός (133 m) και άλλοι μικρότεροι. Το λεκανοπέδιο της Αττικής ανοίγεται προς τα Νότια- Νοτιοδυτικά στο Σαρωνικό κόλπο με ακτογραμμή περί τα 50 km. Σύμφωνα με τους Παπανικολάου κ.α. (2004), “η ανάγλυφη μορφή του λεκανοπεδίου μεταβάλλεται από ορεινή σε λοφώδη πεδινή και παράλια”.

Η περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής χαρακτηρίζεται από τα υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων τόσο λόγω των τοπικών πηγών εκπομπής όσο και μέσω φαινομένων μεταφοράς από χώρες της κεντρικής και Νότιας Ευρώπης, της Δυτικής Τουρκίας αλλά και της Βόρειας Αφρικής (Pateraki et al. 2013a; Mantas et al. 2014).



Σχήμα 2.6: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής της Αττικής και του λεκανοπεδίου

Οι *ανθρωπογενείς* τοπικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων εντός του λεκανοπέδιου Αττικής είναι κυρίως η βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής, η αυξημένη κίνηση οχημάτων αλλά και οι πηγές κεντρικής (και μη) θέρμανσης κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών (Kallos et al. 1993; Flocas et al. 2006; Karageorgos and Rapsomanikis 2007; Pateraki et al. 2008). Οι βιομηχανικές δραστηριότητες που επηρεάζουν την ευρύτερη περιοχή βρίσκονται τόσο μέσα στο λεκανοπέδιο αλλά κυρίως στα Δυτικά του και πιο συγκεκριμένα στο Θριάσιο πεδίο το οποίο απαρτίζεται από μονάδες διύλισης πετρελαίου, ναυπηγεία, μονάδες παραγωγής τσιμέντου καθώς και χαλυβουργεία. Εκτός από το Θριάσιο πεδίο, η περιοχή επηρεάζεται και από τα Νότια-Νοτιοδυτικά καθώς υπάρχουν δευτερεύουσες βιομηχανικές δραστηριότητες και το λιμάνι του Πειραιά. Εκτός της βιομηχανικής δραστηριότητας στο λεκανοπέδιο Αττικής υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός οχημάτων σε κυκλοφορία εκ των οποίων αρκετά από αυτά είναι μη-καταλυτικά και πετρελαιοκίνητα όπως επισημαίνεται σε μια σειρά από έρευνες (Theodosi et al. 2011). Η επίδραση της κυκλοφοριακής κίνησης στις συγκεντρώσεις της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης αλλά και στη χημική σύσταση των αερολυμάτων έχει ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες και έχει αναπτυχθεί εκτενέστερα στην προηγούμενη ενότητα. Εκτός των ανθρωπογενών πηγών αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης εκτός του λεκανοπέδιου, υπάρχουν και φυσικές πηγές εκπομπής οι οποίες είναι τόσο τοπικές (όπως για παράδειγμα τα θαλάσσια αιωρούμενα σωματίδια) όσο και λόγω φαινομένων μεταφοράς (όπως η μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα).

Οι καιρικές συνθήκες στην περιοχή είναι το προϊόν της αλληλεπίδρασης της τοπικής και της μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας. Το κλίμα είναι Μεσογειακό, με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και υγρούς και ήπιους χειμώνες. Το μεγαλύτερο μέρος των βροχών πέφτει κατά την ψυχρή περίοδο. Οι άνεμοι φυσούν κυρίως κατά μήκος του κεντρικού άξονα (BBA-NNΔ) με τις κυριαρχούσες διευθύνσεις να είναι BBA κατά το τέλος του καλοκαιριού, το φθινόπωρο και το χειμώνα και NNΔ κατά την άνοιξη και την αρχή του καλοκαιριού. Η ατμοσφαιρική σταθερότητα της περιοχής είναι κυρίως ουδέτερη. Κατά το τέλος του φθινοπώρου, το χειμώνα και την αρχή

της άνοιξης δημιουργούνται συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας πάνω από την περιοχή, το στρώμα ανάμειξης είναι πολύ ρηχό και έτσι η κυκλοφορία μέσης κλίμακας δεν μπορεί να αναπτυχθεί πλήρως όπως επισημαίνουν μια σειρά από έρευνες (Kallos et al. 1993; Grivas et al. 2008). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρούνται στην περιοχή συνθήκες ατμοσφαιρικής αστάθειας σε συνδυασμό με ΒΑ ανέμους και το στρώμα ανάμειξης είναι μεγαλύτερο με αποτέλεσμα το καλύτερο αερισμό του λεκανοπεδίου και την εξασθένηση της σωματιδιακής ρύπανσης (Grivas et al. 2004, 2008; Chaloulakou et al. 2005). Όπως αναφέρεται σε μια σειρά από έρευνες η έντονη φωτοχημική δραστηριότητα με την έλλειψη βροχοπτώσεων και το βαθύτερο στρώμα ανάμειξης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να ευνοήσει την ανάμειξη ρυπασμένων αερίων μαζών με αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση θειικών και τη δημιουργία δευτερογενών σωματιδίων (Mihalopoulos et al. 2007; Remoundaki et al. 2013). Οι Pateraki et al. (2008) αναφέρουν ότι “κατά τη θερμή περίοδο, όταν το επιτρέπουν οι μετεωρολογικές συνθήκες (αίθριος καιρός) και σε συνδυασμό με το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας, παρατηρείτε μεταφορά ρυπασμένων αερίων μαζών από το Θριάσιο Πεδίο στα Δυτικά του λεκανοπεδίου”. Το συμπέρασμα αυτό είναι σε σύμπνοια με τους (Helmis et al. 1997), που αναφέρουν ότι “κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με την παρουσία ΝΔ ανέμων και την εύνοια των μετεωρολογικών συνθηκών (αίθριος καιρός), ευνοείται η επανακυκλοφορία ρύπων στην περιοχή του λεκανοπεδίου”. Το σύνθετο ανάγλυφο του λεκανοπεδίου σε συνδυασμό με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής δημιουργούν συνθήκες παγίδευσης των αερίων μαζών σε ένα μικρό στρώμα πάνω από την πόλη, ειδικά κατά τη διάρκεια θερμοκρασιακής ατμοσφαιρικής ευστάθειας, καθώς δεν ευνοείται η διασπορά των αερολυμάτων και ο αερισμός είναι ελλιπής. Σύμφωνα με ερευνητές, η ανάπτυξη του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας (sea / land breeze) στην περιοχή του λεκανοπεδίου παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά και ανακατανομή των αερίων ρύπων στην περιοχή άρα και στις υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης (Flocas, H A et al. 2003; Pateraki et al. 2014). Η ελλιπής βροχόπτωση στο διάστημα μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου σε συνδυασμό με τη φτωχή διασπορά των σωματιδίων ευνοεί τη δημιουργία φωτοχημικής αιθαλομίχλης (Mantas et al. 2014). Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου επικρατούν δύο διαφορετικά συστήματα όσον αφορά τον άνεμο: το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας, που σχετίζεται με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όταν η ροή συνοπτικής κλίμακας είναι ασθενής και τους Βόρειους Ετησίους ανέμους (Μελτέμια) που δημιουργούνται κάτω από την επίδραση του αντικυκλώνα των Αζορών ή της Ευρώπης και του κυκλώνα πάνω από την περιοχή της Ινδίας. Κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου: Βόρειοι άνεμοι επικρατούν όταν υπερτερεί η ροή συνοπτικής κλίμακας ενώ οι Νότιοι άνεμοι δημιουργούνται είτε από τους θερμούς τομείς υφέσεων, είτε από αντικυκλωνικές συνθήκες στην περιοχή. Ο ΒΒΑ τομέας του λεκανοπεδίου θεωρείται ο πιο σημαντικός όσον αφορά τον αερισμό της περιοχής καθώς περίπου τα 2/3 της συνολικής ποσότητας που εισέρχεται στην περιοχή εισχωρεί από εκεί. Ο ΝΝΔ τομέας εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα πάνω από την περιοχή τόσο με σκόνη από τη Σαχάρα (όταν έχουμε επεισόδια σκόνης), με ρυπασμένα από την περιοχή του Πειραιά σωματίδια και με θαλάσσια σωματίδια.

2.3.2 Δίκτυο σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. Μέτρησης Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης

Το Υ.Π.Ε.Κ.Α. (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) μέσω του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (Ε.Δ.Π.Α.Ρ.) παρακολουθεί σε συνεχή βάση τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής όσο και σε άλλες πόλεις. Στον Πίνακα 2.1 φαίνονται οι σταθμοί του δικτύου του Υ.Π.Ε.Κ.Α στο ευρύτερο λεκανοπέδιο με το χαρακτηρισμό του κάθε σταθμού και το μέσο επίπεδο πάνω από τη θάλασσα (above mean sea level, a.m.s.l) καθώς και οι μετρούμενοι

ρύπτοι σε κάθε σταθμό. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι σταθμοί που λειτουργούν στις επαρχιακές πόλεις, με τα ίδια στοιχεία. Στον Πίνακα 2.3 αναγράφονται οι μέθοδοι μέτρησης του κάθε ρύπου.

Δεδομένης της εκτενούς αναφοράς στην προηγούμενη ενότητα των επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, ειδικότερα των μικρότερων από αυτά, στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, παρατηρείται μεγάλη έλλειψη όσον αφορά την παρακολούθηση τους από το Υ.Π.Ε.Κ.Α. Παρόλο που η μέτρηση των μεγαλύτερων PM_{10} σωματιδίων γίνεται στους περισσότερους σταθμούς, η μέτρηση των μικρότερων κλασμάτων δεν είναι επαρκής. Η παρακολούθηση των $PM_{2.5}$ γίνεται σε λίγους από τους εγκατεστημένους σταθμούς, ενώ δεδομένα για τα PM_1 δεν υπάρχουν πουθενά. Η μέτρηση των οργανικών ενώσεων, σε δύο μόλις σταθμούς, περιορίζεται στο βενζόλιο (C_6H_6) το οποίο ανήκει στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και είναι τοξικό και καρκινογόνο ενώ δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις για στοιχειακό (EC) και οργανικό (OC) άνθρακα.

Σχετικά με το δίκτυο μετρήσεων του Υ.Π.Ε.Κ.Α., παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει αξιόπιστη καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης καθώς οι σταθμοί δεν καλύπτουν μεγάλες βιομηχανικές και αγροτικές περιοχές της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης καθώς και της Πελοποννήσου και άλλων περιοχών. Ακόμα δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις στα νησιωτικά συμπλέγματα της Ελλάδας (εκτός της Κρήτης). Όπως είναι φανερό απαιτείται η επανασχεδίαση του δικτύου μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως οι χρήσεις γης, πληθυσμιακά στοιχεία, τον πολεοδομικό σχεδιασμό καθώς και περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Πίνακας 2.3: Μέθοδος Μέτρησης Ρύπων στους Σταθμούς του Υ.Π.Ε.Κ.Α. (Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α.)

Μετρούμενος Ρύπος	Μέθοδος Μέτρησης
Διοξείδιο του θείου (SO_2)	Φθορισμομετρία
Οξείδια του αζώτου (NO_x)	Χημειοφωταύγεια
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Όζον (O_3)	Απορρόφηση στο υπεριώδες
$PM_{2.5}$ και PM_{10}	Απορρόφηση β- ακτινοβολίας
Βενζόλιο (C_6H_6)	Αέρια χρωματογραφία (GC)

2.3.3 Επίπεδα Συγκέντρωσης Αιωρούμενης Σωματιδιακής Ύλης

Η ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένη με αιωρούμενα σωματίδια τόσο λόγω των ανθρωπογενών και φυσικών πηγών της περιοχής αλλά και εξαιτίας των ατμοσφαιρικών συνθηκών που ευνοούν τις φωτοχημικές διαδικασίες παραγωγής δευτερογενών ρυπαντών. Σύμφωνα με τους Gerasopoulos et al. (2011), "η ανατολική Μεσόγειος θεωρείται ότι έχει 2 έως 10 φορές περισσότερη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων σε σχέση με τις πλέον ρυπασμένες περιοχές Βορειότερων γεωγραφικών πλατών". Η περιοχή του λεκανοπέδιου της Αττικής τόσο λόγω του ανάγλυφου, των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούν αλλά και φαινομένων μεταφοράς αιωρούμενων σωματιδίων από άλλες περιοχές είναι επιβαρυμένη όσον αφορά τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η Αθήνα θεωρείται από ερευνητές ως μία περιοχή που έχει συνήθως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων από τις άλλες Ευρωπαϊκές πόλεις (Wilson et al. 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Πίνακας 2.1: Δίκτυο Σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. στο Ευρύτερο Λεκανοπέδιο της Αττικής (Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α.)

Σταθμοί Μέτρησης Υ.Π.Ε.Κ.Α.									
Όνομα Σταθμού	Χαρακτηρισμός Σταθμού	a.m.s.l.	Μετρούμενοι Ρύποι						
			SO ₂	NO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	C ₆ H ₆
Αθηνάς	Αστικός – Κυκλοφορίας	100	v	v	v	v			
Αριστοτέλους	Αστικός – Κυκλοφορίας	95		v			v		
Γεωπονική	Περισστικός - Βιομηχανικός	40		v	v	v			
Λιόσια	Περισστικός - Υποβάθρου	165		v		v			
Λυκόβρυση	Περισστικός	234		v		v	v	v	
Μαρούσι	Αστικός – Κυκλοφορίας	170		v	v	v	v		
Νέα Σμύρνη	Αστικός - Υποβάθρου	50		v	v	v			
Πατησίων	Αστικός – Κυκλοφορίας	105	v	v	v	v			v
Πειραιάς I	Αστικός – Κυκλοφορίας	4	v	v	v	v	v	v	
Πειραιάς II	Αστικός - Υποβάθρου	25	v	v		v			
Περιστέρι	Αστικός - Υποβάθρου	80	v	v	v	v			
Αγ. Παρασκευή	Περισστικός - Υποβάθρου	290		v		v	v	v	
Ελευσίνα	Περισστικός - Βιομηχανικός	20	v	v		v	v		
Θρακομακεδόνες	Περισστικός – Υποβάθρου	550		v		v	v		
Κορωπί	Περισστικός – Υποβάθρου	140		v		v	v		
Οινόφυτα	Περισστικός - Βιομηχανικός	100	v	v		v	v		
Αλιάρτος	Υποβάθρου	110	v	v		v	v		
Ζωγράφου	Περισστικός - Υποβάθρου	245		v		v	v		
Γουδί	Αστικός - Κυκλοφορίας	155		v			v	v	
Γαλάτσι	Περισστικός - Υποβάθρου	154	v	v		v			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Πίνακας 2.2: Ευρύτερο Δίκτυο Σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. στις Επαρχιακές Πόλεις (Πηγή: Υ.Π.Ε.Κ.Α.)

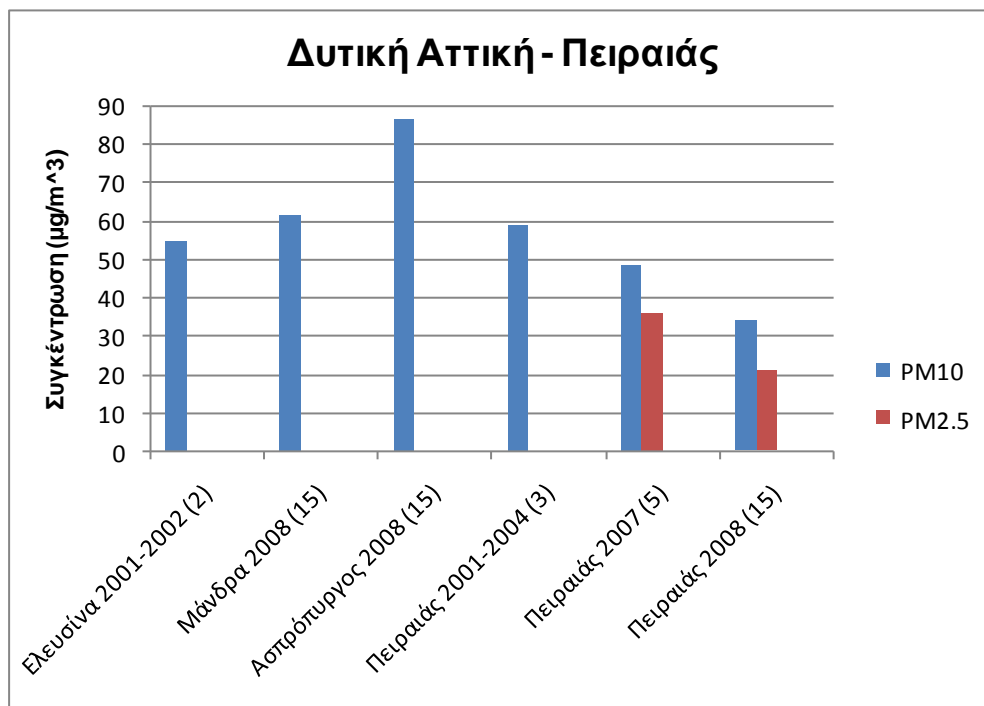
Σταθμοί Μέτρησης Υ.Π.Ε.Κ.Α.									
Όνομα Σταθμού	Χαρακτηρισμός Σταθμού	a.m.s.l.	Μετρούμενοι Ρύποι						
			SO ₂	NO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	C ₆ H ₆
Κεντρική Μακεδονία									
Αγ. Σοφία	Αστικός – Κυκλοφορίας	27	v	v	v	v	v		
Α.Π.Θ.	Αστικός - Υποβάθρου	55	v	v		v			
Πανόραμα	Περισστικός - Υποβάθρου	363		v		v	v		
Καλαμαριά	Περισστικός - Υποβάθρου	60	v	v	v	v	v		
Κορδελιό	Αστικός – Βιομηχανικός	30	v	v	v	v	v		
Σίνδος	Αστικός – Βιομηχανικός	14	v	v	v	v	v		
Νεοχωρούδα	Περισστικός - Υποβάθρου	229		v		v			
Δυτική Ελλάδα									
Πάτρα Ι	Αστικός – Κυκλοφορίας	16	v	v	v	v	v		
Πάτρα ΙΙ	Αστικός – Κυκλοφορίας	19	v	v	v		v		
Θεσσαλία									
Βόλος	Αστικός - Υποβάθρου	31	v	v	v	v	v		
Λάρισα	Αστικός – Κυκλοφορίας	15	v	v	v	v	v		
Κρήτη									
Ηράκλειο	Αστικός – Κυκλοφορίας	10	v	v	v	v	v		
Ήπειρος									
Ιωάννινα	Αστικός - Υποβάθρου	485		v		v	v	v	v

Το λεκανοπέδιο Αττικής έχει γίνει αντικείμενο μελετών, τα τελευταία χρόνια, όσον αφορά τη σωματιδιακή ρύπανση. Η προσέγγιση γίνεται τόσο με πειραματικές μεθόδους όσο και με τη χρήση μοντέλων. Τα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν μελετηθεί είναι κατά κύριο λόγο τα μεγαλύτερα (PM_{10}) με λιγότερες αναφορές στα $PM_{2.5}$ και ελάχιστες στα PM_1 . Επίσης έχουν γίνει μελέτες όσον αφορά τα χονδροειδή (coarse) σωματίδια ($PM_{2.5-10}$). Ο χρόνος δειγματοληψίας ποικίλει, από λίγες μέρες ως και χρόνια, όπως φαίνεται και στο Παράρτημα 2. Λόγω της ποικιλίας των μεθόδων και του διαφορετικού μεγέθους των χρονοσειρών που επεξεργάστηκαν οι ερευνητές, εκτός του γενικού συμπεράσματος της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας από τη σωματιδιακή ρύπανση, θα ήταν αναξιόπιστα οποιαδήποτε άλλα συμπεράσματα. Στα σχήματα 2.7- 2.10 παρουσιάζεται μια διαχρονική εξέλιξη σε διάφορες περιοχές της ευρύτερης περιοχής της Αττικής, όπως αποδόθηκε από τις μελέτες που αναφέρονται στο Παράρτημα 2 (Π2.1 – Π2.5). Τα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων που φαίνονται στα σχήματα είναι PM_{10} (αναγράφεται ως PM_{10}), $PM_{2.5}$ (αναγράφεται ως $PM_{2.5}$), PM_1 (αναγράφεται ως PM_1) και $PM_{2.5-10}$ (αναγράφεται ως $PM_{10-2.5}$). Η αρίθμηση στην παρένθεση αναφέρεται στις συγκεκριμένες μελέτες. Σχετικά με την αρίθμηση παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.4.

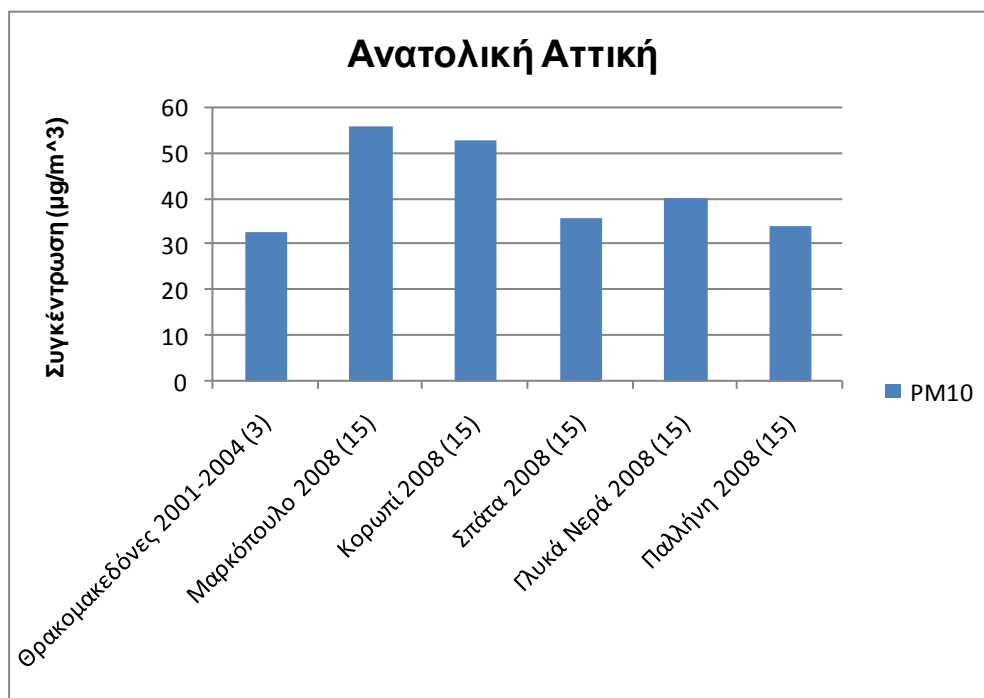
Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων εμφανίζονται αυξημένα, στις περισσότερες περιοχές, κατά την ψυχρή περίοδο (16 Οκτώβρη- 15 Απρίλη) όπως φαίνεται και στο Παράρτημα 2 (Π2.4- Π2.5). Το συγκεκριμένο αποδίδεται τόσο στην ένταση των τοπικών πηγών εκπομπής σωματιδίων όσο και στις υπάρχουσες μετεωρολογικές συνθήκες, τη συγκεκριμένη περίοδο, που ευνοούν τη συσσώρευση της σωματιδιακής ρύπανσης. Επίσης, στην πλειονότητα των μελετών παρουσιάζεται μία μικρή αύξηση των συγκεντρώσεων τις καθημερινές σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα. Ως πηγές εκπομπής στις συγκεκριμένες μελέτες θεωρήθηκαν η αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση σε συνδυασμό με την έναρξη των αυτοκινήτων όταν ο κινητήρας είναι ακόμη κρύος, η οικιακή θέρμανση καθώς και η βιομηχανική δραστηριότητα (όπου υπάρχει).

Πίνακας 2.4: Αρίθμηση Σχημάτων Διαφόρων Μελετών στο Χώρο του Λεκανοπέδιου Αττικής Σχετικά με τα Επίπεδα Συγκέντρωσης των Μετρούμενων Αερολυμάτων

Αρίθμηση	Μελέτη	Διάρκεια Δειγματοληψίας
(1)	(Chaloulakou et al. 2005)	1999 - 2001
(2)	(Grivas et al. 2004)	2001 – 2002
(3)	(Grivas et al. 2008)	2001 - 2004
(4)	(Karageorgos and Rapsomanikis 2007)	2004
(5)	(Kassomenos et al. 2012, 2014)	2007
(6)	(Koulouri et al. 2008a)	2005 - 2006
(7)	(Mantas et al. 2014)	2010 - 2013
(8)	(Vardoulakis and Kassomenos 2008)	2001 – 2003
(9)	(Vassilakos et al. 2005)	2003
(10)	(Remoundaki et al. 2011)	2009
(11)	(Remoundaki et al. 2013)	2010
(12)	(Theodosi et al. 2011)	2005 - 2006
(13)	(Pateraki et al. 2008)	2005
(14)	(Pateraki et al. 2010)	2003 - 2008
(15)	(Pateraki et al. 2012a)	2008
(16)	(Sillanpa et al. 2006)	2003

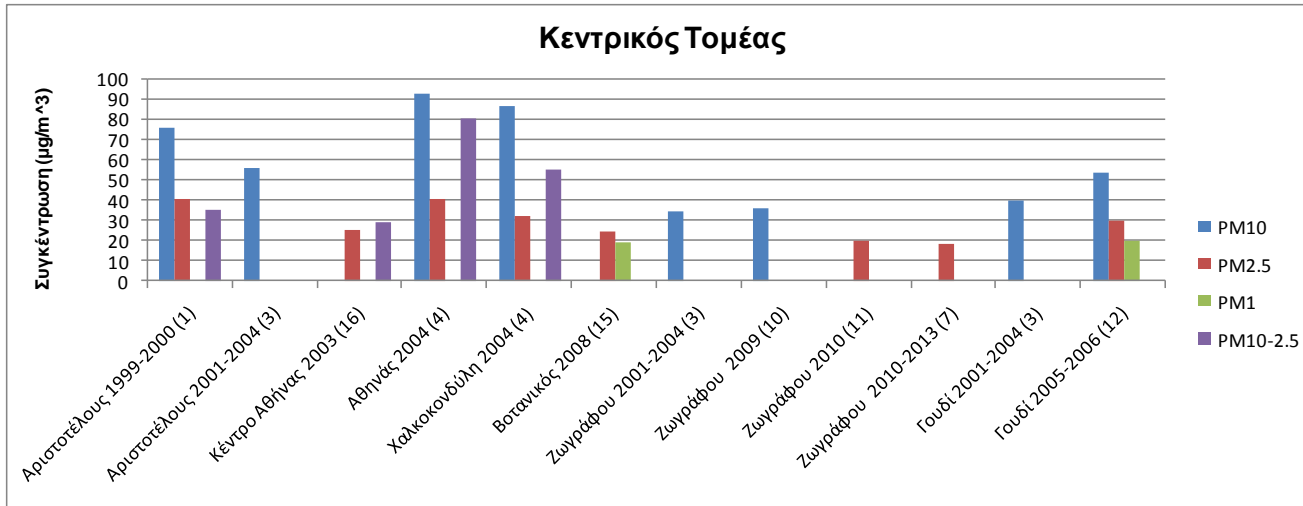


Σχήμα 2.7: Επίπεδα Συγκέντρωσης στη Δυτική Αττική και στην Περιοχή του Πειραιά

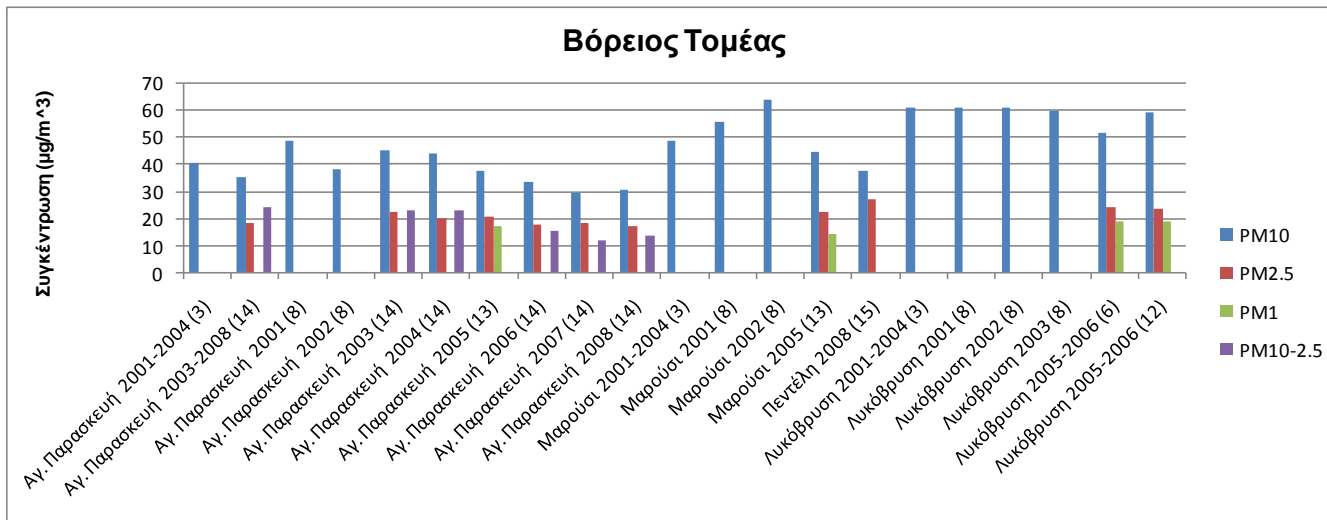


Σχήμα 2.8: Επίπεδα Συγκέντρωσης στην Ανατολική Αττική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ



Σχήμα 2.9: Επίπεδα Συγκέντρωσης στον Κεντρικό Τομέα Αττικής



Σχήμα 2.10: Επίπεδα Συγκέντρωσης στον Βόρειο Τομέα Αττικής

Οι μετεωρολογικές συνθήκες της ψυχρής περιόδου, όπως αναφέρθηκαν και στην § 2.4.1, δεν ευνοούν τη διασπορά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ενώ οι συνθήκες θερμοκρασιακής ευστάθειας, ενισχύουν τη δημιουργία ενός ρηχού στρώματος ανάμειξης με αποτέλεσμα η κατακόρυφη ανάμειξη να μην είναι επαρκής και ο αερισμός να είναι ελλιπής. Η παρατηρούμενη αύξηση των συγκεντρώσεων κατά τις καθημερινές αποδίδεται στην αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση σε σχέση με τις ημέρες του Σαββατοκύριακου.

Αντίθετη εποχική συμπεριφορά παρατηρήθηκε σε ορισμένους από τους σταθμούς μέτρησης και κυρίως στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τη θερμή περίοδο (16 Απρίλη- 15 Οκτώβρη) όπως φαίνεται και στο Παράρτημα 2 (Π2.4-Π2.5). Παρόλο που στη συγκεκριμένη περίοδο η κυκλοφοριακή κίνηση είναι σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με την ψυχρή και οι μετεωρολογικές συνθήκες ευνοούν, σε γενικές γραμμές, την καλύτερη διασπορά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (§ 2.3.1), τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζονται αυξημένα σε κάποιες περιοχές. Οι ερευνητές το αποδίδουν κυρίως στη δημιουργία δευτερογενών σωματιδίων αυτή την περίοδο καθώς και στην τοποθεσία των συγκεκριμένων περιοχών. Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας δημιουργούνται δευτερογενή θειικά ιόντα και οργανικά συστατικά, τα οποία ευνοούνται από τη φωτοχημική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα την παραγωγή τόσο PM_{10} όσο και $PM_{2.5}$ όπως έχουν επισημάνει ερευνητές (Grivas et al. 2008; Pateraki et al. 2008). Σύμφωνα με άλλες μελέτες, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, φαινόμενα μεγάλης κλίμακας ευνοούν τη μεταφορά θειικών ενώσεων από Βορειότερα γεωγραφικά πλάτη με αποτέλεσμα τη δημιουργία δευτερογενών σωματιδίων (Remoundaki et al. 2013). “Η περιοχή της Αγίας Παρασκευής που παρουσιάζει το ίδιο μοτίβο σε όλες τις μελέτες, δεν έχει σημειακές πηγές εκπομπής σωματιδίων αλλά έχει μεγάλες ασφαλτοστρώσεις δρόμων σε συνδυασμό με την περιφερειακή Υμηττού με αποτέλεσμα την επαναιώρηση σκόνης και ελαστικών οχημάτων” όπως επισημαίνεται σε έρευνα των Pateraki et al. (2008). Επίσης βρίσκεται στους πρόποδες του Υμηττού με αποτέλεσμα την αιώρηση εδαφικού υλικού από το βουνό και τις άχτιστες περιοχές κατά τις ημέρες με αυξημένη ξηρασία. Παρόμοια αποτελέσματα διατυπώνονται από του Grivas et al. (2008) και για τις περιοχές του Ζωγράφου και των Θρακομακεδόνων. Η αυξημένη κίνηση κατά τα Σαββατοκύριακα σε σχέση με τις καθημερινές, κατά τη θερμή περίοδο, στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής αποδίδεται σύμφωνα με τους (Pateraki et al. 2008) στην “αυξημένη κίνηση της περιφερειακής Υμηττού τις συγκεκριμένες ημέρες”.

Παρατηρούμε ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις κατά την ψυχρή περίοδο είναι κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα *πρωτογενών* εκπομπών από τοπικές πηγές ενώ κατά τη θερμή περίοδο είναι κυρίως αποτέλεσμα του *δευτερογενή* σχηματισμού σωματιδίων, φαινομένων μεταφοράς (όταν οι μετεωρολογικές συνθήκες το επιτρέπουν) αλλά και *πρωτογενώς* παραγόμενων σωματιδίων λόγω των ξηρών συνθηκών και της μεταφοράς θαλάσσιας προέλευσης σωματιδίων κατά την ανάπτυξη του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας.

2.3.4 Χημεία και Αιωρούμενα Σωματίδια

Οι μελέτες γύρω από τη σωματιδιακή ρύπανση, τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και παγκόσμια μελετούν εκτός της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, και τη χημική τους σύσταση. Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων εκτός του βασικού της χαρακτήρα που τον διαμορφώνει η πηγή εκπομπής, διαμορφώνεται και στην πορεία επηρεαζόμενη από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες. Στο λεκανοπέδιο της Αττικής, τόσο οι ρυπασμένοι από την περιοχή του Πειραιά Νότιοι άνεμοι όσο και οι ρυπασμένοι από το Θριάσιο πεδίο Δυτικοί ενισχύουν τη μάζα των αερολυμάτων σε επικίνδυνους για την ανθρώπινη υγεία ανόργανους

ρύπους. Οι Νότιοι άνεμοι είναι υπεύθυνοι και για θερμοκρασιακές αναστροφές καθώς μεταφέρουν θερμότερες αέριες μάζες, με αποτέλεσμα την παγίδευση των ρύπων στα κατώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας. Η θαλάσσια αύρα θεωρείται ότι επηρεάζει επίσης τη σύσταση των αερολυμάτων σε χημικές ενώσεις που αυξάνουν την οξύτητα των σωματιδίων.

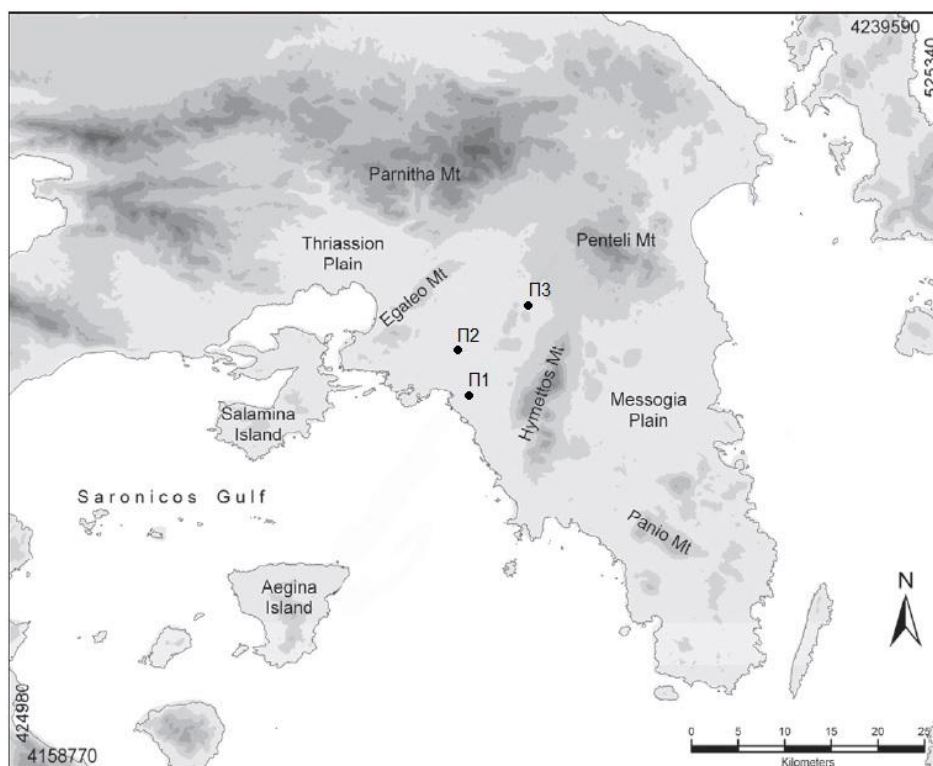
Σύμφωνα με τις διεθνείς έρευνες, τα κύρια χημικά ανόργανα συστατικά από τα οποία αποτελείται το λεπτό κλάσμα των αερολυμάτων είναι τα επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία νιτρικά και θειικά ιόντα και το αμμώνιο (Παράρτημα Π2.8-Π2.10). Αρκετά αυξημένη παρατηρείται και η συμμετοχή των οργανικών ενώσεων (κυρίως του οργανικού άνθρακα) στη μάζα των αερολυμάτων (Π2.11-Π2.12). Η συγκέντρωση του εδαφικής προέλευσης Mg^{2+} , παρατηρείται σε κάθε περίπτωση στις τελευταίες θέσεις. Τα οργανικά συστατικά, με κυρίαρχο τον οργανικό άνθρακα αποτελούν σε κάθε περίπτωση ένα μεγάλο μέρος της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης (Π2.11-Π2.12).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Πειραματικές Περιοχές

Η συγκεκριμένη πειραματική μελέτη αφορά τη συλλογή και ανάλυση δειγμάτων $PM_{2.5}$ και PM_{10} με σταθερές επιτόπιες μετρήσεις στις περιοχές της Νέας Σμύρνης (Π1), του Βοτανικού (Π2) και του Αμαρουσίου (Π3) (Σχήμα 3.1). Η περίοδος της δειγματοληψίας διήρκεσε, στο σύνολο της, από τις 30 Ιανουαρίου 2013 μέχρι και τις 15 Απρίλη 2013 (76 ημέρες στο σύνολο). Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής αναφέρονται στον Πίνακα 3.1. Στις παρακάτω παραγράφους περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής δειγματοληψίας.

Η πρώτη περιοχή (Π1) βρίσκεται 5.2km ΝΝΔ του κέντρου της Αθήνας στο δήμο της Νέας Σμύρνης. Η μορφολογία του εδάφους παρουσιάζει σημαντικές ανωφέρειες από Δυτικά προς τα Ανατολικά της πόλης και οι συνοικίες της είναι σχεδόν ομογενοποιημένες. Πλέον δεν έχει δυνατότητα επέκτασης (είναι ολόκληρη εντός σχεδίου πόλης) και αναπτύσσεται μόνο κατά ύψος. Η λήψη δειγμάτων έγινε στο 5^ο Δημοτικό σχολείο Νέας Σμύρνης, δίπλα στο σταθμό μέτρησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ο ορεινός όγκος του Υμηττού εκτείνεται στα ΒΑ με ΝΝΑ του σταθμού μέτρησης με μικρότερη απόσταση τα 4.7km στα ΝΑ. Οι ορεινοί όγκοι της Πάρνηθας και Πεντέλης ορθώνονται στα ΒΒΑ με ΒΒΔ και ΒΒΑ με ΒΑ αντίστοιχα με μικρότερη απόσταση τα 19km στα Ν και ΝΔ αντίστοιχα. Το όρος Αιγάλεω βρίσκεται στα ΒΒΔ με ΒΔ της Π1 με μικρότερη απόσταση τα 10km στα ΒΒΔ. Τέλος ο σταθμός δειγματοληψίας είναι μόλις 1.9km (μικρότερη απόσταση) ΒΑ του Σαρωνικού κόλπου, ενώ απέχει 6.5km από το λιμάνι του Πειραιά (στα ΔΒΔ).



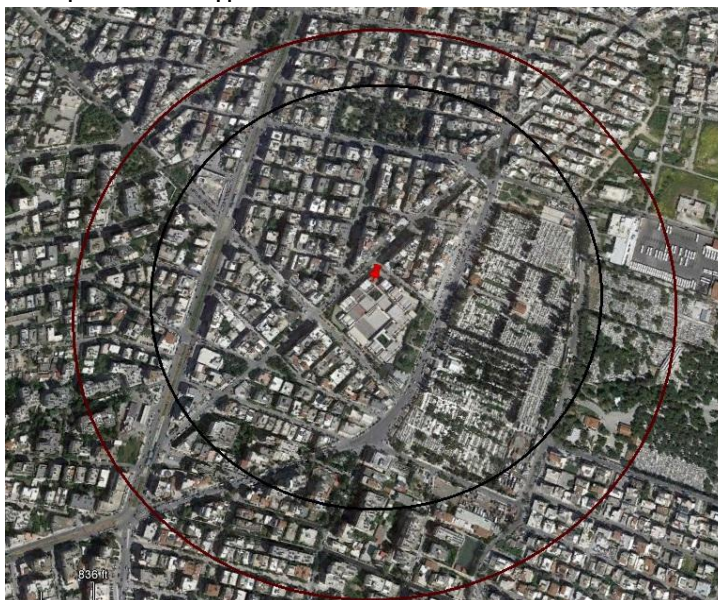
Σχήμα 3.1: Τα σημεία δειγματοληψίας της παρούσας πειραματικής μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά των Περιοχών Δειγματοληψίας

Περιοχή	Κωδικός	Ακριβές Σημείο	Χαρακτηρισμός Περιοχής	a.m.s.l.	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Μετρούμενο Κλάσμα
Νέα Σμύρνη	Π1	5 ^ο Δημοτικό Σχολείο Νέας Σμύρνης	Αστική Υποβάθρου	50	23°42'46.83''	37°55'55.18''	PM _{2.5}
Βοτανικός	Π2	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών	Περιστική Βιομηχανική	40	23°42'24.44''	37°59'01.34''	PM ₁ , PM _{2.5}
Μαρούσι	Π3	ΥΠ.Α.Α.Τ.	Αστική Κυκλοφορίας	170	23°47'14.49''	38°01'51.02''	PM ₁ , PM _{2.5}

Η περιοχή της Νέας Σμύρνης χαρακτηρίζεται ως “υποβάθρου” καθώς τα επίπεδα ρύπανσης που καταγράφονται στην περιοχή δεν επηρεάζονται άμεσα από *ανθρωπογενείς* δραστηριότητες και μπορεί να θεωρηθεί ως πιο “καθαρή” περιοχή. Δηλαδή χαρακτηρίζεται από την απουσία σημειακών πηγών εκπομπής. Η περιοχή δειγματοληψίας βρίσκεται κοντά σε κάποιους από τους σημαντικούς οδικούς άξονες της Νέας Σμύρνης (Σχήμα 3.2). Πιο συγκεκριμένα τη Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου (200m Δ της Π1), τη Λεωφόρο Αγίου Δημητρίου (1.2km Α της Π1) και τη Λεωφόρο Αμφιθέας (980m Δ της Π1). Επίσης βρίσκεται 1.7km ΝΑ της Λεωφόρου Συγγρού και ΒΒΑ της Λεωφόρου Ποσειδώνος που είναι δύο από του βασικότερους οδικούς άξονες του λεκανοπεδίου. Οι παραπάνω αποστάσεις αναφέρονται στη μικρότερη μετρούμενη απόσταση από την Π1. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τη Λεωφόρο Ελευθερίου Βενιζέλου διέρχονται και οι γραμμές Σύνταγμα- Σεφ και Σύνταγμα- Βούλα του TRAM.



Σχήμα 3.2: Παρουσίαση της Περιοχής Π1 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τη σύγκριση των απογραφών 2001- 2011, η Νέα Σμύρνη εμφανίζει μείωση του μόνιμου πληθυσμού της τάξεως του 4.48% την τελευταία δεκαετία (2001-2011). Η δε πληθυσμιακή πυκνότητα για το Δήμο Νέας Σμύρνης είναι 20736.66 μόνιμος πληθυσμός/κm² (απογραφή 2011). Η οδική κυκλοφορία στο δήμο της Νέας Σμύρνης επηρεάζεται καθοριστικά από τη γεωγραφική θέση του δήμου, ο οποίος συνορεύει με τους δήμους Αθηναίων (Ν. Κόσμος) βόρεια, Καλλιθέας δυτικά, Παλαιού Φαλήρου νότια, Αγ. Δημητρίου Ανατολικά και Δάφνης βορειοδυτικά.

Η δεύτερη περιοχή (Π2) βρίσκεται μόλις 1.8km ΔΝΔ του κέντρου της Αθήνας στο Δήμο Αθηναίων στην περιοχή του Βοτανικού. Η δειγματοληψία έγινε στην ταράτσα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο Υμηττός εκτείνεται στα ΑΒΑ με ΝΝΑ του σταθμού μέτρησης με μικρότερη απόσταση τα 8km στα ΝΑ. Η Πεντέλη βρίσκεται στα ΒΒΑ με ΑΒΑ της Π2 με μικρότερη απόσταση τα 16km στα ΒΑ. Ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας ορθώνεται στα ΒΒΑ με ΒΒΔ με μικρότερη απόσταση τα 13km στα Β του σταθμού. Τέλος, το όρος Αιγάλεω στα ΒΒΔ με ΔΒΔ με μικρότερη απόσταση τα 6km στα ΒΔ. Η περιοχή μελέτης απέχει μόλις 5.4km από το Σαρωνικό κόλπο στα ΝΝΔ.

Η περιοχή του Βοτανικού, περιμετρικά του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, πρόκειται για βιομηχανική περιοχή, τμήμα της βιομηχανικής ζώνης, του Λεκανοπεδίου, όπου συναντώνται κάποιες εναπομείνουσες βιομηχανικές μονάδες και σημαντικός αριθμός αποθηκών. Περιλαμβάνει τόσο πηγές εκπομπής που χαρακτηρίζονται ως σημειακές (βιομηχανίες, αποθήκες) αλλά και γραμμικές (οδικοί άξονες). Η Π2 (Σχήμα 3.3) περικλείεται από κεντρικούς μεταφορικούς άξονες της περιοχής των Αθηνών όπως τη Λεωφόρο Κηφισού (1.7km ΒΔ της Π2), την Ιερά Οδό (90m ΝΝΔ της Π2), τη Λεωφόρο Αθηνών (340m ΑΒΑ της Π2) τη Λεωφόρο Κωνσταντινουπόλεως (500m ΑΝΑ της Π2) και την Πέτρου Ράλλη (1km στα ΝΝΔ της Π2). Συμπερασματικά, η Π2 είναι επιβαρυμένη τόσο από τις υπάρχουσες βιομηχανίες της περιοχής όσο και από την αυξημένη κίνηση των βασικών οδικών αρτηριών που την περικλείουν.



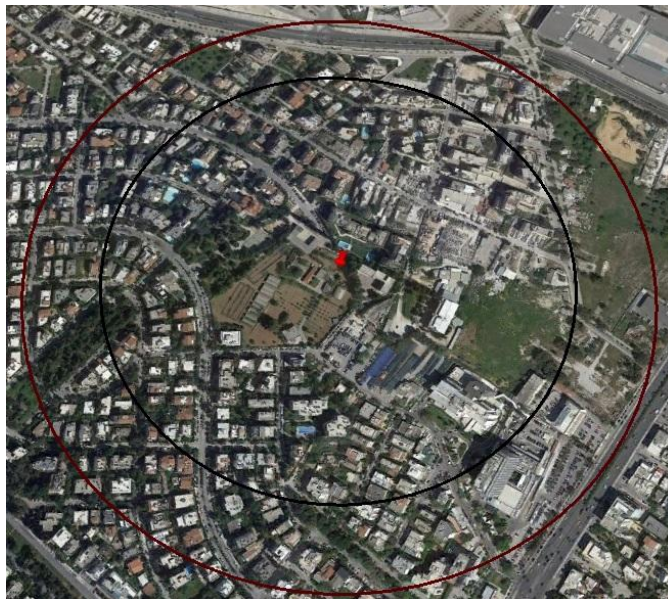
Σχήμα 3.3: Παρουσίαση της Περιοχής Π2 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η τρίτη περιοχή (Π3) (Σχήμα 3.4) που έγινε η πειραματική μελέτη εντοπίζεται 7.5km ΒΑ του κέντρου της Αθήνας στο δήμο Αμαρουσίου, έναν από τους μεγαλύτερους σε έκταση δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος των Αθηνών. Συγκεκριμένα η λήψη δειγμάτων έγινε στο Σταθμό Ελέγχου Σπόρων και Αγενούς Πολλαπλασιαστικού Υλικού του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠ.Α.Α.Τ.) δίπλα στο σταθμό μέτρησης του Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ο ορεινός όγκος του Υμηττού εκτείνεται στα ΝΑ με ΝΝΑ του σταθμού με μικρότερη απόσταση τα 4.8km στα ΝΑ. Η Πεντέλη εκτείνεται στα ΒΒΑ με ΑΒΑ με μικρότερη απόσταση τα 8km στα ΒΑ. Η Πάρνηθα ορθώνεται στα ΒΒΑ με ΒΔ με μικρότερη απόσταση τα 12km στα ΒΒΔ. Τέλος το όρος Αιγάλεω βρίσκεται στα ΔΒΔ με ΔΝΔ του σταθμού με μικρότερη απόσταση τα 9km στα ΒΔ. Η Π3 βρίσκεται 13.7km ΒΑ του Σαρωνικού και 18.5km ΔΝΔ του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου (περιοχή Ραφήνας).

Η περιοχή του Αμαρουσίου περικλείεται από μεγάλους μεταφορικούς άξονες γι' αυτό και ο χαρακτηρισμός της ως "Αστική Κυκλοφορίας" και έχει υψηλά επίπεδα οδικού θορύβου. Οι κύριες πηγές εκπομπής χαρακτηρίζονται ως γραμμικές (οδικοί άξονες) με μικρότερη συνεισφορά των σημειακών πηγών (νοσοκομεία). Από την περιοχή διέρχονται δύο από τις σημαντικότερες οδικές αρτηρίες του λεκανοπεδίου, η Λεωφόρος Κηφισίας (400m ΝΑ της Π3) και η Αττική Οδός (1.7km ΒΑ της Π3). Επιμέρους αρτηρίες είναι η Λεωφόρος Καποδιστρίου (500m ΝΝΔ της Π3), η Λεωφόρος Σπύρου Λούη (400m Β της Π3) και η Λεωφόρος Κύμης (1.4km ΔΒΔ της Π3). Επίσης οι σιδηροδρομικοί άξονες που διέρχονται από την περιοχή είναι ο Η.Σ.Α.Π. και ο Προαστιακός Σιδηρόδρομος με τους σταθμούς "Ειρήνη" και "Νερατζιώτισσα". Στο δήμο Αμαρουσίου λειτουργούν μεγάλα νοσοκομεία, πιο συγκεκριμένα στα 200m και 300m από την Π3 βρίσκονται τα νοσοκομεία "Μητέρα" και "Υγεία" αντίστοιχα. Χώροι πρασίνου υπάρχουν στο 1km ΝΝΔ (Άλσος Πουλάκη) και 1.6km ΝΔ (Άλσος Βεΐκου) της Π3. Οι παραπάνω αποστάσεις αναφέρονται στη μικρότερη μετρούμενη απόσταση από την Π3.

Σύμφωνα με τη σύγκριση των απογραφών 2001- 2011, το Μαρούσι εμφανίζει αύξηση του μόνιμου πληθυσμού της τάξεως του 1.1% την τελευταία δεκαετία (2001-2011). Η δε πληθυσμιακή πυκνότητα για το Δήμο Αμαρουσίου είναι 5590.74 μόνιμος πληθυσμός/ km² (απογραφή 2011).



Σχήμα 3.4: Παρουσίαση της Περιοχής Π3 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας

3.2 Πειραματικός Εξοπλισμός - Μεθοδολογία

Σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και για καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη καθώς και τα πρότυπα EN 14907:2005 και EN 12341:1999, ορίζεται ως πρότυπη σταθμική μέθοδος (μέθοδος αναφοράς) για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κλασμάτων $PM_{2.5}$ και PM_{10} , η *βαρυμετρική* (gravimetric). Οι δειγματολήπτες της συγκεκριμένης πειραματικής μελέτης είναι σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Η ροή των δειγματοληπτών ήταν $2.3m^3/h$. Σε μια προσπάθεια κατανόησης αν η συγκεκριμένη μέθοδος υπερτερεί σε σύγκριση με τις αντίστοιχες αυτόματες μεθόδους δειγματοληψίας, τη συγκρίναμε με αυτές.

Η πρότυπη *βαρυμετρική* μέθοδος συγκρινόμενη με τις αυτόματες μεθόδους β -attenuation και Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM) παρουσιάζει πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Τα βασικά πλεονεκτήματα των αυτόματων μεθόδων, όπως επισημαίνουν ερευνητές, είναι ότι παρέχουν άμεσα στον ερευνητή τις ημερήσιες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των μετρούμενων ρύπων και είναι λιγότερο κοστοβόρες από την εφαρμογή της πρότυπης μεθόδου (Salminen and Karlsson 2003; Charron, A. et al. 2004; Pateraki et al. 2010). Οι αυτόματες μέθοδοι παρακολουθούν σε πραγματικό σχεδόν χρόνο, παρέχοντας ωριαίες τιμές των συγκεντρώσεων των μετρούμενων κλασμάτων των αιρούμενων σωματιδίων. Επίσης έχουν μικρότερο κόστος τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε υλικά σε σχέση με τη *βαρυμετρική* μέθοδο καθώς δε χρειάζονται εργαστηριακοί χημικοί έλεγχοι, φύλαξη των δειγμάτων, αλλαγή φίλτρων, ζύγιση κ.α. Το βασικό τους μειονέκτημα σε σχέση με τη βαρυμετρική μέθοδο είναι ότι υποεκτιμούν τις συγκεντρώσεις των μετρούμενων ρύπων (ειδικά των νιτρικών ιόντων και οργανικών συστατικών των μετρούμενων σωματιδίων) και η συγκεκριμένη υποεκτίμηση είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των αερολυμάτων (Ayers et al. 1999; Grivas et al. 2008). Συμπερασματικά, η χρήση της βαρυμετρικής μεθόδου, παρά το αυξημένο κόστος και τη χρονοβόρα της διαδικασίας, κρίνεται η κατάλληλη στο παρόν πείραμα που έγινε κατά την ψυχρή περίοδο σε μία περιοχή όπως το λεκανοπέδιο Αττικής με αυξημένες συγκεντρώσεις τόσο σε νιτρικά ιόντα όσο και σε οργανικές ενώσεις.

Με σκοπό τα ορθά πειραματικά αποτελέσματα η βαθμονόμηση της ροής των *βαρυμετρικών* δειγματοληπτών προηγήθηκε της πειραματικής διαδικασίας. Οι δειγματολήπτες τοποθετήθηκαν στα σημεία *Π1*, *Π2* και *Π3* όπως αναφέρθηκε στην § 3.1, τα οποία βρίσκονται κατά μήκος της βασικής διεύθυνσης του άξονα του λεκανοπεδίου (BBA-NNΔ). Η συλλογή των $PM_{2.5}$ και PM_{10} έγινε με τη χρήση φίλτρων τύπου Quartz διαμέτρου 47 και 50 mm.

Πίνακας 3.2 : Εξοπλισμός Δειγματοληψίας ανά Περιοχή Μελέτης

Περιοχή	Όργανο Μέτρησης	Μετρούμενο Κλάσμα
Νέα Σμύρνη Γεωπονικό	Derenda Sequential (LVS 3.1/PNS3.1-15)	$PM_{2.5}$
	Leckel (SEQ 47/50)	$PM_{2.5}$
Μαρούσι	Derenda Sequential (LVS 3.1/PNS3.1-15)	PM_{10}
	Derenda (LVS 3.1/PNS3.1-15)	$PM_{2.5}$ PM_{10}

Πριν τη χρήση τους τα φίλτρα που θα χρησιμοποιηθούν, ψήνονται σε ειδικό φούρνο στους 550°C για τρεις ώρες με σκοπό την εξάλειψη υπολειμμάτων οργανικού υλικού πάνω στην επιφάνεια τους. Κατόπιν, συνθηκοποιούνται σε ειδικό δωμάτιο για 24 ώρες σε ελεγχόμενη θερμοκρασία $T = 20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ και σχετική υγρασία $\text{RH} = 50 \pm 5\%$. Στο επόμενο στάδιο, ζυγίζονται 2 φορές πριν τη χρήση τους, με διαφορά 24 ωρών μεταξύ των δύο ζυγίσεων. Μετά το τέλος της δειγματοληψίας, τα δείγματα που συλλέχθηκαν τοποθετήθηκαν στο ειδικό δωμάτιο και ζυγίστηκαν με την ίδια διαδικασία όπως και πριν τη χρήση τους. Οι ζυγίσεις έγιναν με ηλεκτρονικό μικροζυγό ακρίβειας $1\mu\text{g}$ (MX-5 Mettler Toledo) σύμφωνα με την οδηγία EN12341. Η διαδικασία της ζύγισης των φίλτρων, πριν και μετά τη δειγματοληψία, μας οδηγεί στην εύρεση της συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων. Πριν τη χημική τους ανάλυση, τα φίλτρα κόβονται σε 4 ίσα κομμάτια με σκοπό την περαιτέρω μεμονωμένη ανάλυση του κάθε ενός και φυλάσσονται στην ψύξη.

Οι αναλύσεις για την εύρεση της συγκέντρωσης τόσο των ιόντων όσο και του άνθρακα (οργανικού και στοιχειακού) στα αερολύματα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του Ινστιτούτο Πυρηνικών και Ραδιολογικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ενέργειας και Ασφάλειας (Ι.Π.Ρ.Ε.Τ.Ε.Α) του Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος. Η χημική ανάλυση των υδατοδιαλυτών ιόντων έγινε με τη μέθοδο της υγρής ιοντικής χρωματογραφίας (IC), όπως περιγράφεται από τους (Bardouki et al. 2003). Τα ιόντα που μελετήθηκαν είναι τα ανιόντα SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- και τα κατιόντα NH_4^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ . Το 1/4 του φίλτρου επεξεργάστηκε με τη διαδικασία του λουτρού υπερήχων. Το διάλυμα που προέκυψε αναλύθηκε στον χρωματογράφο για την εύρεση της συγκέντρωσης των παραπάνω ιόντων. Τα θαλάσσια αερολύματα θεωρούνται η βασική πηγή Na^+ στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών (Eleftheriadis et al. 1998; Pateraki et al. 2012b). Παίρνοντας υπόψη την αναφορά των (Kocak et al. 2007), για την εύρεση της συγκέντρωσης του Na^+ , χρησιμοποιούμε το λόγο $(\text{Cl}^-/\text{Na}^+) = 1.8$, ο οποίος είναι συνεπής με την τιμή του θαλασσινού νερού. Για την ανάλυση ως προς τη συγκέντρωση του άνθρακα (OC, EC) στα αερολύματα, χρησιμοποιήθηκε το 1/4 του φίλτρου. Οι αναλύσεις έγιναν με τον αναλυτή Sunset Laboratory (USA) με τη μέθοδο θερμικής/οπτικής μετάδοσης σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους (Koulouri et al. 2008b) και (Querol and Alastuey 2013).

Εκτός του αποτελέσματος της ιοντικής ανάλυσης, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στατιστικά για την κατανόηση της συμπεριφοράς τους. Για την περαιτέρω κατανόηση της γραμμικής σχέσης μεταξύ των υπό εξέταση παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά εργαλεία όπως ο συντελεστής συσχέτισης (Pearson Correlation Coefficient- R) και ο συντελεστής ομοιογένειας (Coefficient of Divergence- COD). Ο συντελεστής συσχέτισης (R) είναι ένας πραγματικός αριθμός μεταξύ του -1 και του 1 . Τιμές κοντά στο 0 σημαίνουν ελάχιστη ή απουσία γραμμικής σχέσης μεταξύ των δεδομένων. Τιμές κοντά στο -1 σημαίνουν αρνητική γραμμική σχέση (αντιστρόφως ανάλογα ποσά) ενώ τιμές κοντά στην τιμή 1 εκφράζουν θετική γραμμική σχέση (ανάλογα ποσά) μεταξύ των δεδομένων. Τιμές μεταξύ του $0-0.3$ εκφράζουν ασθενή θετική γραμμική σχέση, μεταξύ των $0.3-0.7$ εκφράζουν μέτρια θετική γραμμική σχέση και μεταξύ $0.7-1$ ισχυρή θετική γραμμική σχέση (αντίστοιχα για τις αρνητικές τιμές). Υψηλή θετική γραμμική σχέση εκφράζει κοινό χαρακτήρα και προέλευση ανάμεσα στα υπό εξέταση δεδομένα, δηλαδή ομοιομορφία. Για την καλύτερη κατανόηση της χωρικής ομοιογένειας μεταξύ διαφορετικών περιοχών χρησιμοποιείται ο δείκτης ομοιογένειας (COD) (Wilson et al. 2005). Ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

δείκτης COD δίνεται από τον τύπο $COD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p [(x_{ij} - x_{ik}) / (x_{ij} + x_{ik})]^2}$, όπου τα x_{ij} και x_{ik}

αντιπροσωπεύουν τη μέση 24ωρη συγκέντρωση των αερολυμάτων για την ημέρα δειγματοληψίας i , στους σταθμούς δειγματοληψίας j και k , ενώ p είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων που γίνεται η παραπάνω διαδικασία. Ο παραπάνω τύπος είναι ακριβής αποτύπωση από την εργασία των Wilson et al. (2005). Όταν ο δείκτης COD προσεγγίζει το 0 υπάρχει η μέγιστη ομοιογένεια (ταύτιση) στα υπό εξέταση δεδομένα, ενώ όταν προσεγγίζει το 1 έχουμε απόλυτη διαφοροποίηση (ανομοιογένεια). Τιμές μικρότερες ή ίσες του 0.20 θεωρείται ότι υποδεικνύουν ισχυρή ομοιογένεια (Wilson et al. 2005). Για να καλύπτεται ο ισχυρισμός της ταυτόχρονης ομοιομορφίας και ομοιογένειας θα πρέπει να έχω υψηλές θετικές τιμές του συντελεστή συσχέτισης (R) και τιμές μικρότερες του 0.20 του συντελεστή ομοιογένειας (COD).

Σε μια προσπάθεια σύνδεσης της μη γραμμικής απαραίτητα σχέσης της μετεωρολογίας με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων και των χημικών ενώσεων των μετρούμενων αερολυμάτων, έγινε κατηγοριοποίηση των επιφανειακών ανέμων βάσει των μοτίβων που φαίνονται στον Πίνακα 3.3, όπως γίνεται και στη μελέτη των Pateraki et al. (2014). Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση έγινε βάσει των ημερήσιων διακυμάνσεων της διεύθυνσης και έντασης του ανέμου. Επίσης, έγινε κατηγοριοποίηση ανάλογα με την μέση ημερήσια τιμή της κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα του ανέμου), σε 7 διαφορετικές κατηγορίες σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των Pateraki et al. (2012a) (Πίνακας 3.4). Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση έγινε λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή της κάθε παραμέτρου (εύρος διακύμανσης) και με προσπάθεια σε κάθε κατηγορία να υπάρχει ικανοποιητικό πλήθος δειγμάτων. Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, άνεμος, σχετική υγρασία, διάρκεια βροχόπτωσης) για τους μήνες της δειγματοληψίας δόθηκαν από το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης (Ι.Ε.Π.Β.Α.) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Γνωρίζοντας ότι η περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής και γενικότερα της Ανατολικής Μεσογείου επηρεάζεται άμεσα από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα (με μορφή επεισοδίων), εμφανίζοντας υψηλότερες συγκεντρώσεις κυρίως κατά την άνοιξη και φθινόπωρο, εξαιτίας και των Νοτίων ανέμων που επικρατούν έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να υπολογιστούν τα συγκεκριμένα επεισόδια (Querol et al. 2009b; Theodosi et al. 2010, 2011). Τα επίπεδα σκόνης για την πειραματική περίοδο εντοπίστηκαν από το μοντέλο πρόβλεψης/πρόγνωσης SKIRON/Dust που έχει αναπτυχθεί από την Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. (Spyrou et al. 2010).

Πίνακας 3.3: Μοτίβο Επιφανειακής Ροής Ανέμων και Κωδικό τους Όνομα Αντίστοιχα (Πηγή: Pateraki et al. 2014)

Συνοπτική Κλίμακα	Κωδικό Όνομα
Αμιγής Κυκλοφορία Θαλάσσιας Αύρας (Σαρωνικού ή Ευβοϊκού)	Τύπου Α
Αλληλεπίδραση Θαλάσσιας Αύρας με Βόρειο Συνοπτικό Άνεμο	Τύπου Β
Ισχυρή Βόρεια Συνιστώσα Ανέμου	Τύπου C
Ισχυρή Νότια Συνιστώσα Ανέμου	Τύπου D
Ισχυρή Δυτική Συνιστώσα Ανέμου	Τύπου F

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακας 3.4: Κατηγοριοποίηση Μετεωρολογικών Παραμέτρων στη Διάρκεια της Δειγματοληπτικής Περιόδου

Κατηγορίες	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)	Σχετική Υγρασία (%)
1.	$WS \leq 1.34$	$T \leq 10$	$RH \leq 36$
2.	$1.34 < WS \leq 2.19$	$10 < T \leq 11.5$	$36 < RH \leq 46$
3.	$2.19 < WS \leq 3.04$	$11.5 < T \leq 13$	$46 < RH \leq 56$
4.	$3.04 < WS \leq 3.89$	$13 < T \leq 14.5$	$56 < RH \leq 66$
5.	$3.89 < WS \leq 4.74$	$14.5 < T \leq 16$	$66 < RH \leq 76$
6.	$4.74 < WS \leq 5.59$	$16 < T \leq 17.5$	$76 < RH \leq 86$
7.	$WS > 5.59$	$T > 17.5$	$RH > 86$

Η παροχή δεδομένων $PM_{2.5}$ και PM_1 είναι σε 24ωρη βάση καθώς οι αντλίες έκαναν δειγματοληψία από τις 10:30 το πρωί της κάθε ημέρας μέχρι την ίδια ώρα την επόμενη ημέρα. Οι κυριότεροι λόγοι έλλειψης δεδομένων είναι οι διακοπές ρεύματος στις περιοχές δειγματοληψίας. Ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν σε κάθε σταθμό είναι:

- 61 δείγματα $PM_{2.5}$ στη Νέα Σμύρνη
- 70 δείγματα $PM_{2.5}$ στο Βοτανικό
- 70 δείγματα PM_1 στο Βοτανικό
- 37 δείγματα $PM_{2.5}$ στο Μαρούσι
- 21 δείγματα PM_1 στο Μαρούσι

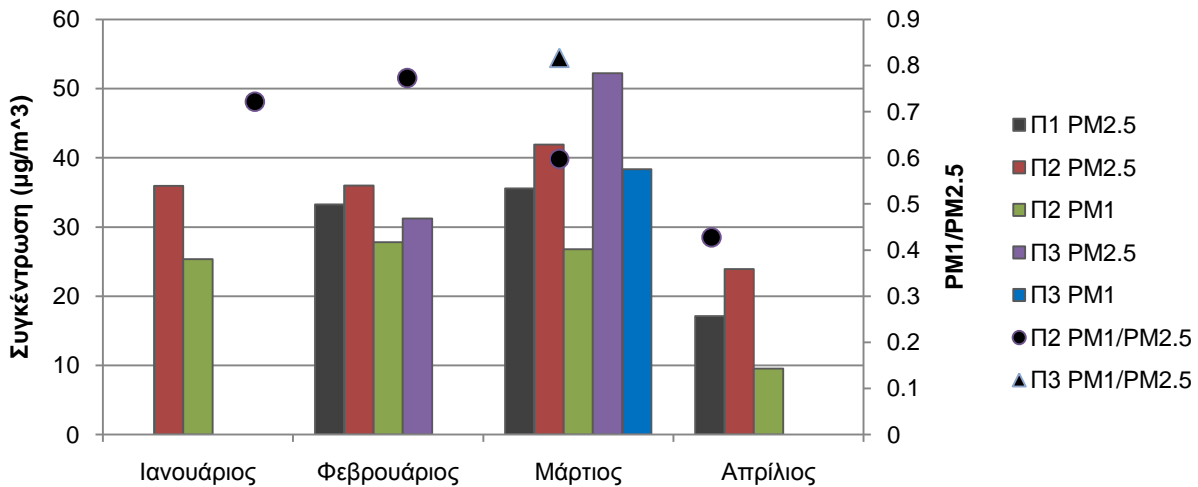
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**4.1 Αιωρούμενα Σωματίδια****4.1.1 Συγκεντρώσεις**

Η μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης είναι ιδιαίτερα σύνθετη και αποτελείται από πολλά στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά τη μελέτη των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων. Οι περιοχές δειγματοληψίας όπως και η περιοχή του λεκανοπέδιου Αττικής γενικότερα, επηρεάζεται από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Αφρικής τα οποία έχουν άμεσο αντίκτυπο στις συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, από τις συνολικά 76 ημέρες της δειγματοληπτικής περιόδου, μόλις το 34% (26 ημέρες) αποτελούν τις ημέρες χωρίς επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα. Εκτός από το γενικότερο συμπέρασμα ότι οι ημέρες με επεισόδια σκόνης κυριαρχούν των ανεπηρέαστων ημερών, έγινε προσπάθεια κατανόησης της μηνιαίας επίδρασης των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα στην εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων, πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια.

Σχετικά με τη μηνιαία διακύμανση των συγκεντρώσεων τον δύο κλασμάτων και λόγου $PM_{10}/PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.1) παρατηρούμε σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια του Μαρτίου στις περισσότερες των περιπτώσεων. Στο σύνολο των ημερών δειγματοληψίας του Ιανουαρίου (2 ημέρες), το 0% των ημερών ήταν επηρεασμένες από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης, λόγω επεισοδίων, από τη Σαχάρα. Στο σύνολο των ημερών δειγματοληψίας του Φεβρουαρίου (28 ημέρες), το 53.5% των ημερών ήταν επηρεασμένες από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης, λόγω επεισοδίων, από τη Σαχάρα. Στο σύνολο των ημερών δειγματοληψίας του Μαρτίου (31 ημέρες), το 70.9% των ημερών ήταν επηρεασμένες από φαινόμενα επεισοδίων μεταφοράς σκόνης. Στο σύνολο των ημερών δειγματοληψίας του Απριλίου (15 ημέρες), το 86.6% των ημερών ήταν επηρεασμένες από φαινόμενα επεισοδίων μεταφοράς σκόνης. Όσον αφορά τη συνεισφορά φαινομένων επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα στις υπερβάσεις των συγκεντρώσεων, πάνω από τα θεσμοθετούμενα όρια, στο σταθμό της Νέας Σμύρνης, το 65% των υπερβάσεων είναι κατά τις ημέρες με τέτοια επεισόδια. Στο σταθμό της Γεωπονικής, το 64% σχετικά με τα $PM_{2.5}$, και το 61% σχετικά με τα PM_{10} . Στο σταθμό του Αμαρουσίου, το 76% όσον αφορά τα $PM_{2.5}$, και το 95% όσον αφορά τα PM_{10} , των υπερβάσεων σχετίζονται με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναδεικνύουν τη συνεισφορά των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στις υπερβάσεις των συγκεντρώσεων στους σταθμούς δειγματοληψίας όπως έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές (Pateraki et al. 2012b).

Εκτός από τα γενικά συμπεράσματα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων, σημαντικό είναι να μελετήσουμε, το ποσοστό που οι συγκεκριμένες συγκεντρώσεις είναι πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια, δηλαδή το ποσοστό των υπερβάσεων. Σχετικά με τις υπερβάσεις (%), πάνω από τα θεσμοθετούμενα όρια σε μηνιαία βάση, στο Σχήμα 4.2, παρουσιάζεται και αναδεικνύεται η συνεισφορά επεισοδίων μεταφοράς σκόνης στην εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων αερολυμάτων σε μηνιαία βάση. Τα παραπάνω συμπεράσματα έρχονται σε συμφωνία με την παρατήρηση ερευνητών ότι τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των αερολυμάτων με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κυρίως κατά τις περιόδους της άνοιξης (και φθινοπώρου) (Querol et al. 2009; Theodosi et al. 2010, 2011; Remoundaki et al. 2013). Παρόλα αυτά παρατηρούμε αυξημένο ποσοστό υπερβάσεων στα μετρούμενα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων στους σταθμούς δειγματοληψίας, εξαιτίας

τόσο των τοπικών πηγών εκπομπής όσο και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του λεκανοπεδίου, όπως μελετάται και παρακάτω.

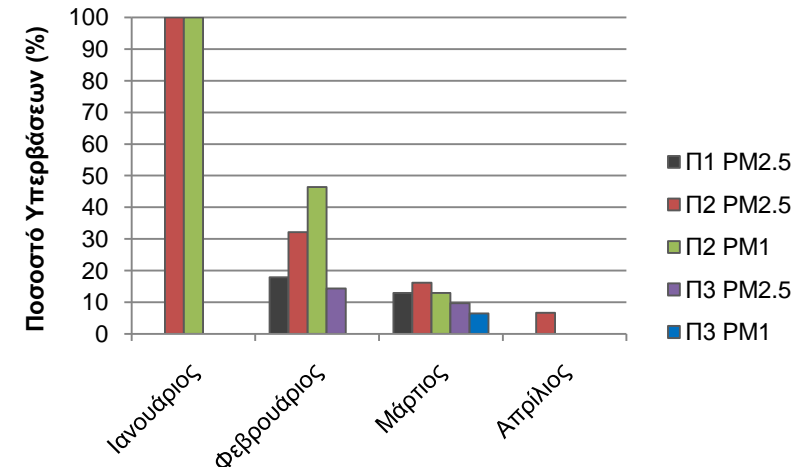
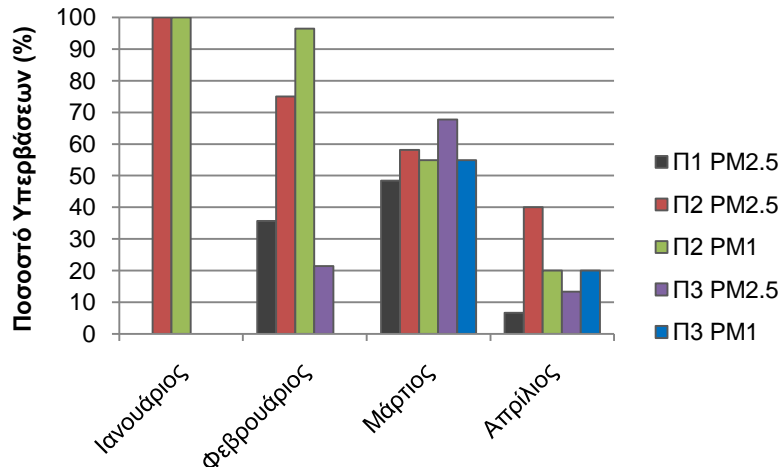


Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Μηνιαίας Διακύμανσης των Μέσων Συγκεντρώσεων (µg/m³) των Κλασμάτων PM_{2.5}, PM₁ και του Λόγου PM₁/PM_{2.5} στις Περιοχές Δειγματοληψίας

Γνωρίζοντας ότι η βάση δεδομένων των μετρούμενων αερολυμάτων (ιδιαίτερα των λεπτών κλασμάτων PM_{2.5} και PM₁) είναι ελλιπής, η παρούσα μελέτη αναδεικνύει την αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης τα τελευταία χρόνια. Όσον αφορά τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και της τυπικής απόκλισης γύρω από το μέσο (Σχήμα 4.3, Πίνακας 4.1), οι τιμές εμφανίζονται αυξημένες σε σχέση με τις μελέτες άλλων ερευνητών στις ίδιες περιοχές δειγματοληψίας στα προηγούμενα χρόνια όπως αναφέρθηκε στη §2.3.3 (Παράρτημα 2, Π2.1 - Π2.5). Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι οι συγκεκριμένες τιμές βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από τις συγκεντρώσεις ερευνητών και στο εξωτερικό (Παράρτημα 2, Π2.6 – Π2.7) με εξαίρεση κυρίως τις ιδιαίτερα ανησυχητικές μελέτες ερευνητών στην Κίνα. Η συγκεκριμένη παρατήρηση μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η σωματιδιακή ρύπανση έχει αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια παρόλο τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/50/EC προς συμμόρφωση για την επίτευξη της οριακής τιμής των 25 µg/m³ τον Ιανουάριο του 2015.

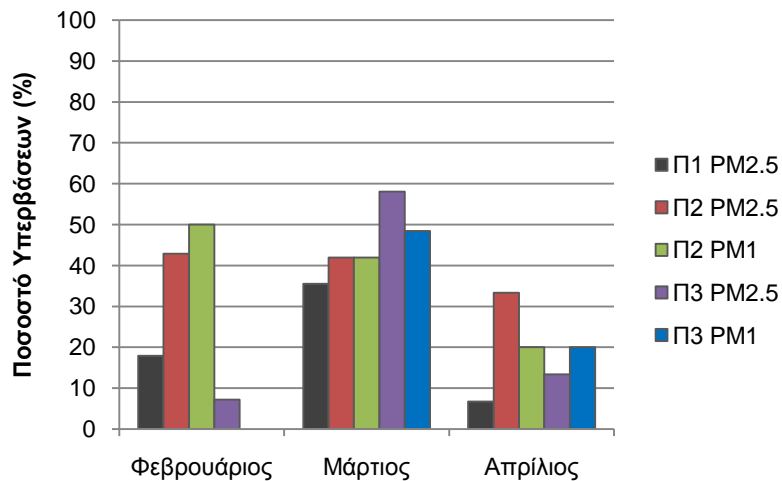
Παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις στο σταθμό υποβάθρου (Π1) ο οποίος αποτελείται από γραμμικές πηγές (οδικό άξονες) και όχι σημειακές (σταθερές) πηγές είναι ελαφρώς μειωμένες σε σχέση με τους σταθμούς Π2 και Π3 όπως ήταν αναμενόμενο. Παρόλο που ο σταθμός Π2, περιμετρικά του οποίου υπάρχει η μικρή εναπομείνουσα βιομηχανική περιοχή (σημειακές πηγές) και κεντρικοί οδικό άξονες (γραμμικές πηγές) είναι ιδιαίτερα επιβαρυσμένος, δεν εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Ο Αστικός-Κυκλοφορίας σταθμός Π3 εμφανίζει τις υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις τόσο στα PM_{2.5} όσο και στα PM₁ αναδεικνύοντας τόσο την κίνηση των οχημάτων ως μία πολύ σημαντική πηγή αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και τη συνεισφορά φαινομένων μεταφοράς ρυπασμένων μαζών από γειτονικές περιοχές στις υψηλότερες συγκεντρώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



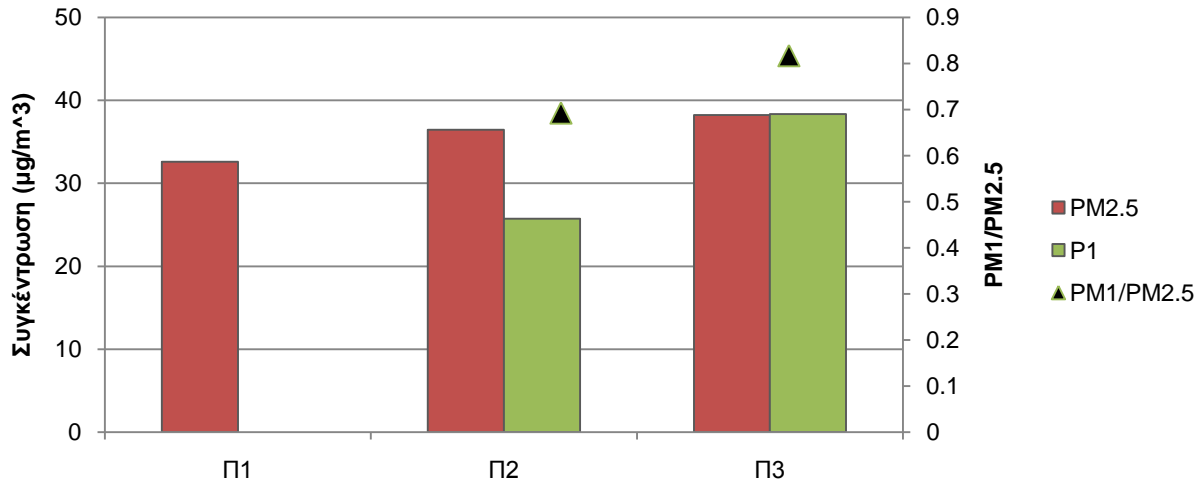
Σχήμα 4.2 α)

Σχήμα 4.2 β)



Σχήμα 4.2 γ)

Σχήμα 4.2: Ποσοστό υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια Κατά τις Ημέρες Δειγματοληψίας Στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας (Σχήμα 4.2 α), Κατά τις Ημέρες Χωρίς την Εμφάνιση Επεισοδίων Σκόνης (Σχήμα 4.2 β) και Κατά τις Ημέρες Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης (Σχήμα 4.2 γ)



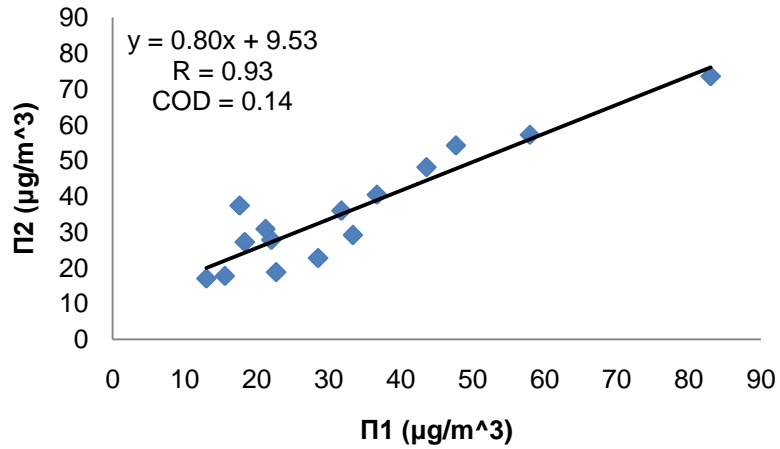
Σχήμα 4.3: Συνολική Διακύμανση Μέσης Τιμής Συγκεντρώσεων (µg/m³) των Κλασμάτων PM_{2.5}, PM₁ και του Λόγου PM₁/PM_{2.5} στις Περιοχές Δειγματοληψίας

Πίνακας 4.1: Συνολική Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων PM_{2.5}, PM₁ και του λόγου PM₁/PM_{2.5}

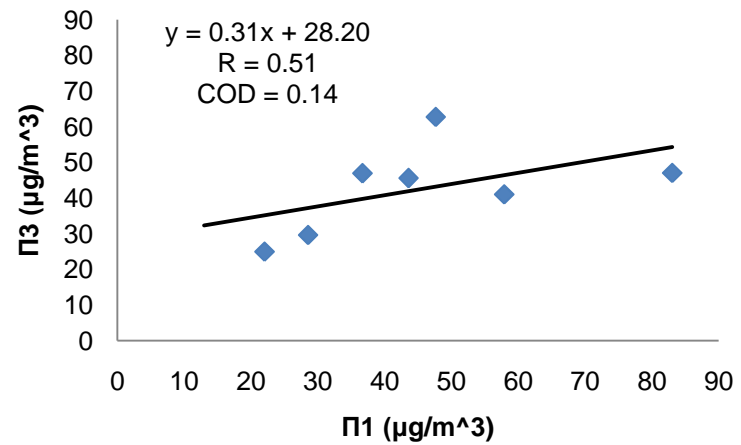
Περιοχές	Ημέρες Δειγματοληψίας PM _{2.5}	Ημέρες Δειγματοληψίας PM ₁	PM _{2.5} ± STDEV (µg/m ³)	PM ₁ ± STDEV (µg/m ³)	PM ₁ /PM _{2.5}
Π1	18	-	32.61 ± 18.66	-	-
Π2	23	23	36.48 ± 15.94	25.73 ± 13.95	0.69 ± 0.17
Π3	9	2	38.22 ± 14.33	38.36 ± 9.45	0.82 ± 0.20

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης της αλληλεπίδρασης των γειτονικών και μη περιοχών εντός του λεκανοπεδίου (Σχήμα 4.4) παρατηρούμε την ισχυρή συσχέτιση των σταθμών Π1 και Π3 με τον κεντρικό βιομηχανικό σταθμό Π2 με την κλίση της ευθείας παλινδρόμησης να φτάνει κοντά στη μονάδα (Pateraki et al. 2012b) στην περίπτωση της συσχέτισης των Π1 με τον Π2. Σχετικά με το κλάσμα των PM₁, ο μικρός αριθμός των δειγμάτων δεν μας επιτρέπει να συσχετίσουμε τις περιοχές Π2-Π3 και να διερευνήσουμε τη σχέση της μειωμένης διαμέτρου όσον αφορά την αλληλεπίδραση σε δύο περιοχές. Βάσει και των υψηλών θετικών συντελεστών συσχέτισης και του χαμηλού συντελεστή ομοιομορφίας (ταυτόχρονη ομοιομορφία και ομοιογένεια) (Πίνακας 4.2), σε συνδυασμό με την κλίση της ευθείας παλινδρόμησης, πιθανολογούμε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων ανάμεσα στις περιοχές επηρεάζονται από φαινόμενα μεταφοράς μεγάλης κλίμακας, ειδικά στην περίπτωση των σταθμών Π1 και Π2.

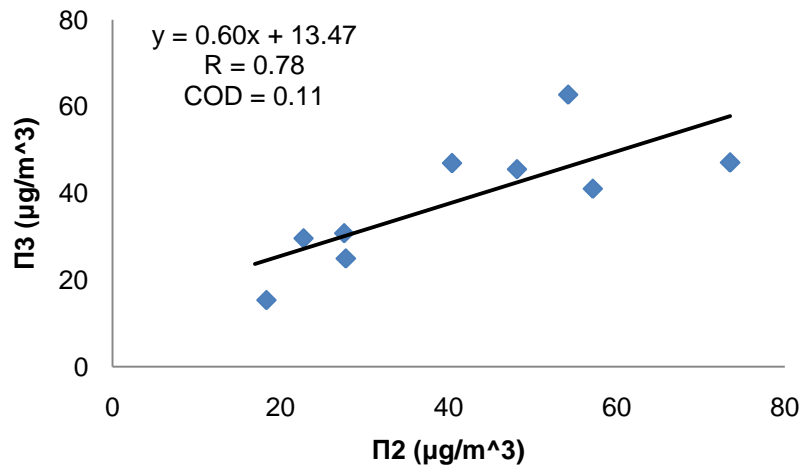
Όσον αφορά τη διακύμανση του επιπέδου των μέσων συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια της κάθε εβδομάδας έγινε κατηγοριοποίηση σε Καθημερινές και στις ημέρες του Σαββατοκύριακου για να ερευνησουμε αν επιβεβαιώνεται ο ισχυρισμός ότι κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου, οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν πτωτική τάση λόγω της ελαττωμένης ανθρωπογενούς δραστηριότητας (μείωση κίνησης οχημάτων, μειωμένες εκπομπές σημειακών πηγών) (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4 α)



Σχήμα 4.4 β)



Σχήμα 4.4 γ)

Σχήμα 4.4: Διάγραμμα Συσχέτισης του Κλάσματος PM_{2.5} Ανάμεσα στις Περιοχές P1-P2 (Σχήμα 4.4 α), P1-P3 (Σχήμα 4.4 β) και P2-P3 (Σχήμα 4.4 γ)

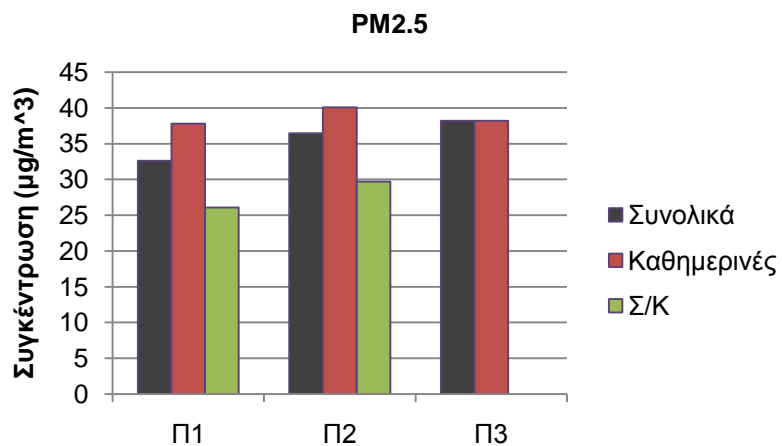
Πίνακας 4.2 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) Μεταξύ των Περιοχών Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα PM_{2.5} και PM₁

PM _{2.5}	Π1	Π2	Π3	PM ₁	Π2	Π3
Π1	1 1	0.93 0.14	0.51 0.14	Π2	1 1	0.13
Π2		1 1	0.78 0.11	Π3		1 1
Π3			1 1			

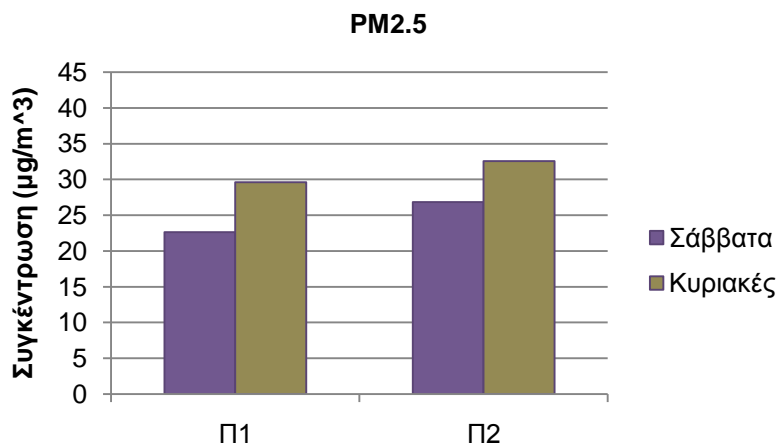
Ο παραπάνω ισχυρισμός έχει επιβεβαιωθεί τόσο σε έρευνες στο κλάσμα των PM_{2.5} (Chaloulakou et al. 2005; Vassilakos et al. 2005) όσο και σε μεγαλύτερα κλάσματα (Chaloulakou et al. 2003; Grivas et al. 2004, 2008). Στα Σχήματα 4.5 α), γ) φαίνεται η διακύμανση των συγκεντρώσεων και επιβεβαιώνεται ο ισχυρισμός όσον αφορά τις συγκεντρώσεις μεταξύ Καθημερινών και Σαββατοκύριακου και στα δύο μετρούμενα κλάσματα. Παρόλα αυτά παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση κατά την ημέρα της Κυριακής από ότι το Σάββατο και στα δύο μετρούμενα κλάσματα (Σχήμα 4.5 β), γ). Στο σταθμό Π1 η διαφορά μεταξύ Καθημερινών και Σαββατοκύριακων φτάνει στα 18.3%, ενώ στο σταθμό Π2 στα 14.9%. Σε μια προσπάθεια κατανόησης αυτής της τάσης, έγινε μελέτη της διεύθυνσης και έντασης του ανέμου κατά τη διάρκεια των Σαββάτων και Κυριακών για να ερευνησουμε αν κατά τη διάρκεια των Κυριακών έχουμε μεταφορά αερίων μαζών από το ρυπογόνο Θριάσιο Πεδίο ή τον Πειραιά. Κατά τη διάρκεια και των δύο ημερών του Σαββατοκύριακου (ίδια κατάσταση και τις δύο ημέρες), στο 57% των περιπτώσεων ο άνεμος ήταν Ν, ΝΔ με μέτριες εντάσεις (ημερήσια μέση τιμή ταχύτητας ανέμου) ενώ στο 43% Β με δυτική ή ανατολική συνιστώσα με μέτριες εντάσεις γεγονός που καθιστά δύσκολη την επιβεβαίωση οποιασδήποτε συγκεκριμένης τάσης κατά την ημέρα της Κυριακής. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη συγκεκριμένη ημέρα μπορεί να οφείλονται τόσο σε φαινόμενα αλληλεπίδρασης με τον κεντρικό σταθμό όσο και σε τυχαία περιστατικά.

Οι συγκεντρώσεις στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου, δεν ακολουθούν συγκεκριμένο μοτίβο αλλά παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Η μελέτη των συγκεκριμένων διακυμάνσεων είναι σημαντική για την περαιτέρω μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την αύξηση των συγκεντρώσεων. Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ημερήσιες μετρήσεις, σχετικά με τα PM_{2.5}, παρατηρείται στο σταθμό Π2 ανάμεσα στις ημερομηνίες 01/02/2013 - 02/02/2013 ($65.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $23.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφορά αυτή παρατηρείται ανάμεσα σε μέρα Καθημερινής με Σαββατοκύριακο θεωρούμε τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των 31/01/2013-01/02/2013 ($26.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $65.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) στον ίδιο σταθμό. Στο σταθμό Π1 καταγράφεται η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα στις ημερομηνίες 17/03/2013-18/03/2013 ($55.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $14.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφορά αυτή παρατηρείται ανάμεσα σε μέρα Καθημερινής με Σαββατοκύριακο θεωρούμε τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των 16/03/2013-17/03/2013 ($23.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $55.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) στον ίδιο σταθμό. Σχετικά με τα PM₁ η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στο σταθμό Π2 τις ημερομηνίες 01/02/2013-02/02/2013 ($50.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $14.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

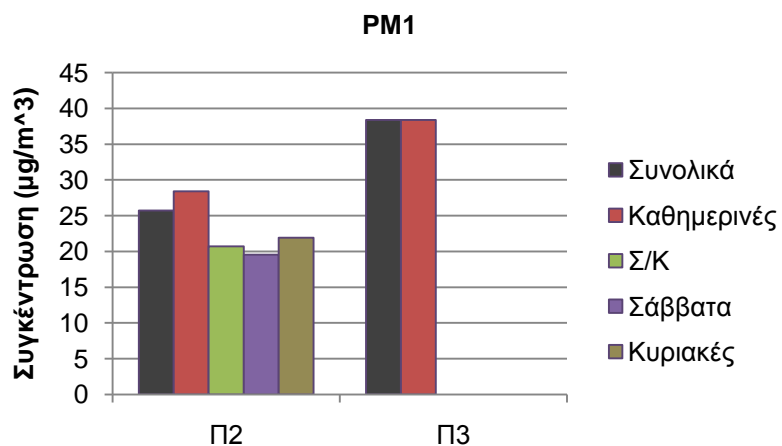
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



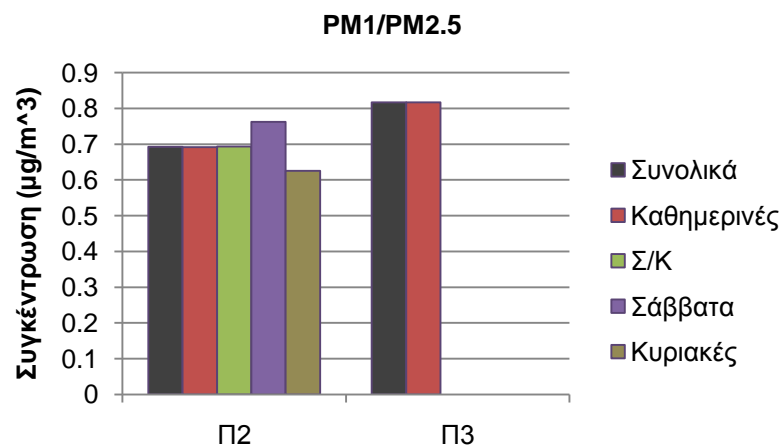
Σχήμα 4.5 α)



Σχήμα 4.5 β)



Σχήμα 4.5 γ)



Σχήμα 4.5 δ)

Σχήμα 4.5: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.5 α), β), PM_1 (Σχήμα 4.5 γ) και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.5 δ) Μεταξύ Καθημερινών- Σαββατοκύριακων για τις Περιοχές Δειγματοληψίας.

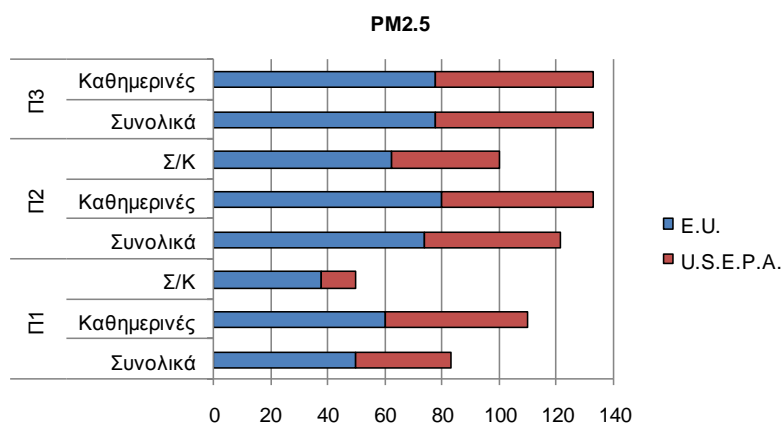
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διαφορά αυτή παρατηρείται ανάμεσα σε μέρα Καθημερινής με Σαββατοκύριακο θεωρούμε τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των 31/01/2013-01/02/2013 ($50.92 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 21.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) στον ίδιο σταθμό. Παρατηρούμε ότι η διαφορά των ημερών 31/01 - 01/02 παραμένει υψηλότερη και στα δύο μετρούμενα κλάσματα στο σταθμό Π2.

Εκτός των επιπέδων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, ένας πολύ σημαντικός δείκτης είναι αυτός της συνεισφοράς του μικρότερου κλάσματος των PM_1 στο μεγαλύτερο κλάσμα των $\text{PM}_{2.5}$ ($\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$). Σχετικά με το λόγο $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 4.5 δ), αυξημένη παρουσιάζεται η συνεισφορά των PM_1 στα $\text{PM}_{2.5}$ σε κάθε περίπτωση. Στο σύνολο των ημερών ο λόγος $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$, παίρνει τιμές από 0.33 – 0.98 και από 0.68 – 0.96 στους σταθμούς Π2 και Π3 αντίστοιχα ενώ η μέση τιμή του είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη της τιμής 0.6. Ο συγκεκριμένος λόγος εμφανίζεται αυξημένος κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου σε σχέση με τις Καθημερινές ενισχύοντας την ανησυχία για αύξηση των προβλημάτων υγείας. Παρατηρούμε ότι ο συγκεκριμένος λόγος κυμαίνεται σε ελαφρώς πιο μειωμένα επίπεδα σε σχέση με άλλες μελέτες (Παράρτημα 2, Π2.13).

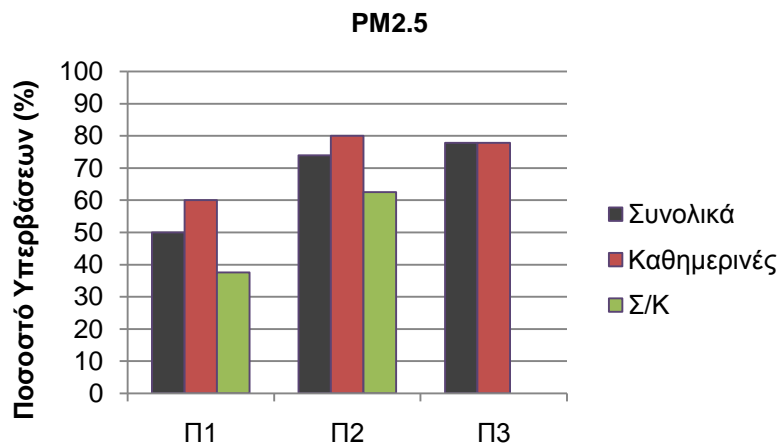
Σχετικά με τη συσχέτιση του κλάσματος των $\text{PM}_{2.5}$ με τα PM_1 στο σταθμό Π2, τα διαφορετικά κλάσματα εμφανίζονται ισχυρά θετικά συσχετισμένα ($R= 0.94$) υποδεικνύοντας την κοινή τους συμπεριφορά. Στο σταθμό Π3, οι ελάχιστες κοινές μέρες δειγματοληψίας δε μας επιτρέπουν να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τη συσχέτιση των δύο κλασμάτων.

Εκτός από τη μελέτη της διακύμανσης των συγκεντρώσεων, είναι σημαντικό να μελετήσουμε και τις ιδιαίτερα αυξημένες τιμές τους. Αναφορικά με τις υπερβάσεις πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια, όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1, τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (E.U.) όσο και ημερήσιας τιμής ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S.E.P.A.), παρατηρούμε ανησυχητικά αυξημένα ποσοστά κυρίως κατά τη διάρκεια των Καθημερινών αλλά και των Σαββατοκύριακων (Σχήματα 4.6, 4.7). Από τη στιγμή που δεν υπάρχει θεσμοθετημένη οριακή τιμή για τα PM_1 , θεωρούμε σαν τιμή τη μισή της οριακής τιμής των $\text{PM}_{2.5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) που κατοχυρώθηκε και με την οδηγία 2008/50/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δηλαδή τα $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

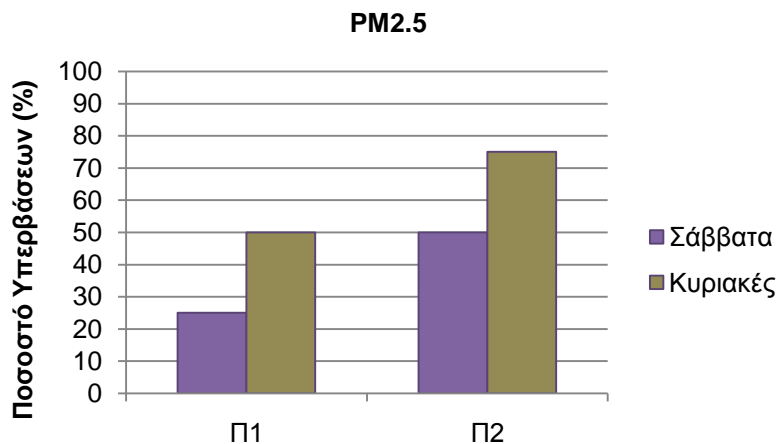


Σχήμα 4.7: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των $\text{PM}_{2.5}$ της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας.

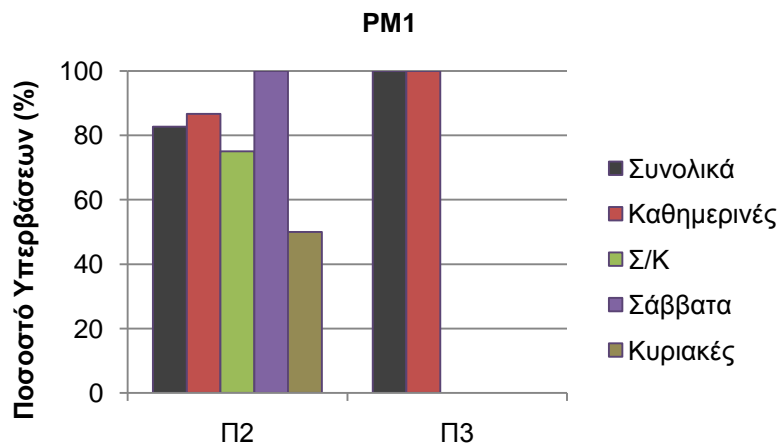
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.6 α)



Σχήμα 4.6 β)



Σχήμα 4.6 γ)

Σχήμα 4.6: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας.

4.1.1.1 Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

Σε μια προσπάθεια κατανόησης των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, έγινε παρόμοια με την παραπάνω μελέτη για τις ημέρες που είναι επηρεασμένες από τέτοια φαινόμενα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Σχετικά με τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων και της τυπικής απόκλισης όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3, παρατηρούμε αυξημένες τιμές αλλά σχετικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες μετρούμενες τιμές χωρίς τα συγκεκριμένα επεισόδια, όπως μελετήσαμε παραπάνω. Η μοναδική περίπτωση που εμφανίζονται υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ για την περιοχή Π3. Η συγκεκριμένη περιοχή παραμένει η πρώτη όσον αφορά τα υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων. Οι διαφορές ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις κυμαίνονται από το 4.6% στην περίπτωση των $PM_{2.5}$ για την Π2 μέχρι το 26.9% στην περίπτωση των PM_1 στο σταθμό Π3. Ο σταθμός υποβάθρου Π1, παραμένει ο σταθμός με τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Οι αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια των ημερών χωρίς την επιρροή φαινομένων μεταφοράς σκόνης ενισχύει τον ισχυρισμό μας για αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης στην περιοχή του λεκανοπεδίου. Σε σχέση με άλλους ερευνητές, οι συγκεκριμένες τιμές είναι πιο αυξημένες από τις αντίστοιχες για επεισόδια μεταφοράς σκόνης όπως για παράδειγμα (Galindo et al. 2011; Pateraki et al. 2013b).

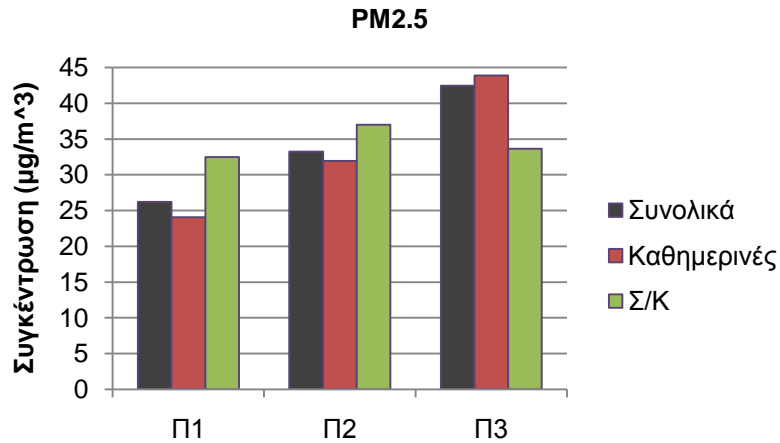
Πίνακας 4.3: Συνολική Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $PM_{2.5}$, PM_1 και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ κατά τις Ημέρες Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

Περιοχές	Ημέρες Δειγματοληψίας $PM_{2.5}$	PM_1	$PM_{2.5} \pm STDEV$ ($\mu g/m^3$)	$PM_1 \pm STDEV$ ($\mu g/m^3$)	$PM_1/PM_{2.5}$
Π1	43		26.21 ± 14.97		
Π2	47	47	33.22 ± 15.86	18.93 ± 11.58	0.57 ± 0.15
Π3	28	19	42.41 ± 28.14	20.67 ± 8.64	0.52 ± 0.22

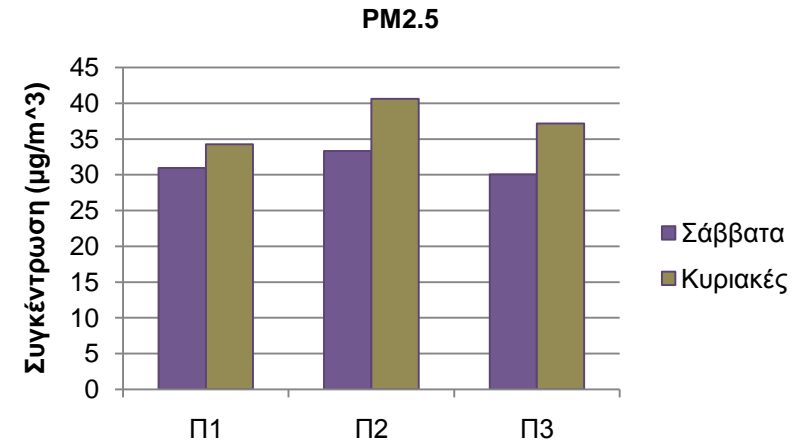
Αναφορικά με την αλληλεπίδραση και συσχέτιση των περιοχών για τα κλάσματα των $PM_{2.5}$ και PM_1 , παρατηρούμε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των σταθμών Π1-Π2 για το κλάσμα των $PM_{2.5}$ με στατιστικά σημαντικούς συντελεστές και κλίση που προσεγγίζει τη μονάδα, αναδεικνύοντας τη συνεισφορά φαινομένων μεταφοράς μεταξύ των δύο περιοχών στα επίπεδα των συγκεντρώσεων. Σχετικά με το κλάσμα των PM_1 , παρατηρείται ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των περιοχών Π2-Π3 (Πίνακας 4.4) ενδεικτικό της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο σταθμών. Παρατηρούμε όμως ότι καθώς μειώνεται η αεροδυναμική διάμετρος των αερολυμάτων, αυξάνεται η συσχέτιση μεταξύ των δύο περιοχών.

Σχετικά με την εβδομαδιαία διακύμανση (Καθημερινές- Σαββατοκύριακα) των μέσων συγκεντρώσεων, η συνήθης εικόνα ανατρέπεται με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων τόσο στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ όσο και των PM_1 . Εξαίρεση εμφανίζεται στο σταθμό Π3, στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ που παρουσιάζεται η αναμενόμενη εικόνα (Σχήμα 4.8). Όσον αφορά το κλάσμα των $PM_{2.5}$, στο σταθμό Π1 η διαφορά ανάμεσα σε Καθημερινές- Σαββατοκύριακα κυμαίνεται στο 14.8%, στο σταθμό Π2 στο 7.32% και στο σταθμό Π3 στο 13.23%. Σχετικά με το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.8 δ), η συνεισφορά των PM_1 στα $PM_{2.5}$ παρουσιάζεται κάτω από το 0.6 σε κάθε περίπτωση αναδεικνύοντας τον καθοριστικό ρόλο και την υπερίσχυση των μικρότερων σωματιδίων στη μάζα των μεγαλύτερων.

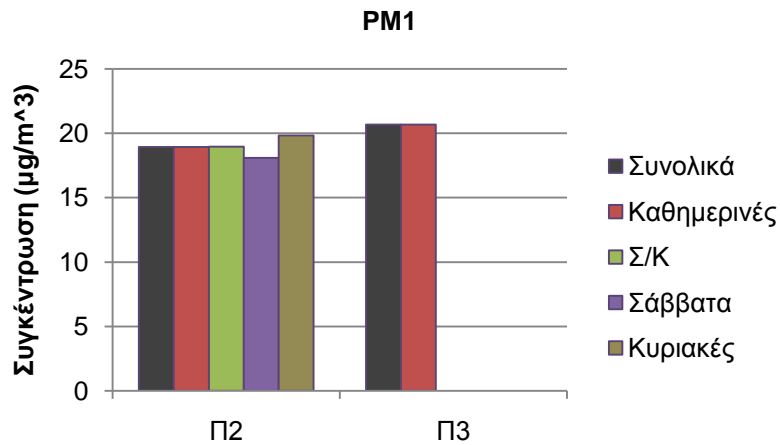
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



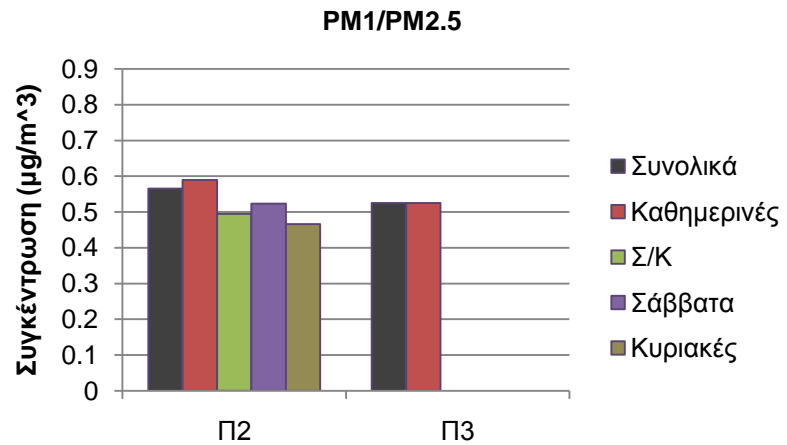
Σχήμα 4.8 α)



Σχήμα 4.8 β)



Σχήμα 4.8 γ)



Σχήμα 4.8 δ)

Σχήμα 4.8: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.8 α, β), PM_1 (Σχήμα 4.8 γ) αλλά και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.8 δ) Μεταξύ Καθημερινών- Σαββατοκύριακων για τις Περιοχές Δειγματοληψίας για τις Ημέρες Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.4 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (**COD**) Μεταξύ των Περιοχών Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 , τις Ημέρες με Παρουσία Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

$PM_{2.5}$	Π1	Π2	Π3	PM_1	Π2	Π3
Π1	1 1	0.85 0.16	0.14 0.35	Π2	1 1	0.75 0.21
Π2		1 1	0.30 0.25	Π3		1 1
Π3			1 1			

Στο σύνολο των ημερών ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$, παίρνει τιμές από 0.29 – 0.83 και από 0.23 – 0.92 στους σταθμούς Π2 και Π3 αντίστοιχα.

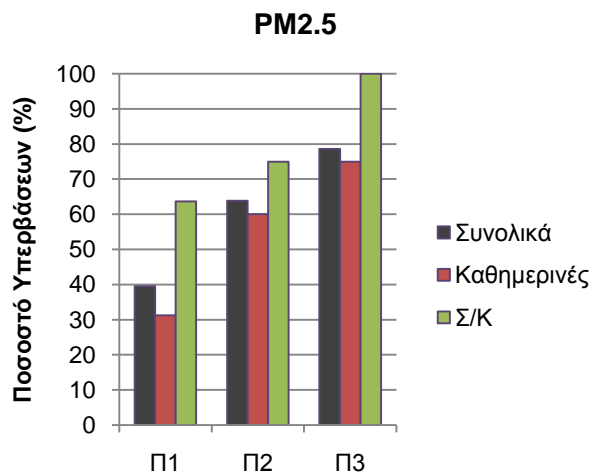
Η συσχέτιση των $PM_{2.5}$ με τα PM_1 στο σταθμό Π2, εμφανίζεται ισχυρά σημαντική ($R= 0.86$). Ενώ στο σταθμό Π3 δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντικός συντελεστής και εμφανίζεται μέτρια συσχέτιση ($R= 0.59$). Η απουσία κοινής χωρικής διακύμανσης στο σταθμό Π3 αναδεικνύει τον πολύπλοκο χαρακτήρα των αερολυμάτων. Παρατηρούμε ότι αναδεικνύεται η κοινή συμπεριφορά των δύο μετρούμενων κλασμάτων στην περίπτωση του κεντρικού σταθμού Π2.

Σα μια γενική παρατήρηση σχετικά με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, αξίζει να σημειωθούν οι ημερομηνίες 20/03-22/03 όπου οι συγκεντρώσεις εμφανίζουν αύξηση ακόμα και 200% πάνω από τα όρια των υπερβάσεων.

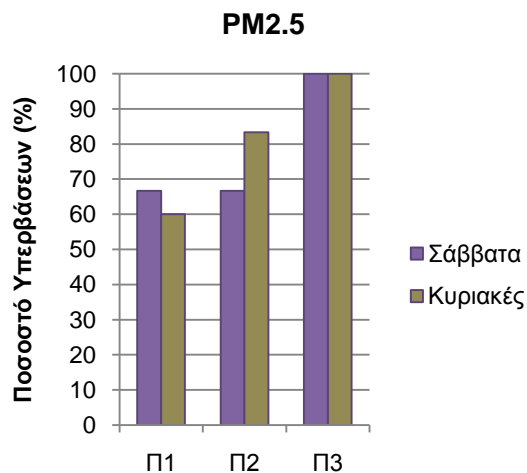
Εκτός της έρευνας αναφορικά με τις διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων, μας ενδιαφέρει να δούμε και τις τιμές που ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια. Το ποσοστό των υπερβάσεων πάνω από τα θεσμοθετημένα όρια, παρουσιάζει εικόνα αντίστοιχη των συγκεντρώσεων με τις ημέρες του Σαββατοκύριακου να παρουσιάζουν ανησυχητικά υψηλές τιμές. Οι υπερβάσεις κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα από τις ημέρες χωρίς την επιρροή επεισοδίων μεταφοράς με εξαίρεση τους σταθμούς Π2 και Π3 που τα Σαββατοκύριακα φτάνουν και στο 75% και 50% (οριακή τιμή Ε.Υ και U.S.E.P.A. αντίστοιχα) για τον σταθμό Π2 και 63.64% και 36.36% (οριακή τιμή Ε.Υ και U.S.E.P.A. αντίστοιχα) για το σταθμό Π3. Ο σταθμός Π3 εμφανίζει γενικότερα πιο αυξημένα ποσοστά. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.9- 4.10.

Συμπερασματικά, λόγω του συνδυασμού των αυξημένων ανθρωπογενών πηγών εκπομπής και των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης καθώς και του πολύπλοκου χαρακτήρα των αερολυμάτων, δεν μπορούμε να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα για τη σημασία της χωροχρονικής διακύμανσης των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων ημερών. Παρόλα αυτά από τη στιγμή που οι υπερβάσεις στο σύνολο των συγκεκριμένων ημερών παρουσιάζονται μειωμένες τιμές συγκρινόμενες με την απουσία τέτοιων φαινομένων (απουσία σκόνης) συμπεραίνουμε την αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης και την ιδιαίτερη ενίσχυση της κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η κίνηση οχημάτων και οι καύσεις (κεντρική θέρμανση, βιομηχανική δραστηριότητα).

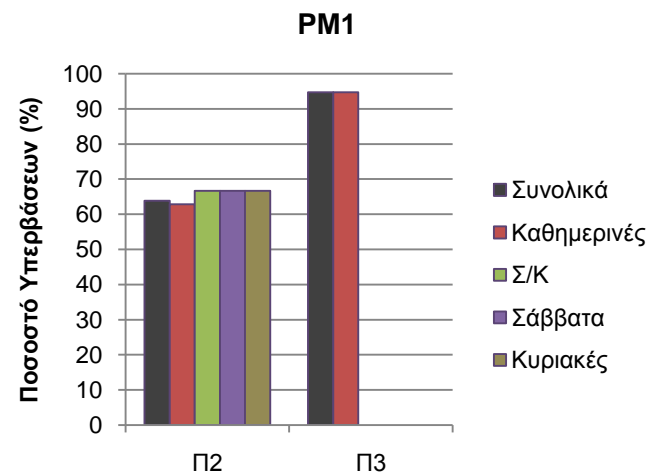
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.9 α)

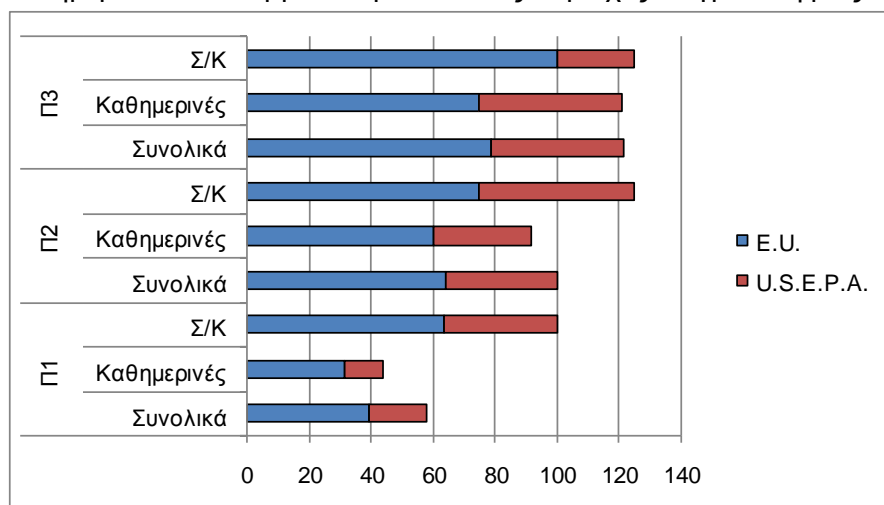


Σχήμα 4.9 β)



Σχήμα 4.9 γ)

Σχήμα 4.9: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Κλάσματα PM_{2.5} και PM₁ της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.10: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των PM_{2.5} της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

Συνεχίζοντας τα συμπεράσματα παρατηρούμε ότι η αύξηση του ποσοστού των υπερβάσεων συνεπάγεται και αύξηση των μέσων συγκεντρώσεων των μετρούμενων σωματιδίων (και στα δύο κλάσματα) γεγονός που ενισχύει το παραπάνω συμπέρασμα καθώς δεν μπορεί να αποδοθεί σε τυχαία μεμονωμένα περιστατικά. Αναφορικά με το σταθμό Π3, όπου εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις και στα δύο σενάρια (απουσία- εμφάνιση επεισοδίων σκόνης), αναδεικνύεται ο καθοριστικός ρόλος των γραμμικών πηγών (μεγάλου μήκους οδικόι άξονες περιμετρικά του σταθμού) εκπομπής και η συνεισφορά της κίνησης οχημάτων (αυξημένη κίνηση στις συγκεκριμένες οδικές αρτηρίες με πολλά ακινητοποιημένα οχήματα καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου). Ακόμα, εκτός των τοπικών πηγών πολύ σημαντική είναι και η αλληλεπίδραση μεταξύ των σταθμών (κυρίως Π1-Π2 αλλά και Π2-Π3) μέσω της μεγάλης κλίμακας μεταφοράς. Σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι όσο μειώνεται η διάμετρος των σωματιδίων αυξάνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των σταθμών Π2-Π3.

4.1.2 Αιωρούμενα Σωματίδια – Χημική Σύσταση

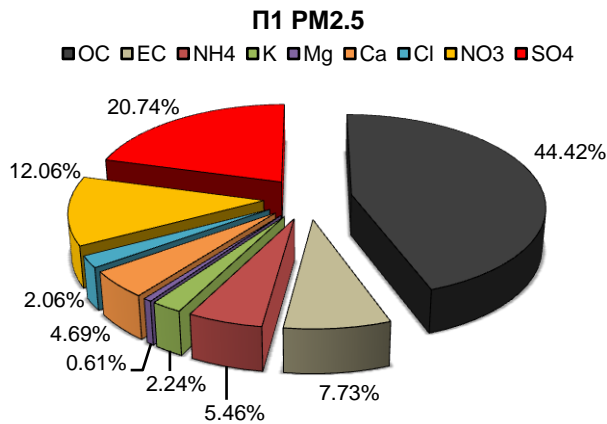
Η χημική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένα σημαντικό εργαλείο που θα μας δώσει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά τόσο με το χαρακτήρα και τη φύση των αερολυμάτων όσο και με τον επικίνδυνο ή μη χαρακτήρα τους για την ανθρώπινη υγεία. Η παρούσα έρευνα μελετά τόσο ανιόντα όσο και κατιόντα μέσω της διαδικασίας της υγρής χρωματογραφίας. Τα ανιόντα που εξετάσαμε είναι τα SO_4^{2-} , NO_3^- και Cl^- , ενώ εξετάστηκαν τα κατιόντα NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} . Το κατιόν του Na^+ , υπολογίστηκε από το λόγο $(Cl^-/Na^+)=1.8$, όπως αναφέρθηκε στην §3.2, θεωρώντας ότι έχει θαλασσινή προέλευση (Kocak et al. 2007b; Pateraki et al. 2012b). Εκτός των ανόργανων ιόντων εξετάστηκαν τα επίπεδα του άνθρακα, οργανικού (OC) και στοιχειακού (EC). Τα ανθρωπογενούς προέλευσης OC , SO_4^{2-} και NO_3^- θα μας δώσουν πληροφορίες σχετικά με την επικράτηση ή μη των ανθρωπογενών πηγών σε σχέση με τις φυσικές και την αύξηση της οξύτητας των σωματιδίων. Ενώ η μελέτη των ανιόντων SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- και ο λόγος κατιόντων/ανιόντα (σε μοριακά ισοδύναμα) θα μας κατευθύνουν όσον αφορά τον χαρακτήρα των σωματιδίων (όξινος ή αλκαλικός) (Pateraki et al. 2014). Επίσης στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες OC/EC και NO_3^-/SO_4^{2-} . Όπως αναφέρθηκε και στη §2.2.2 αν $OC/EC > 2$ τότε έχουμε ισχυρές ενδείξεις για το σχηματισμό δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων (Khoder and Hassan 2008; Pateraki et al. 2012b; Mantas et al. 2014). Ο δείκτης NO_3^-/SO_4^{2-} μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών (< 1) ή για το αντίστροφο (> 1) (Tsitouridou and Samara 1993).

Σε κάθε περιοχή και κλάσμα, σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα αερολύματα βρέθηκαν να αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από OC ακολουθούμενο από SO_4^{2-} και στη συνέχεια από NO_3^- ($OC > SO_4^{2-} > NO_3^-$) ενώ το Mg^{2+} βρίσκεται σταθερά τελευταίο (Πίνακας 4.5, Σχήμα 4.11). Οι ανθρωπογενείς ενώσεις κυριαρχούν στη μάζα των αερολυμάτων άρα σε κάθε περίπτωση παρατηρούμε τάση αύξησης της οξύτητας των αερολυμάτων και άρα της επικινδυνότητας τους για την ανθρώπινη υγεία. Εξαιρετικά ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη σύσταση των σωματιδίων έχει την ίδια τάξη μεγέθους και στα δύο μετρούμενα κλάσματα, γεγονός επικίνδυνο γνωρίζοντας ότι όσο ελαττώνεται η διάμετρος τόσο μεγαλύτερη ικανότητα εισχώρησης στον ανθρώπινο οργανισμό παρουσιάζουν τα αερολύματα (§2.1).

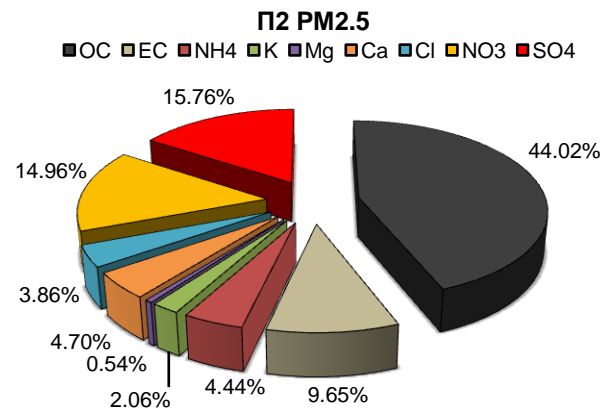
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.5: Κατάταξη Μετρούμενων Χημικών Ενώσεων (Βάσει της Μέσης Τιμής Συγκέντρωσης) στα Κλάσματα PM_{2.5} και PM₁ για τους Σταθμούς Δειγματοληψίας.

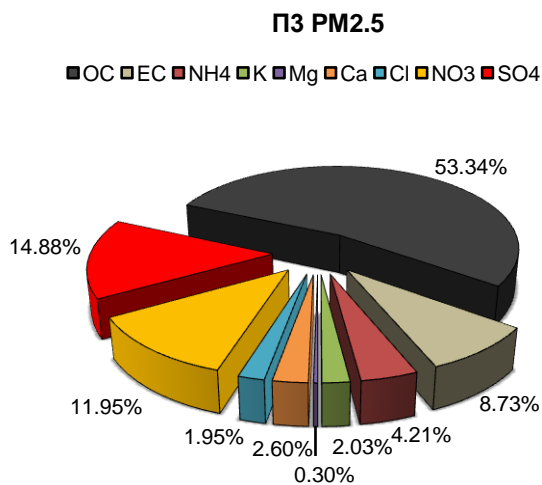
	Π1 PM2.5		Π2 PM2.5		Π3 PM2.5		Π2 PM1		Π3 PM1	
1	OC	7.04	OC	7.80	OC	10.33	OC	5.81	OC	11.13
2	SO ₄ ²⁻	3.29	SO ₄ ²⁻	2.79	SO ₄ ²⁻	2.88	SO ₄ ²⁻	2.45	SO ₄ ²⁻	2.78
3	NO ₃ ⁻	1.91	NO ₃ ⁻	2.65	NO ₃ ⁻	2.31	NO ₃ ⁻	1.67	NO ₃ ⁻	2.55
4	EC	1.22	EC	1.71	EC	1.69	EC	1.34	EC	1.96
5	NH ₄ ⁺	0.86	Ca ²⁺	0.83	NH ₄ ⁺	0.81	Ca ²⁺	1.11	NH ₄ ⁺	0.95
6	Ca ²⁺	0.74	NH ₄ ⁺	0.79	Ca ²⁺	0.50	NH ₄ ⁺	0.69	Cl ⁻	0.39
7	K ⁺	0.35	Cl ⁻	0.68	K ⁺	0.39	K ⁺	0.36	K ⁺	0.33
8	Cl ⁻	0.33	K ⁺	0.37	Cl ⁻	0.38	Cl ⁻	0.19	Mg ²⁺	0.04
9	Mg ²⁺	0.10	Mg ²⁺	0.10	Mg ²⁺	0.06	Mg ²⁺	0.04		-



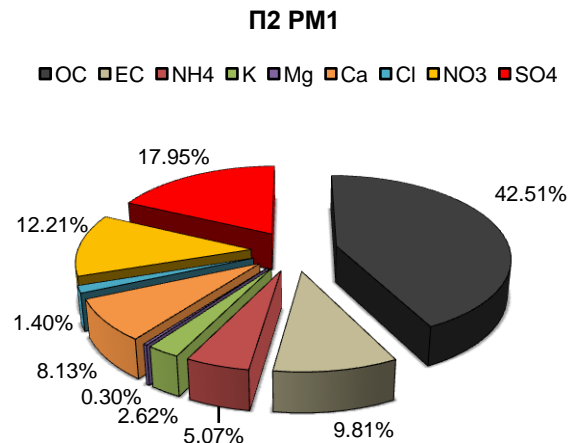
Σχήμα 4.11 α)



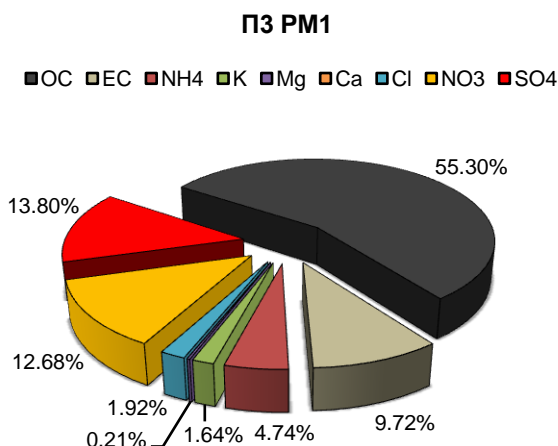
Σχήμα 4.11 β)



Σχήμα 4.11 γ)



Σχήμα 4.11 δ)



Σχήμα 4.11 ε)

Σχήμα 4.11: Ποσοστό Συμμετοχής της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων

Έγινε μια προσπάθεια μελέτης των διακυμάνσεων των κυριότερων χημικών ενώσεων που αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια. Αναφορικά με τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ημέρες, όσον αφορά τον OC , η μεγαλύτερη διακύμανση παρατηρείται στο σταθμό Π2 στις 31/01/2013-01/02/2013 ($4.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $24.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Η μεγαλύτερη διακύμανση σχετικά με το SO_4^{2-} εμφανίζεται στο σταθμό Π1 στις 18/02/2013-19/02/2013 ($6.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $1.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Τέλος το NO_3^- παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακύμανση από μέρα σε μέρα στο σταθμό Π2 κατά τις ημέρες 20/02/2013-21/02/2013 ($3.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Σχετικά με τις συνολικές διακυμάνσεις (εύρος των τιμών) σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου το μέγιστο εύρος σχετικά με τις παραπάνω χημικές ενώσεις εμφανίζεται στον σταθμό Π1 (Πίνακας 4.6) αναφορικά με τον OC . Παρότι ο σταθμός Π1 θεωρείται ως υποβάθρου και δεν έχει σταθερές πηγές εκπομπών, η αναμενόμενη εικόνα είναι να παρουσιάζει χαμηλές σχετικά με τους άλλους σταθμούς τιμές τόσο σε SO_4^{2-} , όσο και NO_3^- . Κάτι τέτοιο όχι μόνο δεν επιβεβαιώνεται καθώς οι τιμές εμφανίζονται στα ίδια επίπεδα με τους άλλους σταθμούς (Σχήμα 4.11 α) αλλά παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη τιμή SO_4^{2-} (άμεση συσχέτιση με ανθρωπογενείς πηγές) σε όλη τη δειγματοληπτική περίοδο και τη δεύτερη μεγαλύτερη στα NO_3^- . Για να βγάλουμε καλύτερα συμπεράσματα είναι απαραίτητα η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων καθώς και η χρήση των λόγων OC/EC και NO_3^-/SO_4^{2-} (επόμενες παράγραφοι). Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι ο σταθμός Π3 εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε OC και στα δύο μετρούμενα κλάσματα με τη μικρότερη τυπική απόκλιση γεγονός που τονίζει την απουσία ακραίων τιμών και ενισχύει την άποψη ότι η αυξημένες μέσες τιμές, σε επικίνδυνες για τον άνθρωπο ενώσεις, δεν οφείλονται σε τυχαία περιστατικά αλλά σε μια εδραιωμένη αυξημένη σωματιδιακή ρύπανση. Η μέγιστη τιμή αλλά και συκέντρωση, στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ του NO_3^- που σχετίζεται με την κίνηση των οχημάτων παρουσιάζεται στο σταθμό Π2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.6: Συνολική Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση και Εύρος Τιμών για τις Μετρούμενες Χημικές Ενώσεις στις Περιοχές Δειγματοληψίας.

	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>OC/EC</i>	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Π1 PM2.5											
Μέση Τιμή	32.61	7.04	1.22	5.61	0.86	0.35	0.10	0.74	0.33	1.91	3.29
max	83.05	27.19	3.76	8.13	2.19	0.65	0.39	1.08	1.02	6.36	7.52
min	13.00	1.82	0.32	2.43	0.08	0.22	0.03	0.52	0.05	0.43	1.10
stdev	18.66	6.38	0.94	1.49	0.69	0.14	0.09	0.19	0.27	1.66	1.93
range	70.05	25.36	3.44	5.71	2.11	0.43	0.36	0.56	0.97	5.93	6.42
Π2 PM2.5											
Μέση Τιμή	36.48	7.80	1.71	4.40	0.79	0.37	0.10	0.83	0.68	2.65	2.79
max	73.51	25.46	3.17	8.24	1.99	0.74	0.26	1.78	2.62	6.49	5.95
min	16.97	1.86	0.43	1.87	0.18	0.22	0.03	0.30	0.08	0.79	1.31
stdev	15.94	6.37	0.91	1.64	0.52	0.16	0.05	0.35	0.60	1.50	1.31
range	56.54	23.60	2.74	6.37	1.82	0.52	0.23	1.48	2.54	5.71	4.63
Π3 PM2.5											
Μέση Τιμή	38.22	10.33	1.69	6.21	0.81	0.39	0.06	0.50	0.38	2.31	2.88
max	62.73	16.32	2.36	9.01	1.51	0.56	0.08	0.62	0.60	4.04	5.32
min	15.37	5.65	1.07	3.61	0.22	0.24	0.04	0.44	0.19	0.46	0.54
stdev	14.33	4.06	0.51	1.83	0.50	0.12	0.01	0.07	0.13	1.32	1.62
range	47.35	10.67	1.29	5.40	1.29	0.33	0.04	0.18	0.41	3.58	4.78
Π2 PM1											
Μέση Τιμή	25.73	5.81	1.34	4.42	0.69	0.36	0.04	1.11	0.19	1.67	2.45
max	54.92	18.51	2.97	9.07	1.63	0.62	0.11	1.11	0.59	4.24	4.97
min	8.95	1.51	0.30	2.29	0.10	0.23	0.01	1.11	0.02	0.30	0.77
stdev	13.95	4.72	0.84	1.77	0.43	0.13	0.02	-	0.18	1.14	1.14
range	45.97	16.99	2.67	6.78	1.53	0.39	0.10		0.57	3.94	4.20
Π3 PM1											
Μέση Τιμή	38.36	11.13	1.96	5.69	0.95	0.33	0.04	-	0.39	2.55	2.78
max	45.04	13.27	1.96	6.80	1.15	0.38	0.05	-	0.47	3.63	2.81
min	31.68	8.99	1.95	4.59	0.76	0.28	0.04	-	0.30	1.48	2.74
stdev	9.45	3.02	0.01	1.56	0.27	0.07	0.01	-	0.13	1.52	0.05
range	13.36	4.28	0.01	2.21	0.39	0.10	0.01		0.18	2.15	0.07

Τα μετρούμενα ιόντα δεν αποτελούν το 100% τις συνολικής μάζας των αερολυμάτων καθώς όπως γνωρίζουμε αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό τόσο από νερό αλλά και από άλλες χημικές ενώσεις. Πιο συγκεκριμένα αναφορικά στα $PM_{2.5}$, στο σταθμό Π1 τα μετρούμενα ιόντα καλύπτουν το 48.61% της συνολικής μάζας, στο σταθμό Π2 το 48.60% και στο σταθμό Π3 το 50.66%. Ενώ σχετικά με τα PM_1 , στο σταθμό Π2 αποτελούν το 53.15% και στο σταθμό Π3 το 52.46%.

Μετά από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων (Πίνακας 4.7) παρατηρούμε ότι η μάζα των αερολυμάτων είναι ισχυρά συσχετισμένη τόσο με τον OC όσο και το NH_4^+ και K^+ , για όλα τα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

κλάσματα και τις περιοχές δειγματοληψίας. Σχετικά με τον οργανικό άνθρακα αυτό σημαίνει ότι η μάζα των αερολυμάτων αποτελείται από υψηλά ποσοστά οργανικού άνθρακα και δε διαμορφώνεται στην πορεία από φαινόμενα μεταφοράς, γεγονός ανησυχητικό. Ο EC και το NO_3^- είναι ισχυρά θετικά συσχετισμένα με τη μάζα των σωματιδίων σε όλους τους σταθμούς, εκτός από τον Π3. Το παραπάνω σημαίνει ότι τα επικίνδυνα νιτρικά ιόντα είναι και αυτά μέρος του αερολύματος από την πηγή εκπομπής και δε δημιουργούνται από φαινόμενα μεταφοράς. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα μας δίνουν την πληροφορία της επικράτησης των τοπικών πηγών έναντι φαινομένων μεταφοράς για τις παραπάνω χημικές ενώσεις. Τα εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} και Mg^{2+} (έκτος του K^+ όπως προαναφέραμε) παρουσιάζονται ισχυρά ασυσχέιστα σε κάθε κλάσμα και περιοχή. Το ίδιο αποτέλεσμα ισχύει και για το θαλασσινής προέλευσης Cl^- . Το SO_4^{2-} παρουσιάζει μέτρια θετική συσχέτιση σε κάθε περίπτωση, με μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση του σταθμού Π2. Ο σταθμός Π2 βρίσκεται σε κοντινή απόσταση σημειακών πηγών εκπομπής και ήταν αναμενόμενη η υψηλότερη θετική συσχέτιση του με το SO_4^{2-} . Η ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ $OC-EC$ σε όλους τους σταθμούς και η μέτρια προς ισχυρή στο σταθμό Π3 μας πληροφορεί για την ύπαρξη κοινών πηγών μεταξύ του οργανικού και του πρωτογενούς παραγόμενου στοιχειακού άνθρακα. Η ισχυρή συσχέτιση $OC-EC$ σε συνδυασμό με τη συσχέτιση PM_x-OC και PM_x-EC μας επιβεβαιώνουν την επιβάρυνση τις σωματιδιακής μάζας με οργανικές ενώσεις εκπεμπόμενες από τοπικές πηγές.

Πίνακας 4.7 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Καθώς και Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (**COD**) για τα Νιτρικά και Θειικά Ιόντα στις Περιοχές Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1

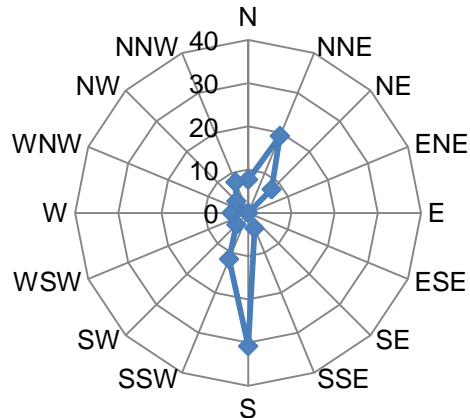
$PM_{2.5}$	Π1	Π2	Π3	PM_1	Π2
$OC - PM_x$	0.94	0.91	0.80		0.89
$EC - PM_x$	0.91	0.81	0.55		0.78
$NH_4^+ - PM_x$	0.72	0.83	0.79		0.83
$K^+ - PM_x$	0.94	0.77	0.99		0.88
$Mg^{2+} - PM_x$	0.07	-0.19	-0.79		-0.04
$Ca^{2+} - PM_x$	-0.03	0.36	0.52		
$Cl^- - PM_x$	0.15	0.09	0.53		0.83
$NO_3^- - PM_x$	0.88	0.79	0.63		0.90
$SO_4^{2-} - PM_x$	0.56	0.62	0.43		0.63
$OC - EC$	0.95	0.78	0.68		0.78
$NO_3^- - SO_4^{2-}$	0.44	0.76	0.72		0.70
	0.41	0.19	0.22		0.36
$NH_4^+ - SO_4^{2-}$	0.65	0.84	0.97		0.87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η στατιστική επεξεργασία μεταξύ των χημικών ενώσεων διαφορετικών περιοχών (Πίνακας 4.8) αναδεικνύει την ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των σταθμών Π1-Π2 και τη μέτρια αλληλεπίδραση ανάμεσα στους Π1-Π3 και Π2-Π3 σε όλες τις χημικές ενώσεις εκτός των εδαφικής και θαλασσινής προέλευσης (εκτός της περίπτωσης του Cl^- ανάμεσα στους Π1-Π3). Ταυτόχρονη ομοιογένεια και ομοιομορφία εμφανίζεται στην περίπτωση των NH_4^+ (σταθμοί Π1-Π3 και Π2-Π3), Cl^- (σταθμοί Π1-Π3) και SO_4^{2-} (σταθμοί Π1-Π2). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα συγκρινόμενα και με τον Πίνακα 4.7 σχετικά με τα ανθρωπογενούς προέλευσης SO_4^{2-} και εξίσου σημαντικά θαλασσινής προέλευσης Cl^- ενισχύουν τον ισχυρισμό για επικοινωνία των σταθμών δειγματοληψίας μέσω φαινομένων μεταφοράς. Σχετικά και με τα ανεβασμένα επίπεδα SO_4^{2-} στο σταθμό Π1, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οφείλεται τόσο σε φαινόμενα μεταφοράς από το κέντρο της πόλης (υψηλή συσχέτιση Π1-Π2 και Π1-Π3) όσο και σε άμεση επιρροή από τις εκπομπές στο λιμάνι Πειραιά καθώς οι άνεμοι ήταν στο μεγαλύτερο ποσοστό Δυτικοί (Σχήμα 4.12) και ο σταθμός απέχει λίγα χιλιόμετρα από τη συγκεκριμένη περιοχή. Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι τα νιτρικά ιόντα παρότι είναι αυξημένα στον κυκλοφοριακό σταθμό Π3, δε φαίνεται να είναι συσχετισμένα ούτε με τη μάζα των αερολυμάτων, ούτε να επηρεάζεται από φαινόμενα μεταφοράς από τους γειτονικούς σταθμούς. Τα θειικά από την άλλη πλευρά, φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από φαινόμενα μεταφοράς. Στους Πίνακες 4.9 α)- δ) παρουσιάζεται η συσχέτιση (R) μεταξύ των χημικών ενώσεων σε κάθε σταθμό ξεχωριστά.

Πίνακας 4.8: Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων στις Περιοχές Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1

$PM_{2.5}$	Π1 - Π2	Π1 - Π3	Π2 - Π3	PM_1	Π2 - Π3
OC	0.93	0.59	0.84		
	0.23	0.22	0.28		0.26
EC	0.76	-0.01	0.41		
	0.25	0.25	0.26		0.14
NH_4^+	0.82	0.99	0.82		
	0.26	0.20	0.18		0.11
K^+	0.59	0.35	-0.02		
	0.18	0.15	0.20		0.20
Mg^{2+}	0.59	-0.13	-0.07		
	0.19	0.17	0.25		0.15
Ca^{2+}	-0.64		0.39		
	0.32	0.08	0.30		
Cl^-	0.06	0.73	0.49		
	0.44	0.19	0.32		0.08
NO_3^-	0.88	0.80	0.66		
	0.25	0.29	0.32		0.06
SO_4^{2-}	0.78	0.80	0.31		
	0.14	0.31	0.31		0.05



Σχήμα 4.12: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Ανέμων Κατά τη Διάρκεια της Περιόδου Δειγματοληψίας.

Σχετικά με το δευτερογενή σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων χρησιμοποιείται ο δείκτης OC/EC , όπως αναφέρθηκε και στην §2.2.2 αναζητούμε να η τιμή του συγκεκριμένου λόγου είναι παραπάνω από την οριακή τιμή 2. Σχετικά με το λόγο OC/EC (Πίνακας 4.6) παρατηρήθηκε μικρό σχετικά εύρος τιμών κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου. Παρατηρούμε σταθερά μεγαλύτερες τιμές από την οριακή τιμή 2 (Σχήμα 4.13 α), ενδεικτικό του σχηματισμού δευτερογενώς παραγόμενων οργανικών ενώσεων (Khoder and Hassan 2008). Η εξήγηση μπορεί να είναι "η συμπύκνωση πτητικών οργανικών ενώσεων ή ημι-πτητικών υδρογονανθράκων σε ήδη υπάρχοντα σωματίδια σε συνδυασμό με την παρουσία οργανικών συστατικών και η δημιουργία καινούργιων σωματιδίων" όπως αναφέρουν οι Pateraki et al. (2014). Οι τιμές μειώνονται στον κεντρικό σταθμό Π2 σε σχέση με του δύο άλλους σταθμούς. Αν εξαιρέσουμε το σταθμό Π3, οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στο σταθμό υποβάθρου. Οι τιμές του λόγου είναι σταθερά αυξημένες το Σαββατοκύριακο.

Οι πηγές στους σταθμούς δειγματοληψίας κατατάσσονται ως σταθερές και ως κινητές. Σημαντικό είναι να κατανοήσουμε ποιο είδος κυριαρχεί στην παραγωγή σωματιδίων. Ο δείκτης NO_3^-/SO_4^{2-} , σταθερά μικρότερος της μονάδας (Σχήμα 4.13 β), υποδεικνύει την επικράτηση των σημειακών πηγών (θειικά ιόντα) έναντι των κινητών (νιτρικά ιόντα). Υπάρχει ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ Καθημερινών-Σαββατοκύριακων το οποίο οφείλεται στην ακόμη πιο ελαττωμένη κίνηση οχημάτων κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων. Ο σταθμός Π1 εμφανίζει εκείνος με τη μεγαλύτερη επικράτηση των SO_4^{2-} έναντι των NO_3^- λόγω της μειωμένης κίνησης σε σχέση με τους άλλους σταθμούς αλλά και φαινομένων μεταφοράς θεικών από το σταθμό του κέντρου και από την περιοχή του Πειραιά (όπως αναφέρθηκε παραπάνω).

Σχετικά με την επικράτηση του όξιου ή αλκαλικού χαρακτήρα των αερολυμάτων (Σχήμα 4.13 γ) εμφανίζονται υψηλά ποσοστά τόσο στο σταθμό Π1 όσο και στο σταθμό Π2 (στα PM_{10}) γεγονός που εμπνέει ανησυχίες για την ανθρώπινη υγεία και αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο των πηγών στη συνεισφορά τους στα αερολύματα. Στο σταθμό Π2, φαίνεται ότι ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων επηρεάζει περισσότερο το μικρότερο κλάσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.9 α): Διάγραμμα Συσχέτισης (R) των Χημικών Ενώσεων στο Σταθμό Π1

Π1 – PM _{2.5}	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>NH₄⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>OC/EC</i>
<i>mass</i>	1	0.94	0.91	0.72	0.94	0.07	-0.03	0.15	0.88	0.56	0.36
<i>OC</i>		1	0.95	0.66	0.93	-0.11	-0.21	0.08	0.91	0.44	0.39
<i>EC</i>			1	0.72	0.91	-0.23	-0.52	0.15	0.89	0.42	0.13
<i>NH₄⁺</i>				1	0.67	-0.05	0.68	0.80	0.72	0.65	0.15
<i>K⁺</i>					1	0.04	-0.23	0.80	0.88	0.39	0.35
<i>Mg²⁺</i>						1	0.10	-0.02	-0.14	0.46	0.37
<i>Ca²⁺</i>							1	0.40	-0.14	0.09	0.16
<i>Cl⁻</i>								1	0.22	-0.09	-0.27
<i>NO₃⁻</i>									1	0.44	0.26
<i>SO₄²⁻</i>										1	0.42
<i>OC/EC</i>											1

Πίνακας 4.9 β): Διάγραμμα Συσχέτισης (R) των Χημικών Ενώσεων στο Σταθμό Π2 στο Κλάσμα των PM_{2.5}

Π2 – PM _{2.5}	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>NH₄⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>OC/EC</i>
<i>mass</i>	1	0.91	0.81	0.83	0.77	-0.19	0.36	0.09	0.79	0.62	0.59
<i>OC</i>		1	0.78	0.70	0.91	-0.24	0.22	0.05	0.78	0.54	0.73
<i>EC</i>			1	0.65	0.68	-0.29	0.20	-0.08	0.72	0.46	0.20
<i>NH₄⁺</i>				1	0.48	-0.28	0.36	-0.01	0.78	0.84	0.51
<i>K⁺</i>					1	-0.21	0.47	0.05	0.65	0.31	0.68
<i>Mg²⁺</i>						1	0.30	0.92	0.03	0.07	-0.17
<i>Ca²⁺</i>							1	0.33	0.34	0.17	0.05
<i>Cl⁻</i>								1	0.30	0.30	0.06
<i>NO₃⁻</i>									1	0.76	0.47
<i>SO₄²⁻</i>										1	0.44
<i>OC/EC</i>											1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

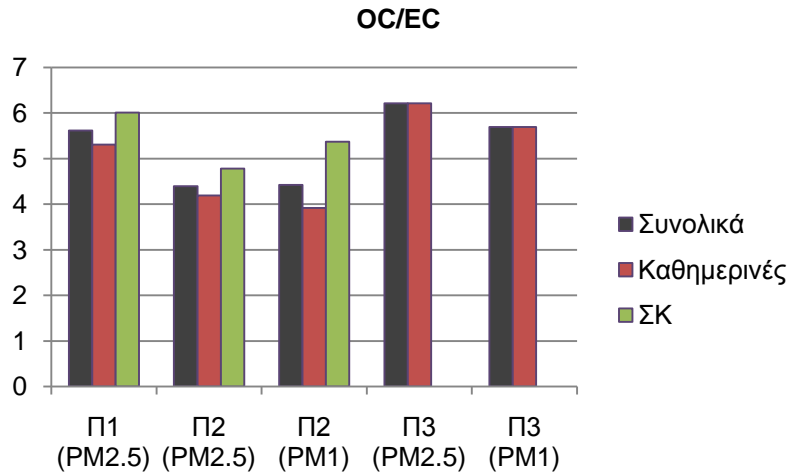
Πίνακας 4.9 γ): Διάγραμμα Συσχέτισης (R) των Χημικών Ενώσεων στο Σταθμό Π2 στο Κλάσμα των PM₁

Π3 – PM _{2.5}	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>NH₄⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>OC/EC</i>
<i>mass</i>	1	0.80	0.55	0.79	0.99	-0.79	0.52	0.53	0.63	0.43	0.47
<i>OC</i>		1	0.68	0.63	0.69	-0.38	0.32	0.83	0.63	0.33	0.55
<i>EC</i>			1	0.24	0.23	-0.49	-0.18	0.40	0.15	-0.18	-0.21
<i>NH₄⁺</i>				1	0.65	-0.42	0.05	0.56	0.72	0.97	0.70
<i>K⁺</i>					1	-0.53	0.61	0.48	0.75	0.62	0.50
<i>Mg²⁺</i>						1	-0.45	0.07	-0.34	-0.09	-0.02
<i>Ca²⁺</i>							1	0.13	0.61	0.20	0.47
<i>Cl⁻</i>								1	0.43	0.31	0.61
<i>NO₃⁻</i>									1	0.72	0.62
<i>SO₄²⁻</i>										1	0.62
<i>OC/EC</i>											1

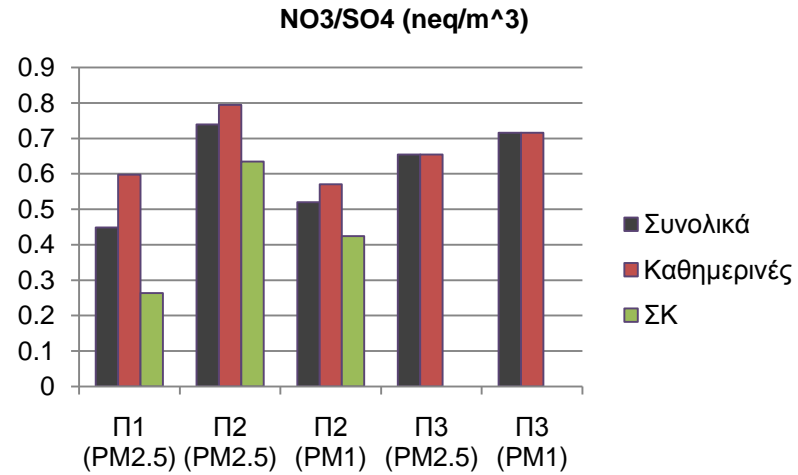
Πίνακας 4.9 δ): Διάγραμμα Συσχέτισης (R) των Χημικών Ενώσεων στο Σταθμό Π3 στο Κλάσμα των PM_{2.5}

Π2 – PM ₁	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>NH₄⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>OC/EC</i>
<i>mass</i>	1	0.89	0.78	0.83	0.88	-0.04	-	0.83	0.90	0.63	0.40
<i>OC</i>		1	0.78	0.59	0.95	-0.13	-	0.68	0.81	0.39	0.49
<i>EC</i>			1	0.61	0.52	-0.04	-	0.49	0.81	0.36	-0.08
<i>NH₄⁺</i>				1	0.19	-	-	0.75	0.85	0.87	0.34
<i>K⁺</i>					1	-0.33	-	0.56	0.61	0.05	0.55
<i>Mg²⁺</i>						1	-	-0.10	0.00	0.17	-0.25
<i>Ca²⁺</i>							1	-	-	-	-
<i>Cl⁻</i>								1	0.76	0.76	0.50
<i>NO₃⁻</i>									1	0.70	0.27
<i>SO₄²⁻</i>										1	0.36
<i>OC/EC</i>											1

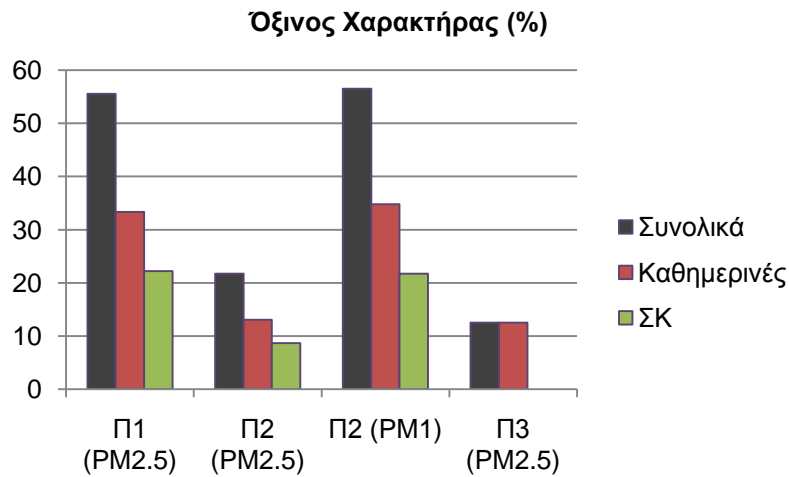
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.13 α)



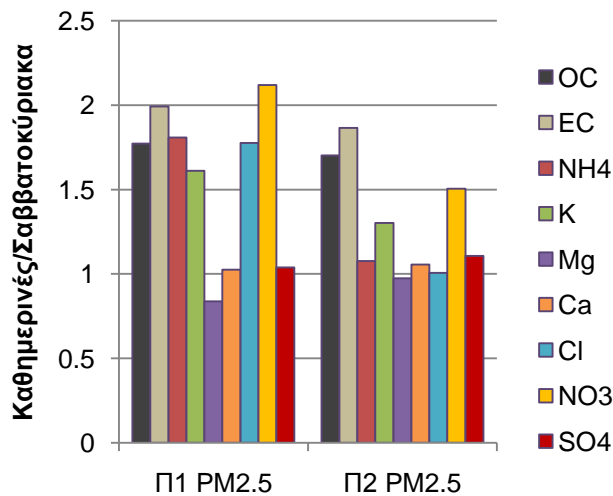
Σχήμα 4.13 β)



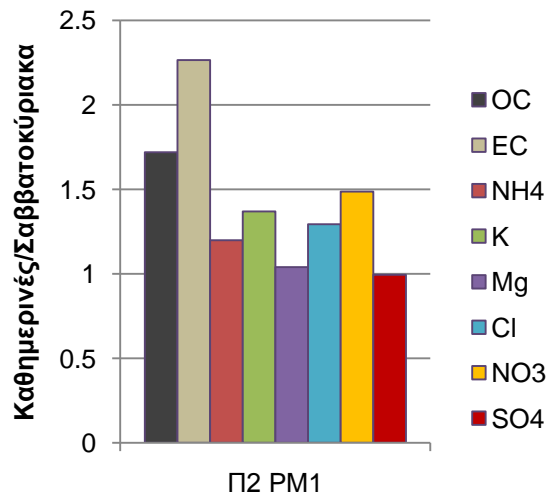
Σχήμα 4.13 γ)

Σχήμα 4.13: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.13 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.13 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.13 γ) Ανάμεσα σε Καθημερινές-Σαββατοκύριακα τους Σταθμούς Δειγματοληψίας.

Σε μια προσπάθεια κατανόησης της διακύμανσης των χημικών ενώσεων ανάμεσα στις εργάσιμες ημέρες (Καθημερινές) και τα Σαββατοκύριακα και δεδομένου ότι οι τάξεις μεγέθους της διαφοράς μεταξύ μερικών χημικών ενώσεων είναι αρκετά μεγάλες, υπολογίστηκε ο λόγος Καθημερινών/Σαββατοκύριακα και έγινε το διάγραμμα διακύμανσης τους (Σχήμα 4.14). Στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.14 α) υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των καθημερινών, με εξαίρεση το Mg^{2+} και στους δύο σταθμούς. Στο κλάσμα των PM_1 , υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των Καθημερινών, εκτός των θεικών ιόντων (SO_4^{2-}) που εμφανίζονται ελάχιστα αυξημένα τα Σαββατοκύριακα γεγονός που προκαλεί εντύπωση. Στο σταθμό Π3, η έλλειψη μετρήσεων τα Σαββατοκύριακα και στα δύο κλάσματα κάνει αδύνατο τον υπολογισμό του συγκεκριμένου λόγου. Οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις εμφανίζονται στο σταθμό Π1 με πρώτη τη διακύμανση του NO_3^- (35.8%). Στο σταθμό υποβάθρου (Π1), οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρουσιάζονται στο NO_3^- , Cl^- , OC και EC . Γνωρίζοντας ότι το NO_3^- και ο άνθρακας αποτελούν ένα δείκτη και για την κίνηση των οχημάτων και δεδομένου του γεγονότος ότι στο σταθμό Π1 οι εκπομπές δεν είναι τόσο σημαντικές, σε σχέση με τους άλλους σταθμούς, αυτή η διαφορά είναι αναμενόμενη. Αναδεικνύεται δε το γεγονός ότι όποια ανθρωπογενής δραστηριότητα, κυρίως τις Καθημερινές, στο συγκεκριμένο σταθμό επηρεάζει αρκετά τα επίπεδα συγκέντρωσης ρύπων. Στο σταθμό Π2 οι διακυμάνσεις είναι σε μικρότερο ποσοστό, σε σχέση με τον Π1, με μεγαλύτερες αυτές των EC , OC και NO_3^- . Η κίνηση των οχημάτων επηρεάζει και την συγκεκριμένη περιοχή περισσότερο τις καθημερινές. Οι τιμές των υπόλοιπων ρύπων γύρω από τη μονάδα δείχνουν μια πιο εδραιωμένη ρυθιγόνα κατάσταση με υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων ανεξάρτητα με την ημέρα. Το ίδιο ισχύει και με το κλάσμα των PM_1 στο συγκεκριμένο σταθμό (Σχήμα 4.14 β). Τα θειικά ιόντα εμφανίζονται ελαφρώς πιο αυξημένα τις καθημερινές στο κλάσμα των $PM_{2.5}$, εκτός του κλάσματος των PM_1 .



Σχήμα 4.14 α)



Σχήμα 4.14 β)

Σχήμα 4.14: Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.14 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 4.14 β)

Εκτός των βασικών ιόντων που υπολογίστηκαν όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπολογίστηκε και το κατιόν του Na^+ (Πίνακας 4.10), με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στην §3.2, η οποία τον ανέδειξε στις τελευταίες θέσεις αναφορικά της συνεισφοράς του στη συνολική μάζα των αερολυμάτων.

Πίνακας 4.10: Υπολογισμός Μέσης, Μέγιστης και Ελάχιστης Τιμής, Τυπικής Απόκλισης και Ποσοστού Συμμετοχής στη Συνολική Μάζα των Σωματιδίων του Κατιόντος του Na^+

	Π1 PM _{2.5}	Π2 PM _{2.5}	Π3 PM _{2.5}	Π2 PM ₁	Π3 PM ₁
Μέση Τιμή	0.12	0.25	0.14	0.07	0.14
max	0.37	0.95	0.22	0.21	0.17
min	0.02	0.03	0.07	0.01	0.11
stdev	0.10	0.22	0.05	0.07	0.05
Ποσοστό Συμμετοχής (%)	0.36	0.68	0.36	0.27	0.36
Θέση Κατάταξης	9	9	9	9	8

4.1.2.1 Χημική Σύσταση - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

Σχετική με την επεξεργασία των δεδομένων κατά τη διάρκεια των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα μας δείχνουν χαμηλότερες τιμές στις μέσες τιμές του άνθρακα (OC και EC) σε σύγκριση με την απουσία τέτοιων επεισοδίων. Παρατηρείται αύξηση στις μέσες τιμές των SO_4^{2-} (εκτός του κλάσματος των PM₁ στον Π3) ενώ τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) εμφανίζουν αύξηση στα PM_{2.5} στους σταθμούς Π1, Π2 και μείωση στους υπόλοιπους. Το χλωρίδιο (Cl^-) εμφανίζει πτωτική τάση μόνο στο κλάσμα των PM₁ (Πίνακας 4.11). Παρατηρούμε σταθερά μικρότερη διακύμανση στις τιμές του OC (εκτός του σταθμού Π3 στα PM₁) και σταθερά μεγαλύτερη στο λόγο OC/EC και στα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}). Τα εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} και Mg^{2+} παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια τέτοιων επεισοδίων.

Σε κάθε περιοχή και κλάσμα, σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα αερολύματα βρέθηκαν να αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από OC ακολουθούμενο από SO_4^{2-} και στη συνέχεια από NO_3^- ($OC > SO_4^{2-} > NO_3^-$), εκτός του σταθμού Π2 στα PM₁ σχετικά με τα νιτρικά ιόντα, ενώ το Mg^{2+} βρίσκεται σταθερά τελευταίο (Πίνακας 4.12). Παρατηρούμε ότι τόσο στη απουσία όσο και παρουσία φαινομένων μεταφοράς σκόνης, τα ανθρωπογενή ιόντα κυριαρχούν.

Σχετικά με το ποσοστό συμμετοχής της κάθε ένωσης στη μάζα των σωματιδίων (Σχήμα 4.15), παρατηρούμε σταθερά μεγαλύτερα ποσοστά, σε σχέση με τις ανεπηρέαστες ημέρες, στα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) και στα ιόντα του χλωρίου (Cl^-). Το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη σύσταση των σωματιδίων εξακολουθεί να έχει την ίδια τάξη μεγέθους και στα δύο μετρούμενα κλάσματα, γεγονός που εμπνέει ανησυχία. Τα ανεβασμένα επίπεδα θειικών ιόντων στο σταθμό Π2 πιθανολογείται να οφείλονται, εκτός των άλλων, και στη μεταφορά από το ρυπογόνο Θριάσιο Πεδίο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

λόγο και των Δυτικών ανέμων που έπνεαν (κατά μεγαλύτερο ποσοστό) καθ' όλη τη διάρκεια των επεισοδίων σκόνης (Σχήμα 4.16).

Πίνακας 4.11: Συνολική Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση και Εύρος Τιμών για τις Μετρούμενες Χημικές Ενώσεις στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

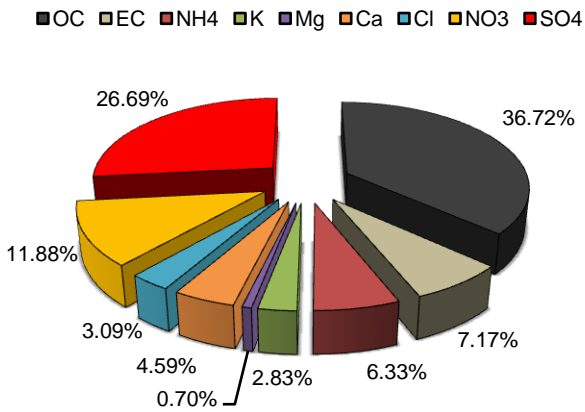
Π1 PM2.5	<i>mass</i>	<i>OC</i>	<i>EC</i>	<i>OC/EC</i>	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Μέση Τιμή	26.21	4.60	0.90	5.65	0.79	0.36	0.09	0.58	0.39	1.49	3.35
max	69.65	21.06	3.26	38.67	1.97	0.74	0.53	1.00	1.80	4.74	9.37
min	11.11	1.50	0.18	2.77	0.09	0.22	0.04	0.14	0.03	0.37	1.17
stdev	14.97	4.17	0.63	5.48	0.56	0.15	0.08	0.17	0.38	0.99	1.96
range	58.54	19.57	3.08	35.89	1.88	0.52	0.49	0.86	1.77	4.37	8.20
Π2 PM2.5											
Μέση Τιμή	33.22	5.64	1.42	5.77	0.79	0.36	0.15	1.12	1.13	2.70	3.73
max	80.38	18.85	4.23	104.71	2.35	0.57	0.65	4.08	7.34	9.65	9.08
min	14.32	1.91	0.18	2.15	0.09	0.13	0.04	0.45	0.08	0.75	1.09
stdev	15.86	4.43	0.84	14.78	0.57	0.13	0.12	0.72	1.42	1.65	1.81
range	66.06	16.93	4.05	102.56	2.26	0.44	0.61	3.64	7.26	8.91	8.00
Π3 PM2.5											
Μέση Τιμή	42.41	7.73	1.36	6.79	0.71	0.41	0.12	0.86	0.71	1.99	3.47
max	121.22	14.49	2.88	24.87	1.68	1.10	0.31	1.76	1.86	5.99	8.85
min	19.34	2.41	0.16	3.07	0.07	0.08	0.05	0.52	0.15	0.83	1.16
stdev	28.14	3.34	0.70	4.32	0.49	0.29	0.07	0.37	0.50	1.15	2.15
range	101.87	12.08	2.71	21.79	1.61	1.01	0.26	1.24	1.71	5.16	7.69
Π2 PM1											
Μέση Τιμή	18.93	4.13	1.12	4.00	0.58	0.35	0.05	0.66	0.17	1.02	2.63
max	52.14	14.03	4.06	18.45	1.69	0.55	0.33	0.96	1.19	4.48	6.02
min	8.21	1.26	0.16	2.28	0.08	0.22	0.03	0.47	0.02	0.17	0.90
stdev	11.58	3.29	0.86	2.45	0.36	0.10	0.05	0.20	0.19	0.94	1.31
range	43.93	12.77	3.91	16.17	1.60	0.33	0.30	0.49	1.17	4.31	5.11
Π3 PM1											
Μέση Τιμή	20.67	3.18	0.65	5.32	1.07	0.18	0.08	0.55	0.24	1.11	2.35
max	42.07	6.51	1.79	11.49	1.32	0.34	0.15	0.93	0.44	4.93	5.45
min	11.29	1.23	0.25	2.02	0.82	0.07	0.04	0.46	0.06	0.33	1.01
stdev	8.64	1.55	0.36	2.06	0.35	0.09	0.04	0.17	0.13	1.13	1.28
range	30.78	5.28	1.55	9.47	0.50	0.27	0.12	0.46	0.38	4.61	4.44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.12: Κατάταξη Μετρούμενων Χημικών Ενώσεων (Βάσει της Μέσης Τιμής) στα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 για τους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

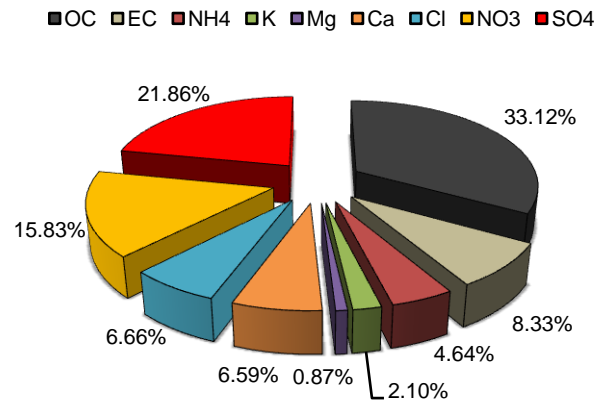
	Π1 $PM_{2.5}$		Π2 $PM_{2.5}$		Π3 $PM_{2.5}$		Π2 PM_1		Π3 PM_1	
1	OC	4.60	OC	5.64	OC	7.73	OC	4.13	OC	3.18
2	SO_4^{2-}	3.35	SO_4^{2-}	3.73	SO_4^{2-}	3.47	SO_4^{2-}	2.63	SO_4^{2-}	2.35
3	NO_3^-	1.49	NO_3^-	2.70	NO_3^-	1.99	EC	1.12	NO_3^-	1.11
4	EC	0.90	EC	1.42	EC	1.36	NO_3^-	1.02	NH_4^+	1.07
5	NH_4^+	0.79	Cl^-	1.13	Ca^{2+}	0.86	Ca^{2+}	0.66	EC	0.65
6	Ca^{2+}	0.58	Ca^{2+}	1.12	Cl^-	0.71	NH_4^+	0.58	Ca^{2+}	0.55
7	Cl^-	0.39	NH_4^+	0.79	NH_4^+	0.71	K^+	0.35	Cl^-	0.24
8	K^+	0.36	K^+	0.36	K^+	0.41	Cl^-	0.17	K^+	0.18
9	Mg^{2+}	0.09	Mg^{2+}	0.15	Mg^{2+}	0.12	Mg^{2+}	0.05	Mg^{2+}	0.08

Π1 $PM_{2.5}$



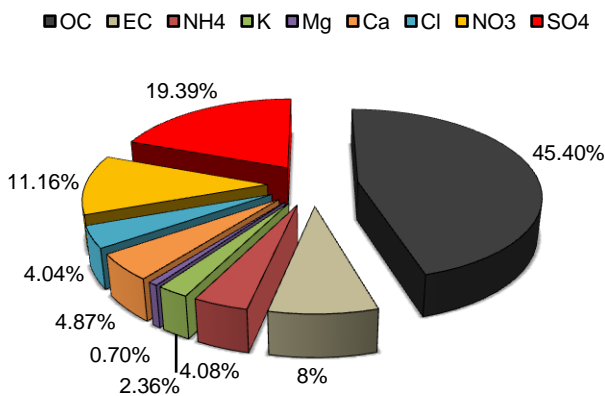
Σχήμα 4.15 α)

Π2 $PM_{2.5}$



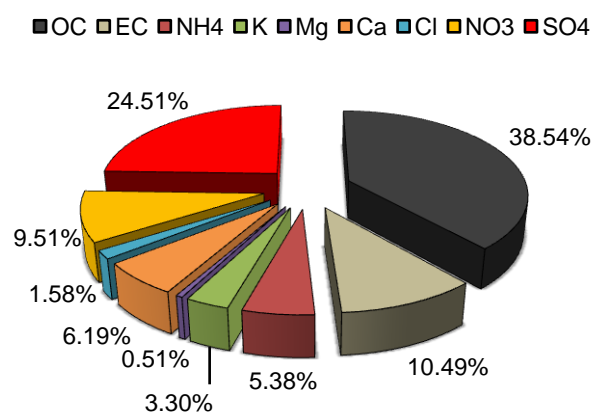
Σχήμα 4.15 β)

Π3 $PM_{2.5}$

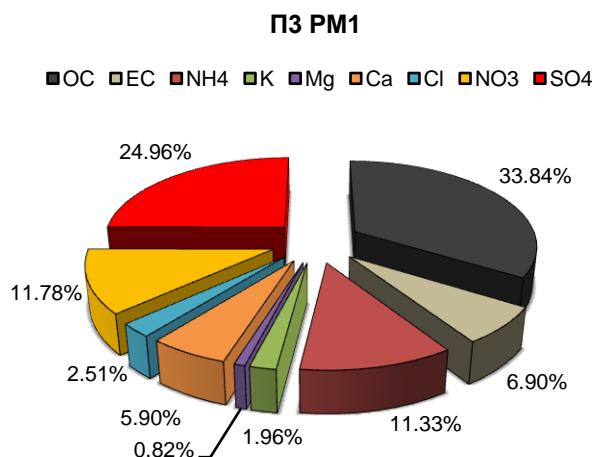


Σχήμα 4.15 γ)

Π2 PM_1

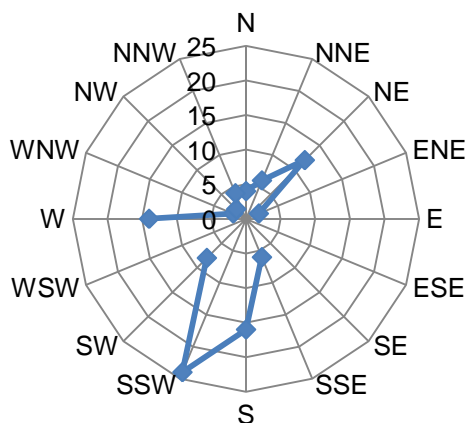


Σχήμα 4.15 δ)



Σχήμα 4.15 ε)

Σχήμα 4.15: Ποσοστό Συμμετοχής της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.16: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Ανέμων κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης στην Περίοδο Δειγματοληψίας.

Η μάζα των αερολυμάτων εμφανίζεται λιγότερο συσχετισμένη με τις χημικές ενώσεις από τις οποίες αποτελούνται (Πίνακας 4.13) σε σχέση με τις αντίστοιχες ημέρες χωρίς αερομεταφερόμενη σκόνη καθώς παρατηρούμε από ασήμαντου ως σημαντικούς συντελεστές συσχέτισης. Βάσει του συγκεκριμένου γεγονότος, πιθανολογούμε τόσο την εκπομπή από τοπικές πηγές αλλά και την επιβάρυνση της σωματιδιακής μάζας από φαινόμενα μεταφοράς κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων επεισοδίων, ενώ φαίνεται να είναι πιο επιβαρυνμένη η ατμόσφαιρα κατά τις ανεπηρέαστες ημέρες. Σε καμία περίπτωση δεν φαίνεται η μάζα των αερολυμάτων να αποτελείται από θειικά ιόντα κατά τη διαδικασία εκπομπής. Τα συγκεκριμένα ιόντα όπως και κατά τις ανεπηρέαστες ημέρες εμπλουτίζουν τη μάζα των σωματιδίων κατά τη συνέχεια είτε από φαινόμενα μεταφοράς είτε από άλλα φαινόμενα. Παρατηρούμε ότι το μικρότερο κλάσμα στο σταθμό Π3, είναι ισχυρά θετικά συσχετισμένο με τα θειικά ιόντα, μολίβο το οποίο δεν ακολουθείται από το μεγαλύτερο κλάσμα. Τα φαινόμενα μεταφοράς επηρεάζουν σε μικρότερο ποσοστό τα επεισόδια σκόνης (Πίνακας 4.14) σε σχέση με τις ανεπηρέαστες ημέρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.13: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Καθώς και Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (**COD**) για τα Νιτρικά και Θειικά Ιόντα στις Περιοχές Δειγματοληψίας τις Ημέρες με Παρουσία Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

PM_{2.5}	Π1	Π2	Π3	PM₁	Π2	Π3
OC - PM _x	0.90	0.66	0.05		0.97	0.32
EC - PM _x	0.67	0.42	-0.46		0.80	0.22
NH ₄ ⁺ - PM _x	0.55	0.35	0.56		0.69	-1.00
K ⁺ - PM _x	0.83	0.66	0.76		0.78	0.89
Mg ²⁺ - PM _x	0.27	0.18	0.54		-0.12	0.44
Ca ²⁺ - PM _x	-0.06	0.56	0.38		-0.70	0.51
Cl ⁻ - PM _x	0.23	0.26	0.44		0.55	0.59
NO ₃ ⁻ - PM _x	0.83	0.64	0.15		0.88	0.72
SO ₄ ²⁻ - PM _x	0.43	0.43	0.01		0.41	0.72
OC - EC	0.78	0.69	0.65		0.88	0.77
NO ₃ ⁻ - SO ₄ ²⁻	0.59	0.62	0.72		0.51	0.77
	0.44	0.26	0.29		0.56	0.47

Πίνακας 4.14: Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (**COD**) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων στις Περιοχές Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα PM_{2.5} και PM₁

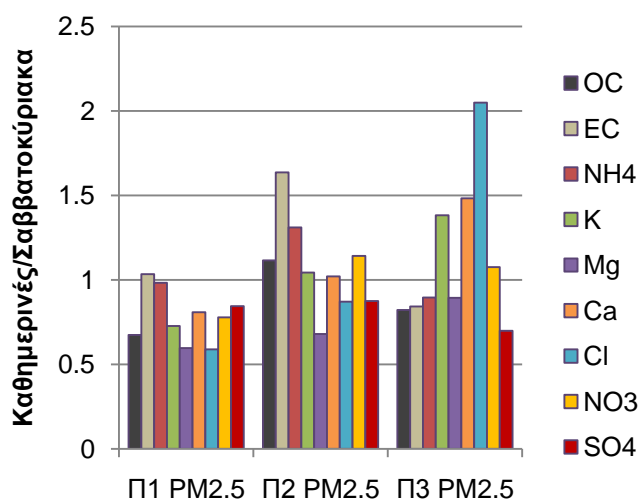
PM_{2.5}	Π1 - Π2	Π1 - Π3	Π2 - Π3	PM₁	Π2 - Π3
OC	0.74	0.15	0.18		0.07
	0.21	0.46	0.37		0.29
EC	0.36	0.14	0.22		0.43
	0.33	0.41	0.34		0.29
NH ₄ ⁺	0.87	0.93	0.77		
	0.22	0.20	0.33		0.14
K ⁺	0.84	0.52	0.01		
	0.11	0.25	0.33		0.15
Mg ²⁺	0.19	0.24	0.23		-0.20
	0.27	0.29	0.30		0.37
Ca ²⁺	0.16	0.24	0.41		
	0.36	0.23	0.26		0.11
Cl ⁻	0.24	0.58	0.78		0.44
	0.48	0.48	0.27		0.45
NO ₃ ⁻	0.64	0.62	0.88		0.94
	0.35	0.25	0.23		0.22
SO ₄ ²⁻	0.90	0.83	0.91		0.86
	0.13	0.17	0.17		0.14

Φαίνεται ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μεταξύ των σταθμών επηρεάζουν ιδιαίτερα τα θειικά ιόντα και στην περίπτωση των ημερών που είναι φορτισμένες από επεισόδια σκόνης.

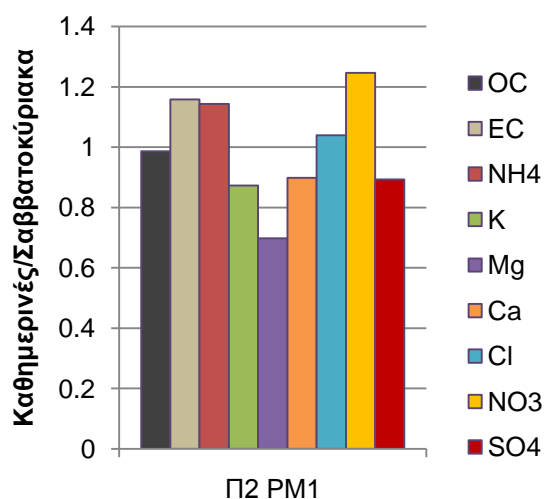
Όσον αφορά το λόγο OC/EC , παρατηρήθηκε μεγάλο εύρος τιμών (Πίνακας 4.11), λόγω και των “πολλών και καλά διασκορπισμένων πηγών άνθρακα” όπως επισημαίνεται από τους Pateraki et al. (2014) αλλά και των οργανικών ενώσεων από την μεταφερόμενη σκόνη. Παρατηρούμε σταθερά μεγαλύτερες τιμές από την οριακή τιμή 2 (Σχήμα 4.17 α), ενδεικτικό του σχηματισμού δευτερογενώς παραγόμενου οργανικού άνθρακα (Khoder and Hassan 2008). Η τάξη μεγέθους του λόγου είναι παρόμοια με τις ημέρες χωρίς τέτοια επεισόδια, εκτός από τις ημέρες στο Σαββατοκύριακο στους σταθμούς Π1, Π2 στο κλάσμα των $PM_{2.5}$.

Η επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών είναι εμφανής από το δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} , ο οποίος εμφανίζεται σταθερά μικρότερος της μονάδας (Σχήμα 4.17 β), υποδεικνύει την επικράτηση των σημειακών πηγών (θειικά ιόντα) έναντι των κινητών (νιτρικά ιόντα). Η συγκεκριμένη επικράτηση είναι μεγαλύτερη από εκείνη κατά τη διάρκεια απουσίας επεισοδίων σκόνης (λόγος μικρότερος του 0.5 στις περισσότερες περιπτώσεις). Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα μας δίνει την πληροφορία ότι οι αέριες μάζες είναι πλούσιες στις όξινες θειικές ενώσεις. Στη συνολική εκτίμηση, ο κεντρικός σταθμός Π2 εμφανίζεται περισσότερο επηρεασμένος από την κίνηση των οχημάτων.

Ο επικίνδυνος όξινος χαρακτήρας (Σχήμα 4.17 γ) επιβεβαιώνεται για όλους τους σταθμούς (εκτός του Π2 στα $PM_{2.5}$) με πολύ υψηλότερα ποσοστά από τις ανεπηρέαστες ημέρες και μεγαλύτερα ποσοστά στα PM_1 . Τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης φαίνεται να επηρεάζουν πολύ αρνητικά, σχετικά με την ανθρώπινη υγεία, την ατμόσφαιρα αυξάνοντας αρκετά τον όξινο χαρακτήρα των αερολυμάτων. Ενώ σχετικά με τη διακύμανση των συγκεντρώσεων του λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα (Σχήμα 4.18) εμφανίζεται αντεστραμμένη σε γενικές γραμμές από τις ανεπηρέαστες ημέρες, με την επικράτηση των υψηλότερων συγκεντρώσεων κατά το Σαββατοκύριακο στις περισσότερες χημικές ενώσεις. Η πολυπλοκότητα και η έλλειψη κοινής τάσης οφείλεται και στον πολύπλοκο χαρακτήρα των αιωρούμενων σωματιδίων.



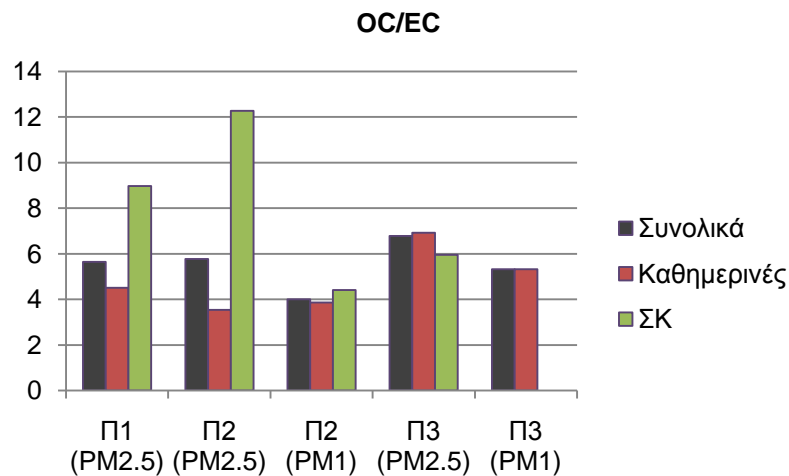
Σχήμα 4.18 α)



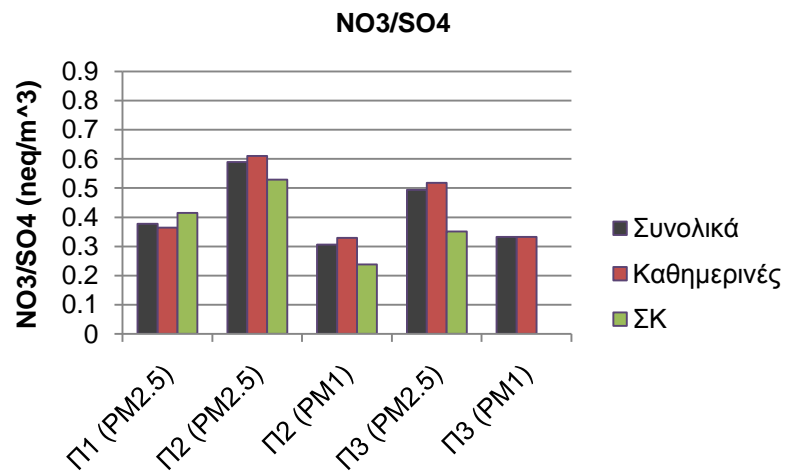
Σχήμα 4.18 β)

Σχήμα 4.18: Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.18 α) και PM_1 (Σχήμα 4.18 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

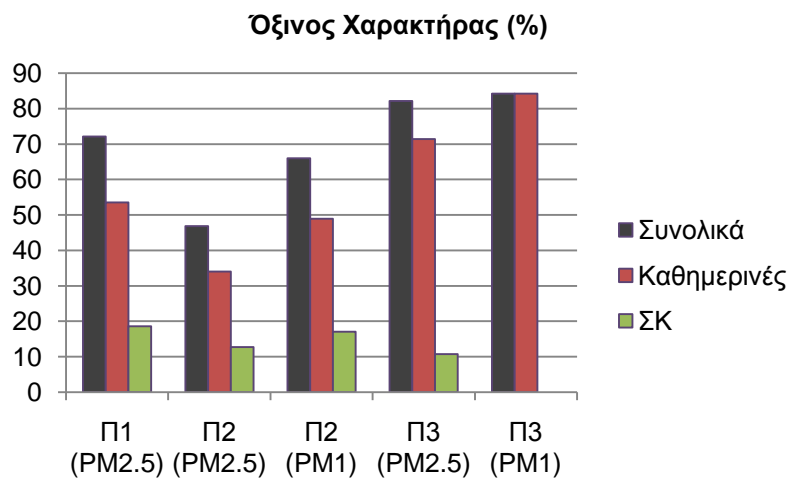
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.17 α)



Σχήμα 4.17 β)



Σχήμα 4.17 γ)

Σχήμα 4.17: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.23 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.23 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.23 γ) Ανάμεσα σε Καθημερινές-Σαββατοκύριακα τους Σταθμούς Δειγματοληψίας.

4.2 Αιωρούμενα Σωματίδια και Μετεωρολογία

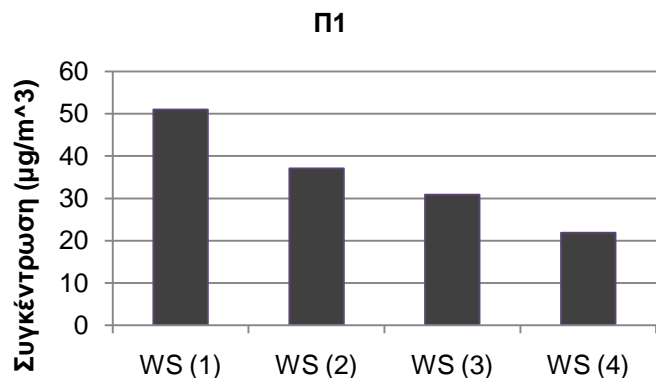
Ο ρόλος της συνεισφοράς την επικρατούσας μετεωρολογίας τόσο στα επίπεδα των συγκεντρώσεων, στο ποσοστό των υπερβάσεων αλλά και στη μεταβολή της χημικής σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων έχει αναλυθεί τόσο από ερευνητές της Ελλάδας και του εξωτερικού και έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα εργασία. Οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο και στην αλληλεπίδραση κα ανταλλαγή αερίων μαζών (μέσω φαινομένων μεταφοράς) και σε απομακρυσμένες περιοχές. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση των στατιστικών εργαλείων που έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει και στις προηγούμενες παραγράφους, στα πλαίσια της κατηγοριοποίησης τόσο των επιφανειακών ανέμων (§3.2, Πίνακας 3.3) όσο και των βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων (§3.2, Πίνακας 3.4). Οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων είναι μέσες ημερήσιες από τη στιγμή που και οι συγκεντρώσεις των αερολυμάτων είναι ημερήσιες, ενώ το ποσοστό των υπερβάσεων (%) υπολογίζεται βάσει της θεσμοθετημένης οριακής τιμής, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), αναφορικά με τα $\text{PM}_{2.5}$ και βάσει του μισού της συγκεκριμένης τιμής ($12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τα PM_1 . Οι βασικές μετεωρολογικές παράμετροι που μελετούμε είναι η ταχύτητα του ανέμου, η διεύθυνση του, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και οι επιφανειακοί άνεμοι.

4.2.1 Συγκεντρώσεις

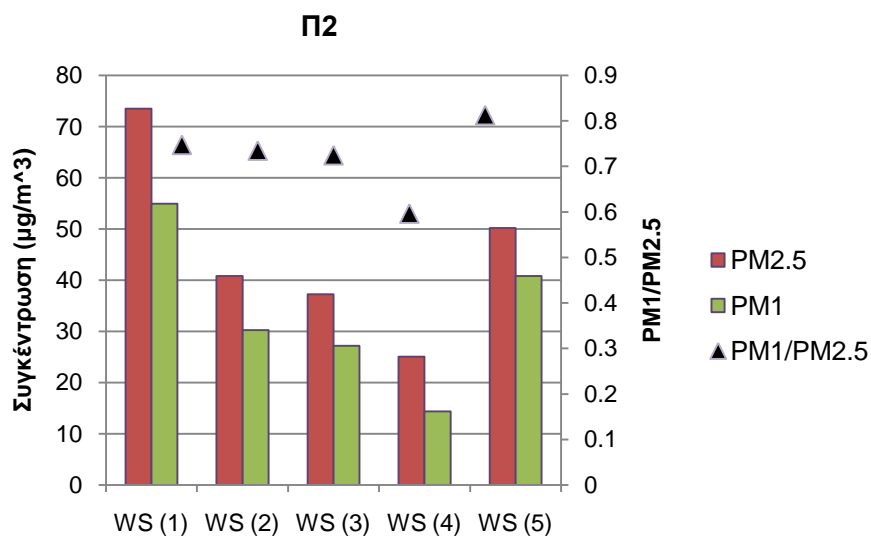
Σχετικά με τις μετεωρολογικές παραμέτρους και πιο συγκεκριμένα με την ταχύτητα του ανέμου (WS), η επικράτηση ισχυρών οριζόντιων ανέμων όσο και η ατμοσφαιρική αστάθεια ευνοούν τις διαδικασίες ανάμειξης (καθαρισμού της ατμόσφαιρας) άρα ευνοείται η μείωση των συγκεντρώσεων των σωματιδίων, σε αντίθετη περίπτωση προκαλείται συσσώρευση τους και αύξηση των συγκεντρώσεων τους. Σε κάθε περίπτωση, οι λίγες ημέρες δειγματοληψίας στο σταθμό Π3 στο κλάσμα των PM_1 , δε μας αφήνουν να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα. Η αναμενόμενη αρνητική συσχέτιση (R) της ταχύτητας του ανέμου με τη μάζα των αερολυμάτων κυμαίνεται από -0.52 μέχρι -0.30 γεγονός που οφείλεται στις διαδικασίες ανάμειξης που προκαλούνται με την αύξηση των τιμών της παραμέτρου και την επαγόμενη μείωση της μάζας των αερολυμάτων.

Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων (Σχήμα 4.19) παρουσιάζονται πάντα αυξημένες κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων. Η μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με τη μέση συνολική συγκέντρωση παρουσιάζεται για ταχύτητες $\leq 1.34 \text{m/s}$, το γεγονός αυτό αναδεικνύει και το ρόλο των τοπικών πηγών στην αύξηση των συγκεντρώσεων. Η αύξηση είναι περίπου 22.02% (σταθμός Π1), 33.67% (σταθμός Π2 στα $\text{PM}_{2.5}$), 10.34% (σταθμός Π3 στα $\text{PM}_{2.5}$), 36.19% (σταθμός Π2 στα PM_1) και 8.01% (σταθμός Π3 στα PM_1). Πτωτική τάση παρουσιάζεται στις συγκεντρώσεις καθώς αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου μέχρι τα 3.89m/s (εκτός του σταθμού Π3 στα $\text{PM}_{2.5}$). Πολύπλοκη εικόνα εμφανίζεται στο σταθμό Π2 και στα δύο κλάσματα καθώς παρατηρούμε αύξηση των συνολικών μέσων συγκεντρώσεων της τάξης των 15.84% στα $\text{PM}_{2.5}$ και 22.64% στα PM_1 αναφορικά με την 5^η κατηγορία ($3.89 < \text{WS} \leq 4.81$) πιθανολογώντας διαδικασίες μεταφοράς των ρύπων καθώς οι Βόρειοι άνεμοι στη διάρκεια εκείνων των ημερών βοηθούν στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Σχετικά με τη συνεισφορά των μικρότερων σωματιδίων στα $\text{PM}_{2.5}$, δηλαδή στο λόγο $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ παρουσιάζεται αυξημένη η συνεισφορά των PM_1 στα $\text{PM}_{2.5}$ σε κάθε περίπτωση. Ο λόγος παρουσιάζεται σταθερά πάνω από 0.6 (από 0.60-0.81 στον Π2 και 0.68-0.96 στον Π3) αναδεικνύοντας την ενίσχυση του σχηματισμού των μικρότερων σωματιδίων στη μάζα των $\text{PM}_{2.5}$. Σε γενικές γραμμές, ο σταθμός Π1 (Σχήμα 4.19 α) εμφανίζει την αναμενόμενη εικόνα ενώ στους σταθμούς Π2, Π3 (Σχήμα 4.19 α, β) παρουσιάζεται πιο πολύπλοκη εικόνα σχετικά με τις συγκεντρώσεις και το λόγο $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ των αερολυμάτων.

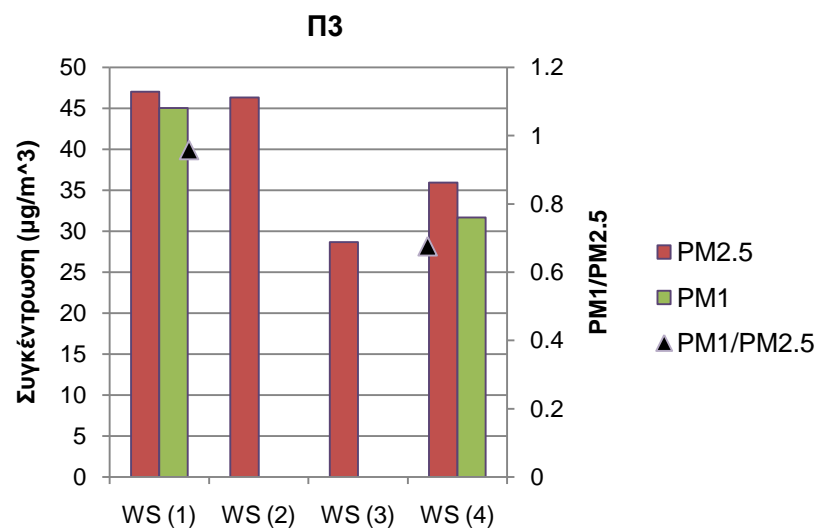
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.19 α)



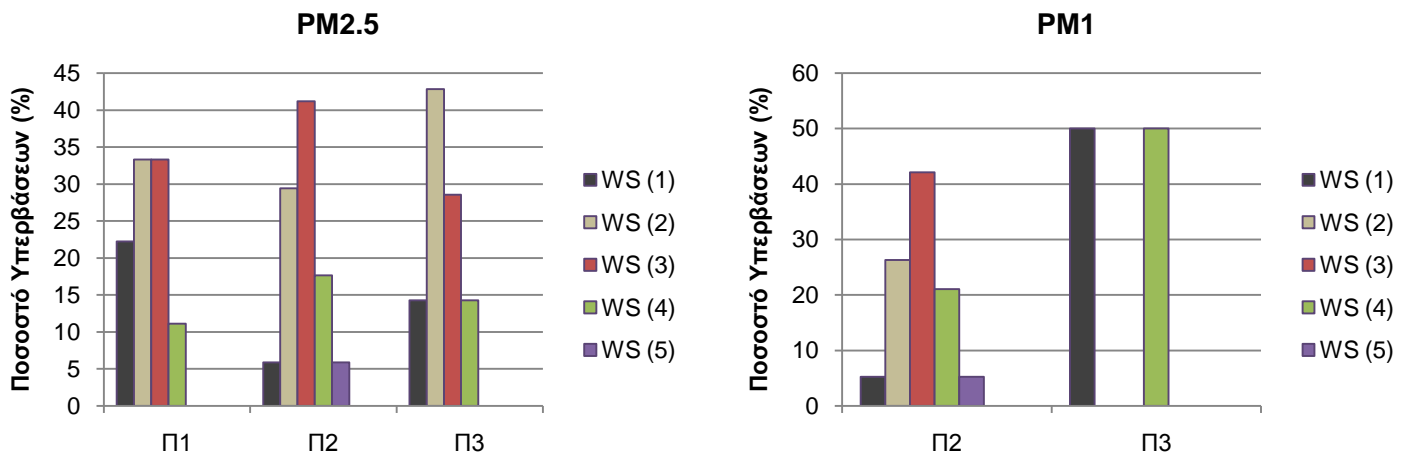
Σχήμα 4.19 β)



Σχήμα 4.19 γ)

Σχήμα 4.19: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.19 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.19 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.19 γ)

Εκτός του επιπέδου και της αύξησης των συγκεντρώσεων, είναι σημαντικό να μελετήσουμε και το κατά πόσον αυτές υπερβαίνουν τα θεσμοθετημένα (για τα $PM_{2.5}$) όρια. Για τα PM_1 , χρησιμοποιούμε το μισό του ορίου που υπάρχει για τα $PM_{2.5}$ (δηλαδή τα $12.5 \mu g/m^3$). Το ποσοστό των υπερβάσεων (Σχήμα 4.20) εμφανίζεται αυξημένο στις κατηγορίες 2 και 3 ($1.34 m/s < WS \leq 3.04 m/s$) καθώς και στην κατηγορία 4 (σταθμός Π3 στα PM_1). Δεν επιβεβαιώνεται όμως η αναμενόμενη εικόνα με τις μεγαλύτερες υπερβάσεις για ταχύτητες $\leq 1.34 m/s$ (1^η κατηγορία). Το παραπάνω γεγονός αναδεικνύει τα γεγονότα ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις έχουν τοπικό χαρακτήρα.



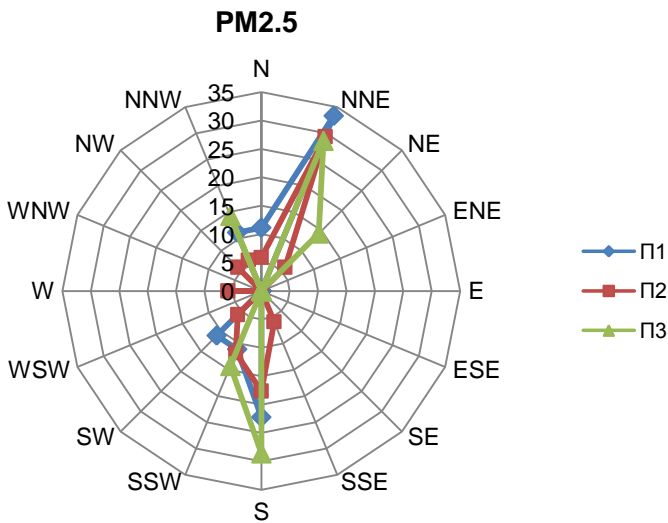
Σχήμα 4.20 α)

Σχήμα 4.20 β)

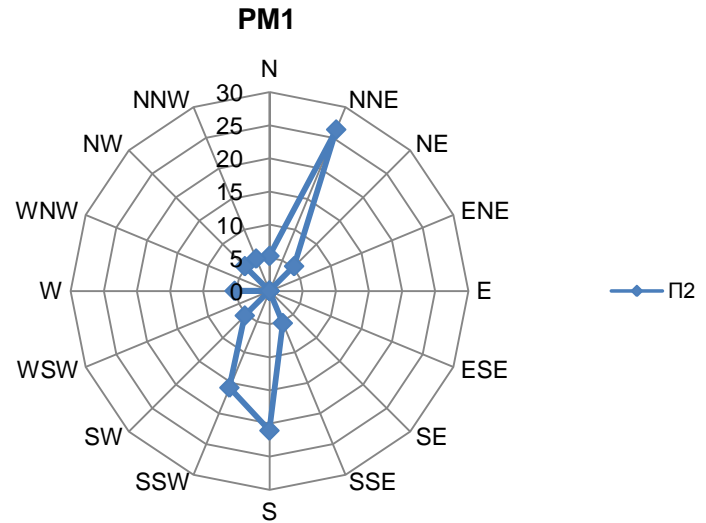
Σχήμα 4.20: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.20 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.20 β).

Εκτός της ταχύτητας του ανέμου, μελετούμε και τη συνεισφορά της διεύθυνσης του στις αυξημένες τιμές των συγκεντρώσεων. Αναφορικά με τη διεύθυνση του ανέμου, μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται όταν επικρατούν BBA (NNE) άνεμοι ακολουθούμενοι από Νότιους (S) (Σχήμα 4.21). Υπενθυμίζουμε ότι η διεύθυνση με το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης (Σχήμα 4.12) είναι η Νότια (S). Άρα η επικρατέστερη διεύθυνση δεν ταυτίζεται με τη διεύθυνση που εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά υπερβάσεων αλλά ακολουθείται η τάση των περισσότερων υπερβάσεων να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια S και NNE ανέμων. Σε κάθε περίπτωση όμως φαίνεται να ευνοούνται οι υψηλότερες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεις με την επικράτηση των ρυπασμένων Νότιων ανέμων.

Σχετικά με τη δεύτερη μετεωρολογική παράμετρο που μελετάμε, δηλαδή τη θερμοκρασία (T), γνωρίζουμε ότι λόγω και της έντονης φωτοχημείας και των μετασχηματισμών των αιωρούμενων σωματιδίων (που αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από θειικά ιόντα) ευνοείται η αύξηση της συγκέντρωσης τους κατά τις πιο θερμές ημέρες. Από τη στιγμή όμως που βρισκόμαστε στην ψυχρή περίοδο και η μέγιστη μετρούμενη μέση θερμοκρασία είναι $18.8^\circ C$ παρουσιάζεται πιο πολύπλοκη εικόνα με τα αντίθετα συμπεράσματα. Σε κάθε περίπτωση, οι λίγες ημέρες δειγματοληψίας στο σταθμό Π3 στο κλάσμα των PM_1 , δε μας αφήνουν να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα.



Σχήμα 4.21 α)



Σχήμα 4.21 β)

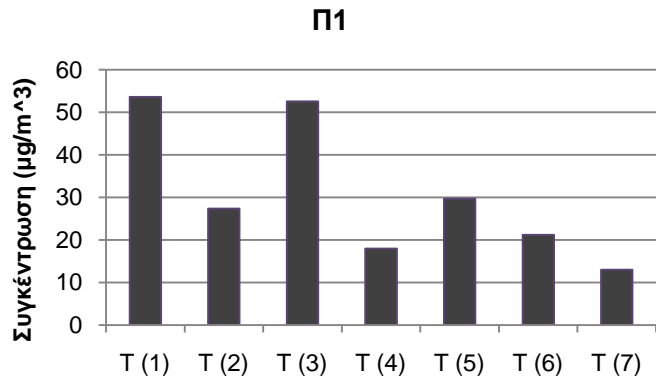
Σχήμα 4.21: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Ανάλογα με τη Συνιστώσα του Ανέμου στα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.21 α) και στα PM_1 (Σχήμα 4.21 β).

Σχετικά με το συντελεστή συσχέτισης (R) της μάζας των αερολυμάτων με τη θερμοκρασία, εμφανίζεται αρνητικός σε κάθε περίπτωση καθώς παίρνει τιμές από -0.62 μέχρι -0.03.

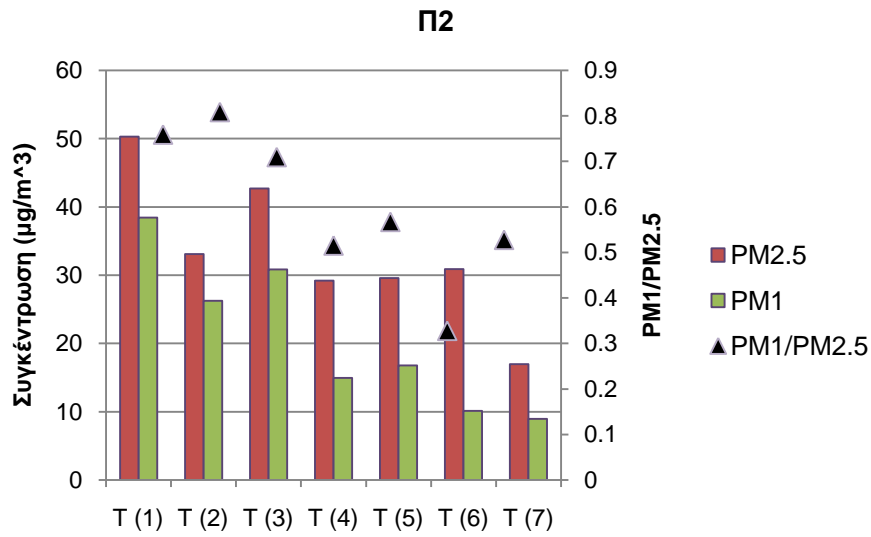
Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις παρουσιάζεται πολύπλοκη εικόνα (Σχήμα 4.22) στα μετρούμενα σωματίδια καθώς παρατηρείται μια γενικότερη τάση μείωσης των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων με την αύξηση της τιμής της παραμέτρου. Πιο σύνθετη εικόνα παρουσιάζεται στο σταθμό Π3. Αυξημένες συγκεντρώσεις, πάνω από τα όρια της μέσης συγκέντρωσης των σωματιδίων, στον κάθε σταθμό παρατηρούνται για τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με τις μέσες συγκεντρώσεις παρατηρούνται για θερμοκρασίες $\leq 10^{\circ}C$ σε όλους τους σταθμούς. Η αύξηση σχετικά με τα $PM_{2.5}$ είναι περίπου 24.37% στο σταθμό Π1, 15.93% στο σταθμό Π2 και 15.17% στον Π3. Στο σταθμό Π2 στα PM_1 είναι στα 19.79%. Στο σταθμό Π2, ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ εμφανίζεται μεγαλύτερος του 0.6 για τιμές της παραμέτρου $\leq 13^{\circ}C$ ευνοώντας το σχηματισμό των δευτερογενών σωματιδίων, ενώ για θερμοκρασίες $> 13^{\circ}C$ φαίνεται να ευνοούνται οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής λεπτών σωματιδίων. Στο σταθμό Π3 φαίνεται να ευνοούνται οι δευτερογενείς πηγές σε κάθε περίπτωση, καθώς τα PM_1 φαίνεται να καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη μάζα των $PM_{2.5}$. Δε φαίνεται να ευνοείται από τις υψηλότερες θερμοκρασίες η αύξηση της συνεισφοράς των μικρότερων σωματιδίων (PM_1) στη μάζα των $PM_{2.5}$. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε τάση μείωσης των συγκεντρώσεων αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου της θερμοκρασίας, συμπεριφορά την οποία ακολουθεί και ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$.

Το ποσοστό των υπερβάσεων (%) (Σχήμα 4.23) εμφανίζει μεγαλύτερη αύξηση για θερμοκρασίες $\leq 11.5^{\circ}C$ (κατηγορίες 1 και 2) σε όλους τους σταθμούς, εκτός της πολύπλοκης εικόνας του σταθμού Π3 στα PM_1 .

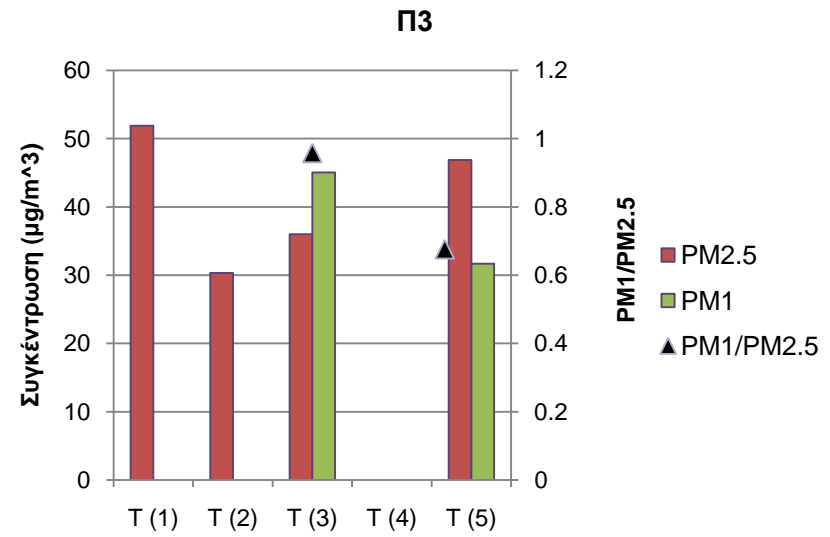
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.22 α)

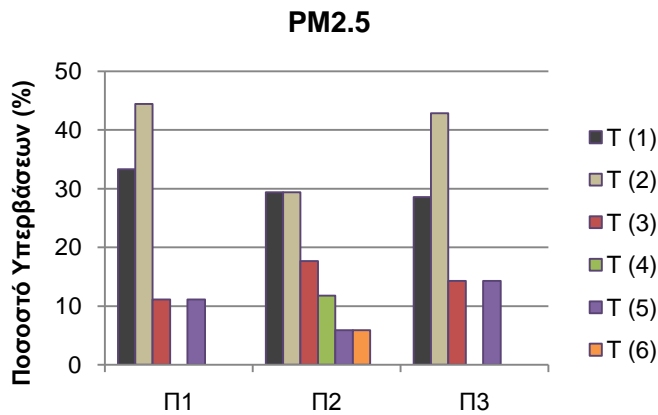


Σχήμα 4.22 β)

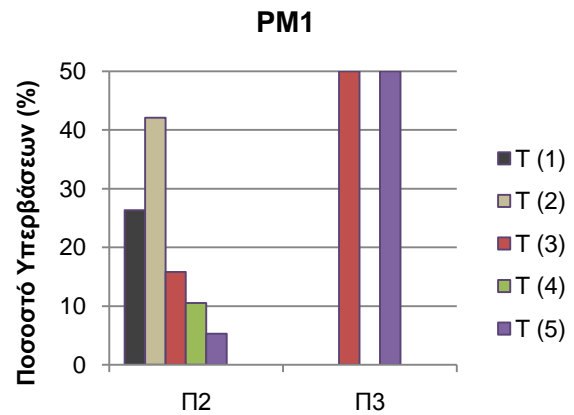


Σχήμα 4.22 γ)

Σχήμα 4.22: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.22 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.22 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.22 γ)



Σχήμα 4.23 α)

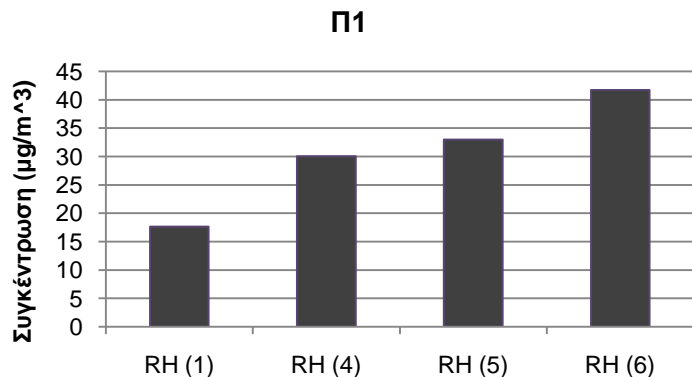


Σχήμα 4.23 β)

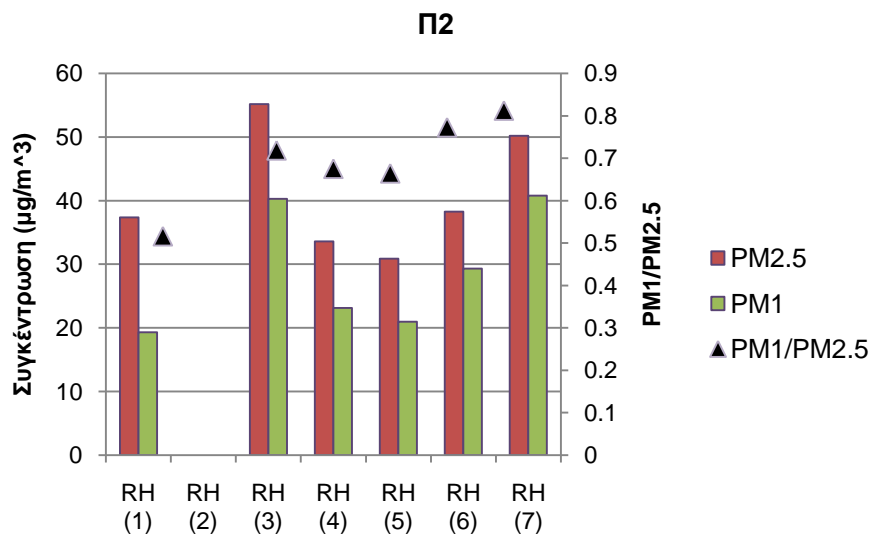
Σχήμα 4.23: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα των PM_{2.5} (Σχήμα 4.23 α) και των PM₁ (Σχήμα 4.23 β).

Όσον αφορά τη μετεωρολογική παράμετρο της σχετικής υγρασίας (RH), παρουσιάζεται πολύπλοκη εικόνα (Σχήμα 4.24) εκτός του σταθμού Π1 όπου οι συγκεντρώσεις αυξάνονται καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία. Στο συγκεκριμένο σταθμό παρουσιάζεται η μεγαλύτερη συσχέτιση ($R=0.34$) μεταξύ της μάζας των σωματιδίων και της σχετικής υγρασίας. Σε κάθε άλλη περίπτωση η συσχέτιση (R) εμφανίζεται από ασθενής μέχρι μέτρια αρνητική (τιμές από 0.10 μέχρι -0.30). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται για σχετική υγρασία $46\% < RH \leq 66\%$ (κατηγορίες 3 και 4) ακολουθούμενες από $RH > 76\%$ (κατηγορίες 6 και 7). Πιο συγκεκριμένα, στο σταθμό Π1 η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετρήθηκε για σχετική υγρασία $76\% < RH \leq 86\%$ (6^η κατηγορία) με αύξηση περίπου 12.28% της μέσης συγκέντρωσης του σταθμού. Στο σταθμό Π2, στο κλάσμα των PM_{2.5}, η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε για $46\% < RH \leq 56\%$ (3^η κατηγορία) με διαφορά 20.40%, ακολουθούμενη από την 7^η κατηγορία ($RH > 86\%$) με διαφορά 15.84% από τη μέση συγκέντρωση του σταθμού. Κοινή τάση και στα PM₁ του συγκεκριμένου σταθμού με τη μέγιστη συγκέντρωση μετρούμενη όταν επικρατούσε η 7^η κατηγορία με διαφορά 22.64% και η 3^η κατηγορία 22.04% από τη μέση συγκέντρωση. Στο σταθμό Π3 στα PM_{2.5} η μεγαλύτερη συγκέντρωση μετριέται στην 4^η κατηγορία ($56\% < RH \leq 66\%$) με διαφορά 17.06% από τη μέση συγκέντρωση του σταθμού. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ εμφανίζεται πάνω από το 0.6 για όλες της κατηγορίες και σταθμούς ευνοώντας το δευτερογενή σχηματισμό σωματιδίων. Αντίθετη εικόνα στο σταθμό Π2 αναφορικά με την 1^η κατηγορία ($RH \leq 36\%$) που φαίνεται να ευνοούνται οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής λεπτόκοκκων σωματιδίων. Σε γενικές γραμμές, παρατηρούμε αυξητικές τάσεις της συγκέντρωσης των αερολυμάτων αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου για το σταθμό Π1 ενώ παρατηρούνται αυξομειώσεις στους σταθμούς Π2, Π3 τόσο στα μετρούμενα κλάσμα όσο και στο λόγο τους.

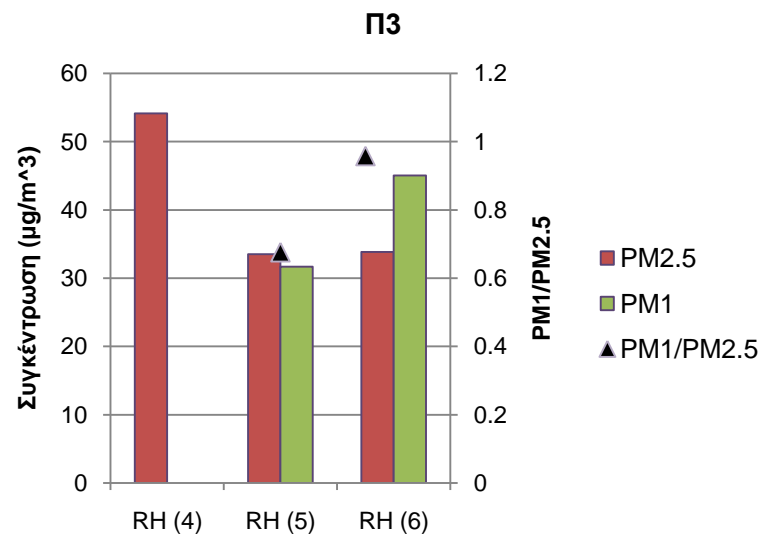
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 2.24 α)



Σχήμα 4.24 β)

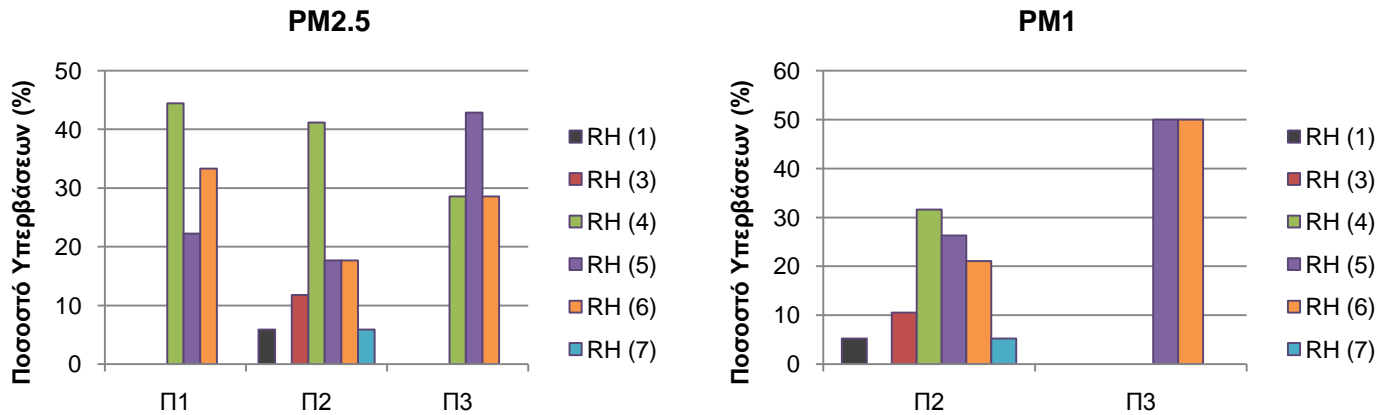


Σχήμα 4.24 γ)

Σχήμα 4.24: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.24 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.24 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.24 γ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το ποσοστό των υπερβάσεων πάνω από τα όρια που έχουμε ήδη αναφέρει και παραπάνω (Σχήμα 4.25), παρουσιάζει αύξηση κατά τη διάρκεια επικράτησης της 2^{ης} κατηγορίας ($36\% < RH \leq 46\%$) στους σταθμούς Π1 και Π2 (και στα δύο κλάσματα) ενώ στο σταθμό Π3 κατά τη διάρκεια της 5^{ης} ($66\% < RH \leq 76\%$).

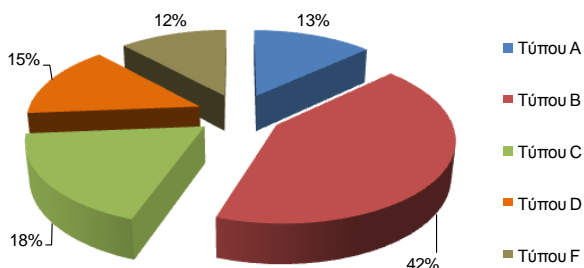


Σχήμα 4.25 α)

Σχήμα 4.25 β)

Σχήμα 4.25: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.25 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.25 β).

Βάσει της κατηγοριοποίησης των επιφανειακών ανέμων, όπως αναφέρθηκε και την §3.2, η συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορίας στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.26. Γνωρίζουμε ότι το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά και ανακατανομή των αέριων ρύπων από τον ρυπογόνο Νότιο τομέα στο Βόρειο και αντίστροφα (Chaloulakou et al. 2005; Grivas et al. 2012) κυρίως κατά τους θερινούς μήνες. Επίσης γνωρίζουμε ότι “το συγκεκριμένο φαινόμενο επηρεάζει περιοχές που βρίσκονται στην ενδοχώρα και απέχουν ακόμα και 100-120km από τις παραθαλάσσιες περιοχές” όπως αναφέρουν οι Pateraki et al. (2014). Άρα κατά τη διάρκεια τέτοιων φαινομένων αναμένονται υψηλές συγκεντρώσεις. Σε κάθε περίπτωση, οι λίγες ημέρες δειγματοληψίας στο σταθμό Π3 στο κλάσμα των PM_1 , δε μας αφήνουν να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα.

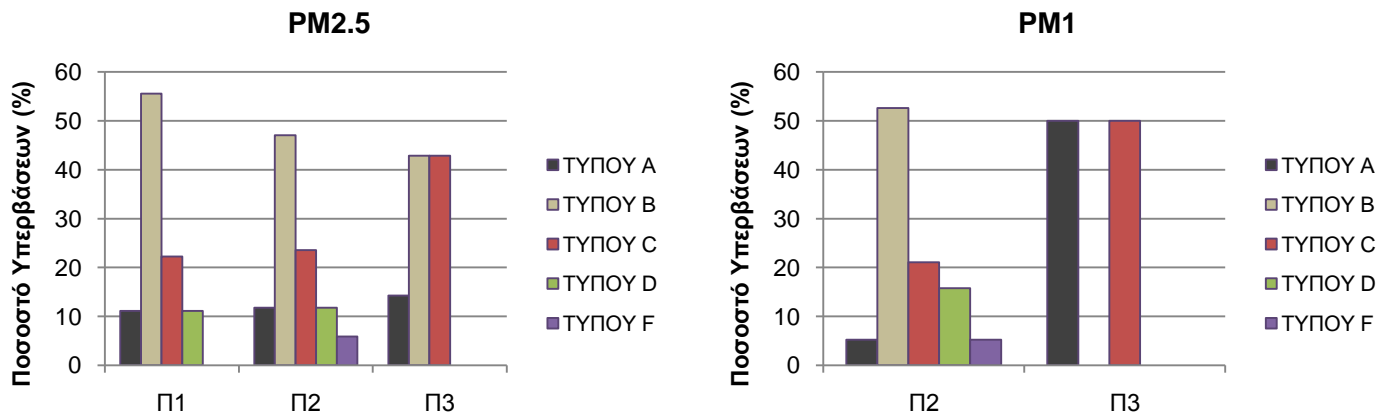


Σχήμα 4.26: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Επιφανειακών Ανέμων (A: Αδιατάραχτη Θαλάσσια Αύρα, B: Αλληλεπίδραση Θαλάσσιας Αύρας με Βόρειο Άνεμο, C: Βόρειος Άνεμος, D: Νότιος Άνεμος, F: Δυτικός Άνεμος) στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σχετικά με τις μέγιστες μετρούμενες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, η εικόνα είναι περίπλοκη. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (Σχήμα 4.27), στο σταθμό Π1 και Π2, παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια επικράτησης άνεμοι Τύπου C με διαφορά 15.36% (σταθμός Π1), 10.55% (σταθμός Π2 στα $PM_{2.5}$) και 12.80% (σταθμός Π2 στα PM_1) από τη μέση συγκέντρωση των σταθμών. Στο σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ παρόμοια αύξηση στις συγκεντρώσεις παρατηρούμε και κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου F. Στο σταθμό Π3, στα $PM_{2.5}$, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια επικράτησης ανέμων τύπου A με διαφορά 10.19% και στα PM_1 , σε ανέμους τύπου C με διαφορά 8.01% από τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ κυμάνθηκε από 0.45 μέχρι 0.96 αναδεικνύοντας την υπερίσχυση του μικρότερου κλάσματος με μοναδική εξαίρεση τον σταθμό Π2 στον άνεμο τύπου A όπου φαίνεται να υπερισχύουν οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής λεπτών σωματιδίων.

Σε γενικές γραμμές, ανά σταθμό μέτρησης, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια επικράτησης βόρειων ανέμων (τύπου C) ακολουθούμενες από δυτικούς ανέμους (τύπου F) και της επικράτησης αμιγούς θαλάσσιας αύρας (τύπου A). Τα ποσοστά των υπερβάσεων πάνω από τις οριακές τιμές (Σχήμα 4.28) παρουσιάζονται αυξημένα κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B δηλαδή με την παρουσία του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας, όπως ήταν αναμενόμενο. Η δεύτερη κατηγορία αύξησης του ποσοστού των υπερβάσεων παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια ανέμων βορειών ανέμων τύπου C. Συμπερασματικά μεγαλύτερες υπερβάσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με Βόρειο συνοπτικό αλλά και του αμιγώς Βορείου Ανέμου.



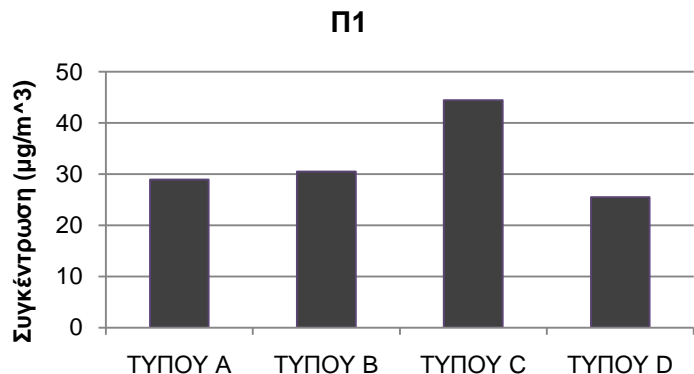
Σχήμα 4.28 α)

Σχήμα 4.28 β)

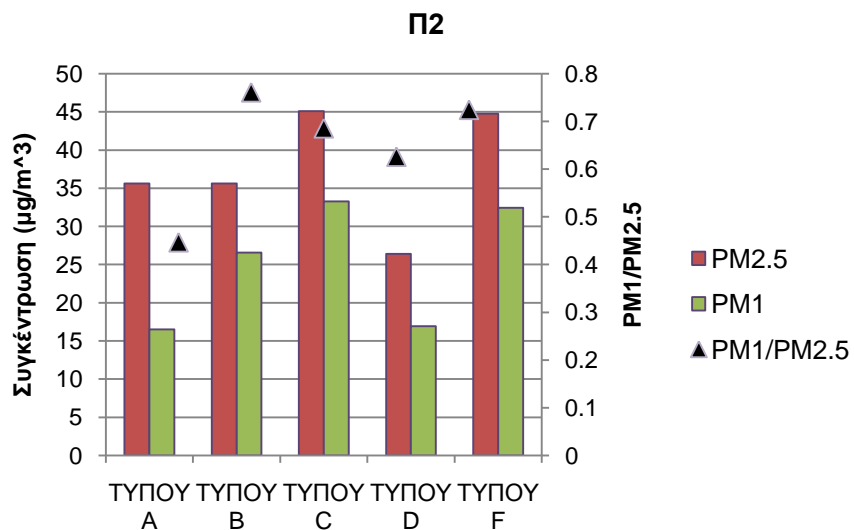
Σχήμα 4.28: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.28 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.28 β).

Παρατηρούμε ότι στο σύνολο της περιόδου δειγματοληψίας, οι μεγαλύτερες μετρούμενες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν σε όλους τους σταθμούς (εκτός από τον Π3 στα $PM_{2.5}$) στις 07/03/2013 ημέρα Καθημερινή όπου επικρατούσαν επιφανειακοί άνεμοι τύπου C (ισχυρή Βόρεια συνιστώσα ανέμου) με επικρατούσα διεύθυνση NNE. Η μέση ταχύτητα του ανέμου ήταν ελάχιστη εκείνη την ημέρα.

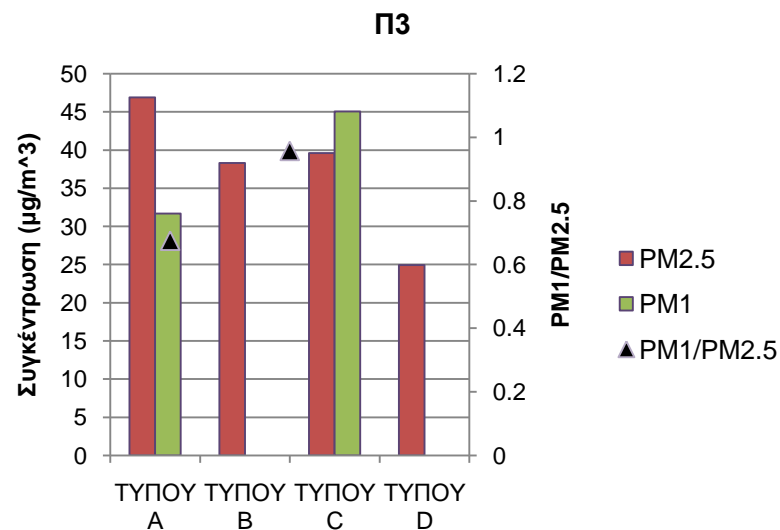
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.27 α)



Σχήμα 4.27 β)



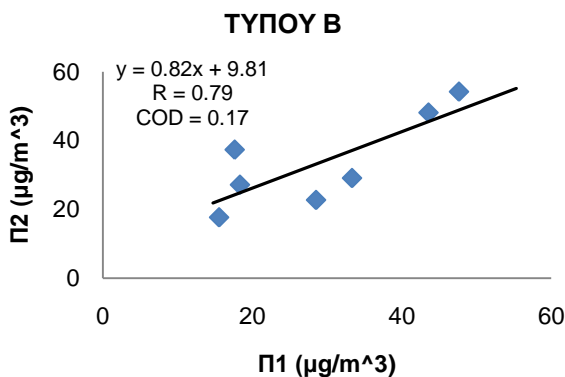
Σχήμα 4.27 γ)

Σχήμα 4.27: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.27 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.27 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.27 γ)

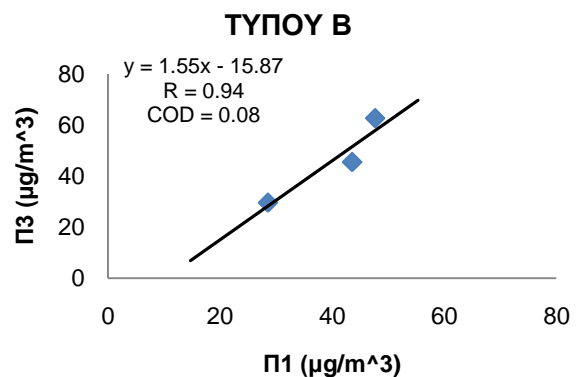
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$, ή μέγιστη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 01/03/2013 ημέρα Καθημερινή με επιφανειακούς ανέμους τύπου Β (αλληλεπίδραση θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με Βόρειο συνοπτικό άνεμο) με επικρατούσα διεύθυνση SSW. Η μέση ταχύτητα του ανέμου ήταν μικρή εκείνη την ημέρα. Σε κάθε περίπτωση, σχετικά με τις μέγιστες συγκεντρώσεις αναδείχθηκε ο καθοριστικός ρόλος των τοπικών πηγών εκπομπής. Η ελάχιστη μέση συγκέντρωση μετρήθηκε, στους σταθμούς Π1 και Π2, στις 14/04/2013, ημέρα Σαββατοκύριακου, με επιφανειακούς ανέμους τύπου C, επικρατούσα διεύθυνση την NE και μέση ταχύτητα ανέμου τα $3.29m/s$. Στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ παρατηρήθηκε στις 12/02/2013, ημέρα Καθημερινή, με επιφανειακό άνεμο τύπου Β, επικρατούσα διεύθυνση την Νότια (S) και μικρή μέση ταχύτητα ανέμου. Στο ίδιο σταθμό στα PM_1 μετρήθηκε στις 19/03/2013, ημέρα Καθημερινή, με επιφανειακούς ανέμους τύπου Α, επικρατούσα διεύθυνση την S και μέσες ταχύτητες ανέμου στα $3.76m/s$.

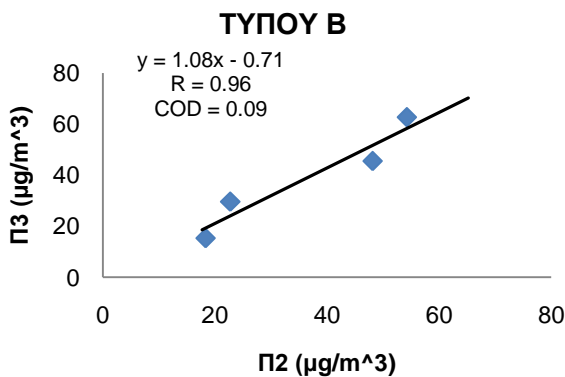
Σχετικά με τη στατιστική επεξεργασία των ημερών δειγματοληψίας, όπως έγινε και στην §4.1.1, (Σχήμα 4.29) ανάλογα με τον επιφανειακό άνεμο και ανάλογα με το αν μας το επιτρέπει ο αριθμός των δειγμάτων, η μάζα των αερολυμάτων βρέθηκε με υψηλούς συντελεστές τόσο ομοιομορφίας όσο και ομοιογένειας. Πιο συγκεκριμένα με την επικράτηση ανέμων τύπου Β, ανάμεσα στους σταθμούς Π1-Π2 και Π2-Π3, η κλίση της ευθείας προσεγγίζει τη μονάδα πιθανολογώντας την επιρροή των συγκεντρώσεων από φαινόμενα μεταφοράς. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε για τους τύπους C και D μεταξύ των σταθμών Π1-Π2. Όσον αφορά τα PM_1 , οι ελάχιστες κοινές ημέρες δειγματοληψίας δεν επιτρέπουν συσχέτιση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων.



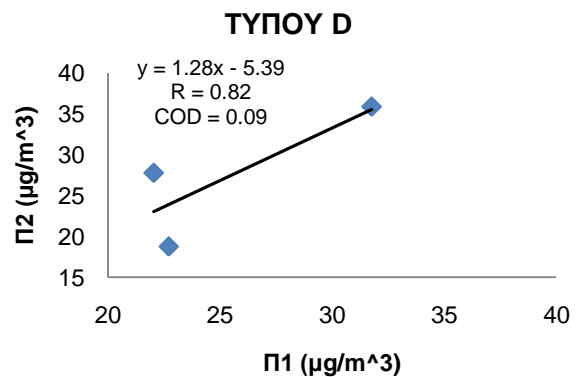
Σχήμα 4.29 α)



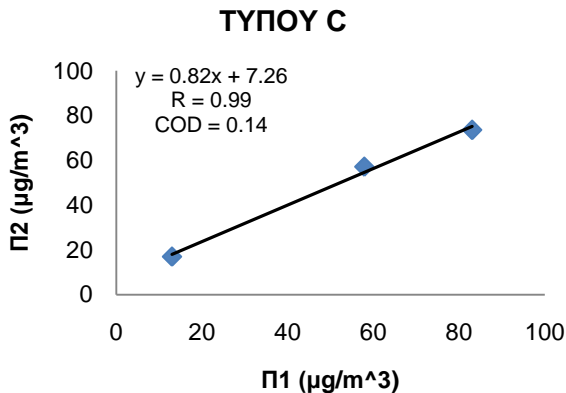
Σχήμα 4.29 β)



Σχήμα 4.29 γ)



Σχήμα 4.29 δ)



Σχήμα 4.29 ε)

Σχήμα 4.29: Διάγραμμα Συσχέτισης της Μάζας των Αερολυμάτων Αναφορικά με το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Ανάλογα με τον Επιφανειακό Άνεμο που Επικρατεί

Αξίζει να σημειωθεί σαν μια γενική παρατήρηση ότι σε όλες τις μετεωρολογικές παραμέτρους η συνεισφορά της κάθε κατηγορίας στην αύξηση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων αερολυμάτων, δεν ταυτίζεται με την κατηγορία που είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων πάνω από τις οριακές τιμές. Σε κάθε περίπτωση αναδεικνύεται ο ρόλος και των τοπικών πηγών τόσο στις υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις αλλά και στο ποσοστό των υπερβάσεων.

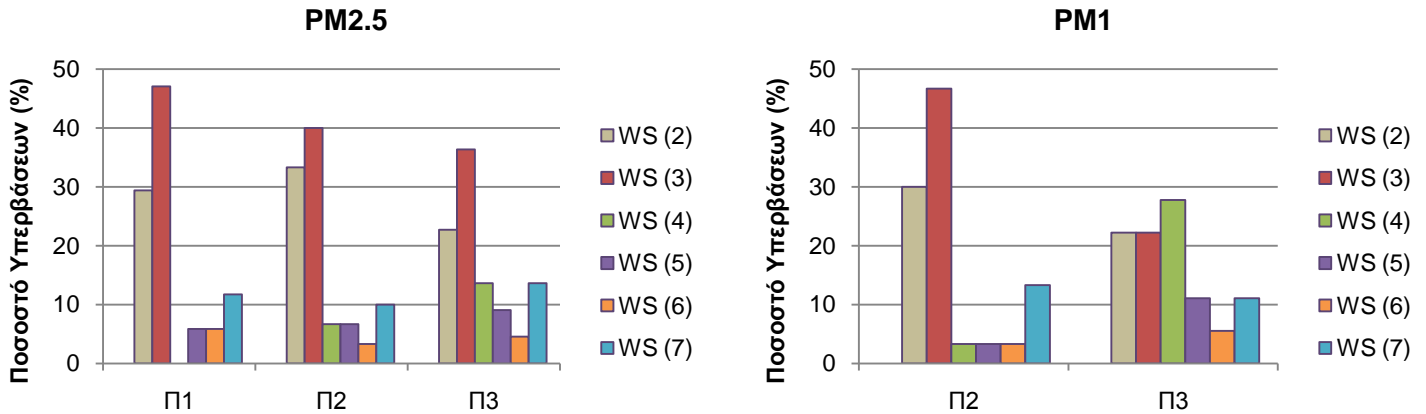
4.2.1.1 Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

Αναφορικά με τις ημέρες που είναι επηρεασμένες από επεισόδια μεταφοράς σκόνης, έγινε η ίδια επεξεργασία και παρουσιάζονται τα βασικά αποτελέσματα.

Όσον αφορά την πρώτη μετεωρολογική παράμετρο, την ταχύτητα του ανέμου (WS), οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (Σχήμα 4.30) παρουσιάζονται στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ κατά τη διάρκεια μέγιστων ταχυτήτων ($> 5.59 m/s$) με διαφορά 27.19% από τη μέση συγκέντρωση αναδεικνύοντας τα φαινόμενα μεταφοράς σαν ένα παράγοντα αύξησης των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων. Σε κάθε άλλη περίπτωση η αναμενόμενη εικόνα δείχνει τις ελάχιστες μετρούμενες ταχύτητες να είναι υπεύθυνες για τις υψηλές συγκεντρώσεις με διαφορές που κυμαίνονται από 18.84% (σταθμός Π3 στα PM_1) μέχρι 20.60% (σταθμός Π1) συγκριτικά με τις μέσες συγκεντρώσεις. Η διακύμανση του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ κυμαίνεται σε τιμές κάτω από το 0.6 σε κάθε περίπτωση αναδεικνύοντας την εύνοια της δημιουργίας των μεγαλύτερων κλασμάτων, εκτός της 6^{ης} κατηγορίας ($4.74 m/s < WS \leq 5.59 m/s$) που παίρνει τιμές 0.67 και 0.91 στους σταθμούς Π2, Π3 αντίστοιχα. Στο σταθμό Π3, παρατηρείται η τάση όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου (εκτός της 6^{ης} κατηγορίας) να αυξάνεται και η υπερίσχυση των πρωτογενών πηγών. Τα ποσοστά των υπερβάσεων (Σχήμα 4.31), εμφανίζονται αυξημένα κατά τη διάρκεια μικρών ταχυτήτων κατηγορίας 2 και 1 ($WS \leq 2.19 m/s$) ακολουθώντας την τάση των μετρούμενων σωματιδίων χωρίς επεισόδια σκόνης, εξαίρεση ο σταθμός Π3 στα PM_1 . Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι κατά τις ημέρες επικράτησης ισχυρών ανέμων 6^{ης} και 7^{ης} κατηγορίας (

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

$WS > 4.74 m/s$) οι συγκεντρώσεις είναι πιο μειωμένες (την ίδια μέρα) στο 83% των περιπτώσεων αλλά σε κάθε περίπτωση δεν υπάρχει καμία βελτίωση τις επόμενες μέρες. Η ταχύτητα του ανέμου με τη μάζα των σωματιδίων εμφανίζεται παντού αρνητικά συσχετισμένη (από -0.35 μέχρι -0.18) εκτός της ασθενούς θετικής συσχέτισης ($R=0.11$) στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ταυτίζονται στη συγκεκριμένη παράμετρο με το υψηλό ποσοστό υπερβάσεων μόνο στην περίπτωση της 2^{ης} κατηγορίας ταχύτητας του ανέμου ($1.34 m/s < WS \leq 2.19 m/s$).

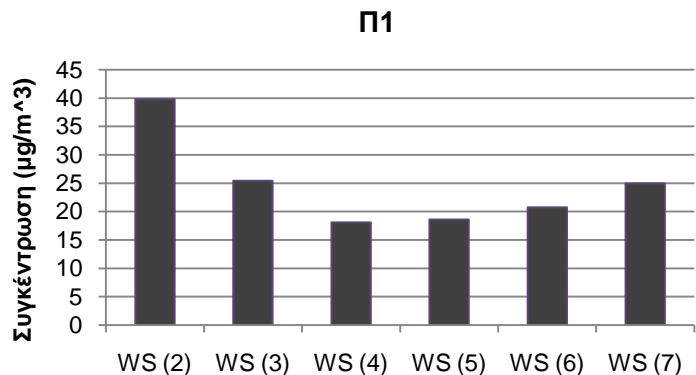


Σχήμα 4.31 α)

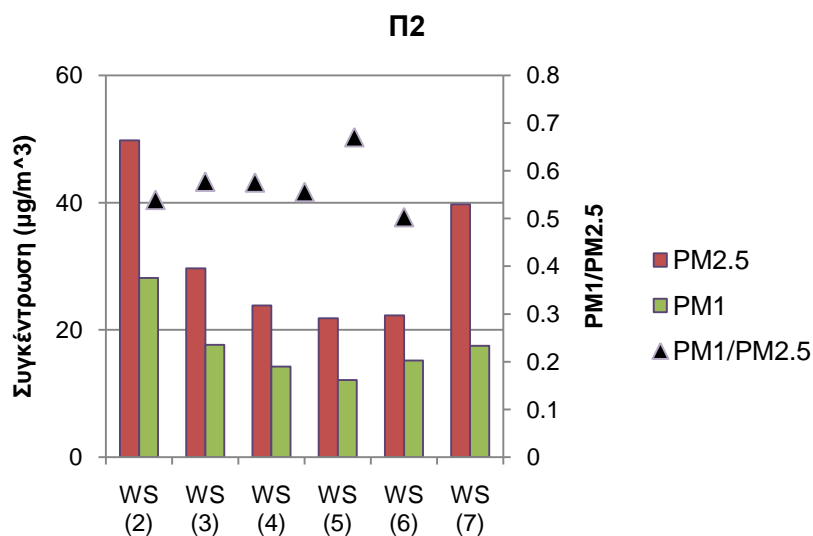
Σχήμα 4.31 β)

Σχήμα 4.31: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.31 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.31 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

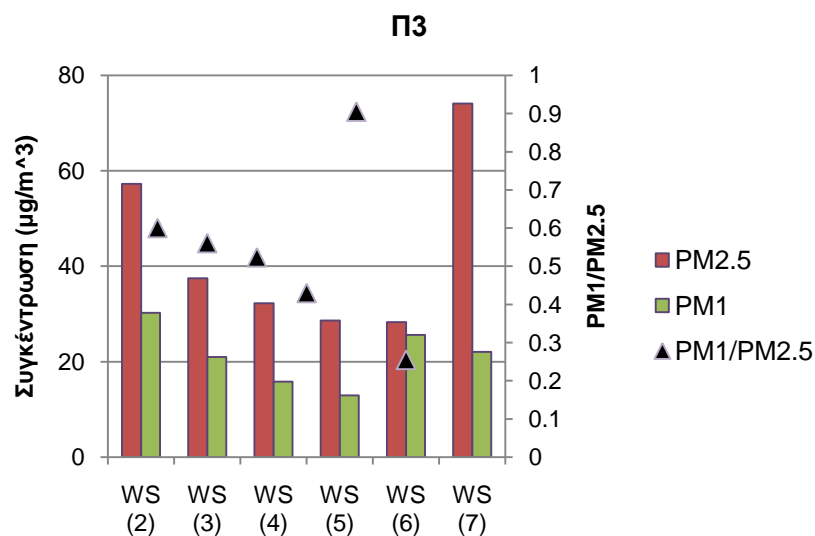
Εκτός της ταχύτητας του ανέμου, μελετάτε και η διεύθυνση του για την έρευνα οποιασδήποτε τάσης. Η επικρατέστερη διεύθυνση του ανέμου κατά τη διάρκεια επεισοδίων σκόνης (Σχήμα 4.16) είναι η ΝΝΔ (SSW) ακολουθούμενη από τη Β (S). Στους σταθμούς Π2, Π3 η διεύθυνση του ανέμου κατά τις μέγιστες υπερβάσεις (Σχήμα 4.32) ταυτίζεται με την επικρατέστερη διεύθυνση ενώ στο σταθμό Π3 το μέγιστο ποσοστό στα $PM_{2.5}$ παρατηρείται για ανέμους Νότιους (S) και ΒΑ (NE) και στα PM_1 για Δυτικούς (W), μη ταυτιζόμενο με την επικρατέστερη διεύθυνση. Σε κάθε περίπτωση γνωρίζουμε τον ρόλο της θαλάσσιας αύρας (SSW-S) στην συνεισφορά στις αυξημένες συγκεντρώσεις των αερολυμάτων καθώς μεταφέρει και ανακυκλώνει ρυπασμένες από την περιοχή του Πειραιά αέριες μάζες, άρα ευνοούνται οι υψηλότερες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεις με την επικράτηση των ρυπασμένων Νότιων ανέμων. Επιπλέον γνωρίζουμε ότι οι SSW-S άνεμοι σχετίζονται με θερμοκρασιακές αναστροφές, μεταφέροντας θερμότερες αέριες μάζες από την Νοτιοανατολική Μεσόγειο, οδηγώντας στην παγίδευση των ρυπασμένων μαζών.



Σχήμα 4.30 α)

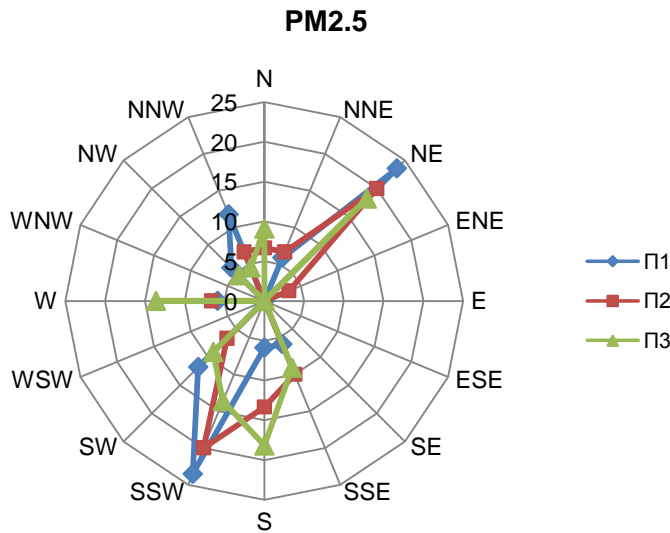


Σχήμα 4.30 β)

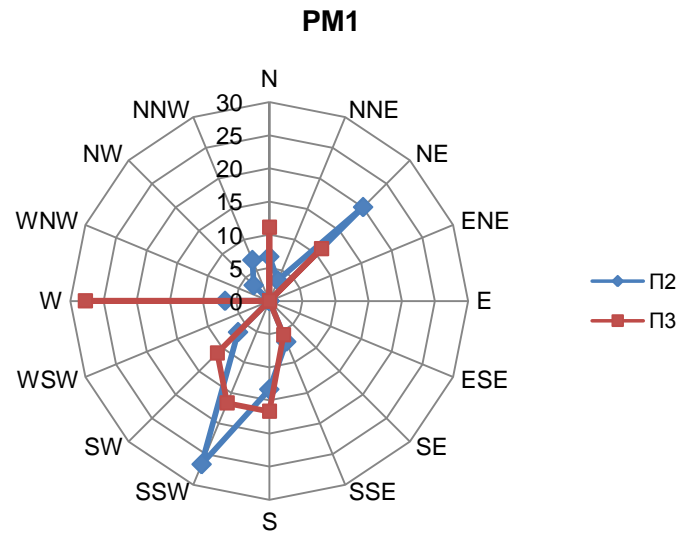


Σχήμα 4.30 γ)

Σχήμα 4.30: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.30 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.30 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.30 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



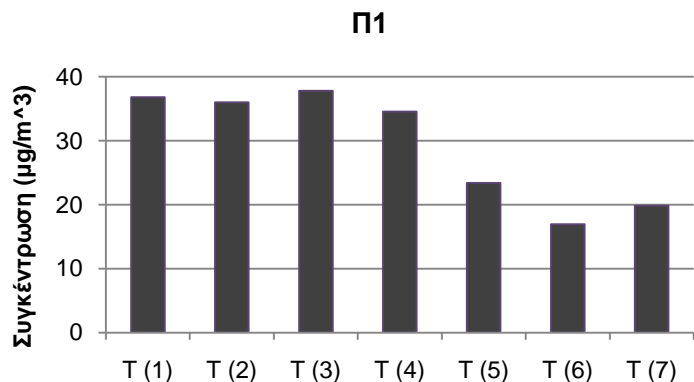
Σχήμα 4.32 α)



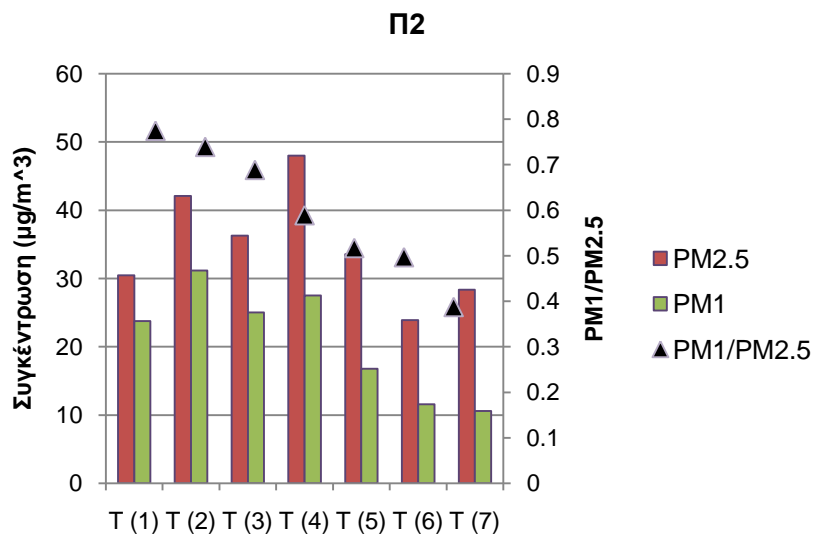
Σχήμα 4.32 β)

Σχήμα 4.32: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Ανάλογα με τη Συνιστώσα του Ανέμου στα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.32 α) και στα PM_1 (Σχήμα 4.32 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

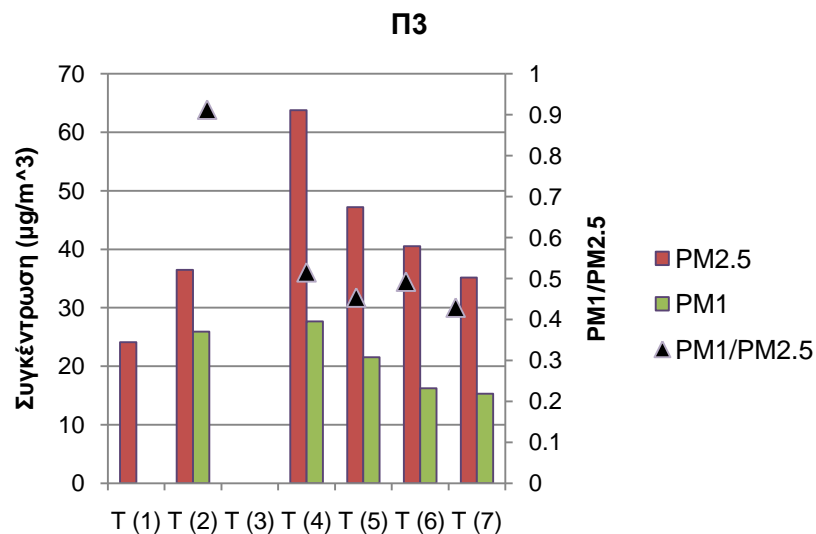
Αναφορικά με τη δεύτερη παράμετρο που μελετάμε, τη θερμοκρασία (T), η μάζα των σωματιδίων εμφανίζεται ασυσχέτιστη με τη συγκεκριμένη παράμετρο (η τιμή του R είναι από -0.27 μέχρι -0.55) με μοναδική θετική συσχέτιση στην περίπτωση του Π3 στα $PM_{2.5}$ ($R=0.01$). Σχετικά με τις συγκεντρώσεις (Σχήμα 4.33), από την κατηγορία 4 ($13^{\circ}C < T \leq 14.5^{\circ}C$) και για μεγαλύτερες θερμοκρασίες, παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων σε κάθε περίπτωση. Παρόμοια μείωση παρατηρήσαμε και κατά τη διάρκεια απουσίας τέτοιων φαινομένων για τους σταθμούς Π1 και Π2 και στα δύο κλάσματα. Η μέγιστη συγκέντρωση στα $PM_{2.5}$, εμφανίζεται στο σταθμό Π3 στην 4^η κατηγορία με διαφορά 20.10% από τη μέση συγκέντρωση του σταθμού. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ μειώνεται σε κάθε σταθμό αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου της θερμοκρασίας εμφανίζοντας τάση υπερίσχυσης του σχηματισμού των μεγαλύτερων σωματιδίων για θερμοκρασίες $T > 13^{\circ}C$ ακολουθώντας κοινή τάση με τις ημέρες χωρίς επεισόδια μεταφοράς σκόνης. Δε φαίνεται να ευνοείται η υπερίσχυση του σχηματισμού των μικρότερων σωματιδίων από τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Υψηλότερο ποσοστό υπερβάσεων (Σχήμα 4.34) παρατηρούμε σε κάθε περίπτωση (εκτός του Π1) για θερμοκρασίες $14.5^{\circ}C < T \leq 16^{\circ}C$ (5^η κατηγορία) ακολουθούμενο από τη 2^η κατηγορία ($10^{\circ}C < T \leq 11.5^{\circ}C$). Παρατηρούμε κοινή τάση όσον αφορά τη 2^η κατηγορία με τις ανεπηρέαστες από τη σκόνη ημέρες και διαφοροποίηση σχετικά με την 5^η κατηγορία. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ταυτίζονται με το υψηλό ποσοστό υπερβάσεων στην περίπτωση του Π2 για θερμοκρασίες της 2^{ης} κατηγορίας ($1.34m/s < WS \leq 2.19m/s$) ενώ στο σταθμό Π3 μόνο στην περίπτωση της 5^{ης} κατηγορίας ($14.5^{\circ}C < T \leq 16^{\circ}C$).



Σχήμα 4.33 α)

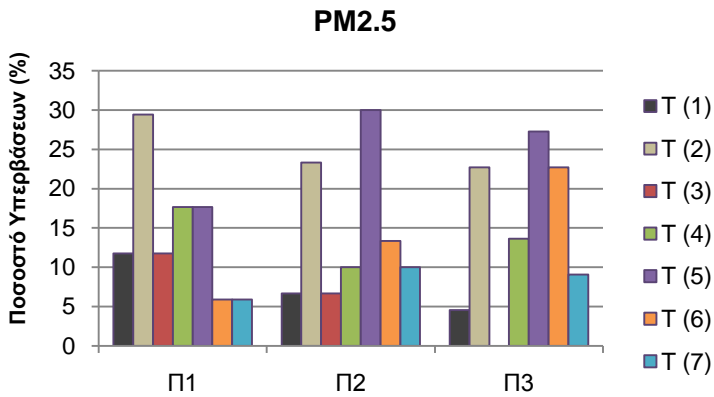


Σχήμα 4.33 β)

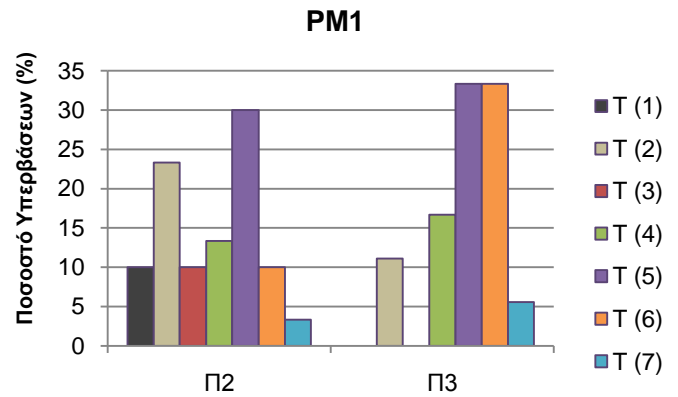


Σχήμα 4.33 γ)

Σχήμα 4.33: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.33 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.33 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.33 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.34 α)



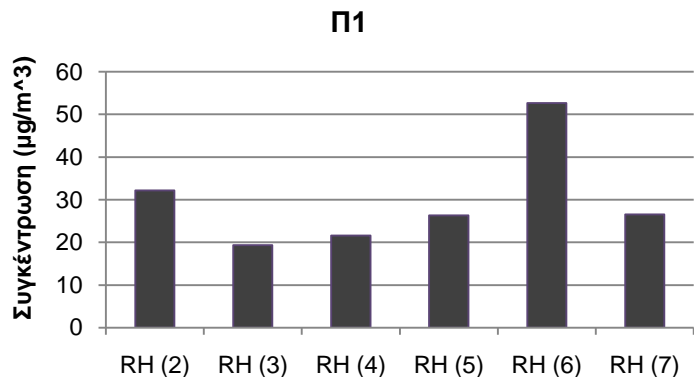
Σχήμα 4.3 β)

Σχήμα 4.34: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.34 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.34 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

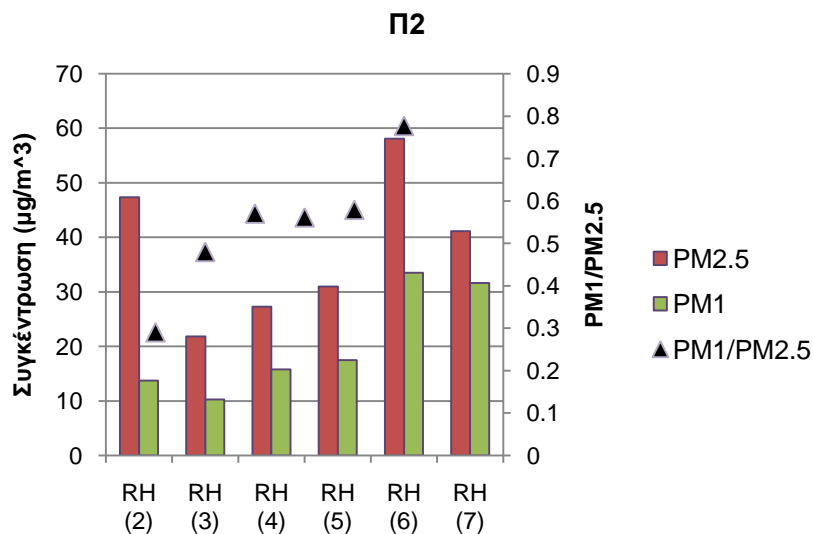
Αναφορικά με τη μετεωρολογική παράμετρο της σχετικής υγρασίας (RH) (Σχήμα 4.35), η μεγαλύτερη διαφορά (μεγαλύτερη στο σύνολο της μελέτης της επικρατούσας μετεωρολογίας) παρουσιάζεται κατά η διάρκεια επικράτησης της 2^{ης} κατηγορίας ($36\% < RH \leq 46\%$) και είναι 44.85% από τη μέση συγκέντρωση. Η τάση υψηλών συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια επικράτησης της 6^{ης} κατηγορίας ($76\% < RH \leq 86\%$) αλλά και της 7^{ης} ($RH > 86\%$) κατηγορίας (στο σταθμό Π2) είναι κοινή και με την απουσία επεισοδίων σκόνης. Στο ίδιο σταθμό αντίθετη συμπεριφορά παρατηρείται και κατά τη διάρκεια υγρασίας ($46\% < RH \leq 56\%$) καθώς έχουμε τις μικρότερες συγκεντρώσεις σε αντίθεση με τις καθαρότερες από σκόνη ημέρες που παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Η συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τη σχετική υγρασία παρουσιάζεται παντού μέτρια θετική (από 0.40 μέχρι 0.49) με εξαίρεση το σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ ($R = -0.18$). Σχετικά με το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ παρατηρούμε ότι με την αύξηση της σχετικής υγρασίας υπάρχει τάση επικράτησης των πρωτογενών πηγών έναντι του δευτερογενούς σχηματισμού των λεπτών σωματιδίων, τάση που ακολουθούσαν τα αερολύματα και τις καθαρότερες ημέρες. Αυξημένες υπερβάσεις (Σχήμα 4.36) παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της 4^{ης} και 5^{ης} κατηγορίας ($56\% < RH \leq 76\%$). Οι υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις, δεν ταυτίζονται με το υψηλότερο ποσοστό υπερβάσεων σε κανένα σταθμό και κλάσμα σχετικά με την παράμετρο της σχετικής υγρασίας.

Στη μελέτη των επιφανειακών ανέμων, βάσει και της κατηγοριοποίησης που έχουμε κάνει, παρατηρούμε τόσο το ρόλο της συνεισφοράς της θαλάσσιας αύρας στις υψηλές συγκεντρώσεις (Σχήμα 4.37) αλλά και του Νότιου ανέμου (στην περίπτωση των $PM_{2.5}$). Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στο σταθμό Π2 με την επικράτηση ανέμων με ισχυρή Νότια συνιστώσα (τύπου D) με διαφορά 21.02% στα $PM_{2.5}$ και 16.08% στα PM_1 , από τη μέση συγκέντρωση του σταθμού ανά κλάσμα. Η επιρροή του ίδιο τύπου ανέμου παρουσιάζεται και στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$. Σε κάθε άλλη περίπτωση υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια επιφανειακών ανέμων τύπου B με διαφορές 10.92% (σταθμός Π1) και 13.46% (σταθμός Π3 στα PM_1). Αναδεικνύεται επίσης ο ρόλος της επικράτησης ανέμων με ισχυρή Νότια συνιστώσα στη μάζα των σωματιδίων (κυρίως των PM_1).

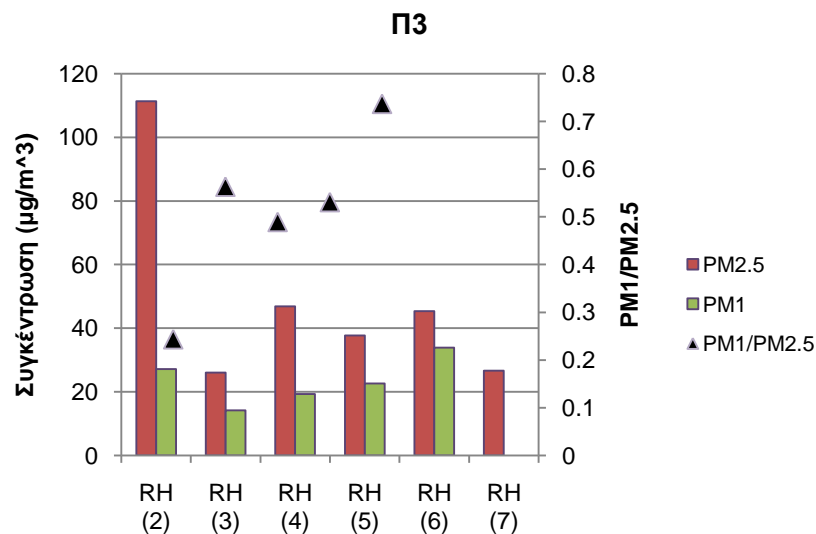
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.35 α)



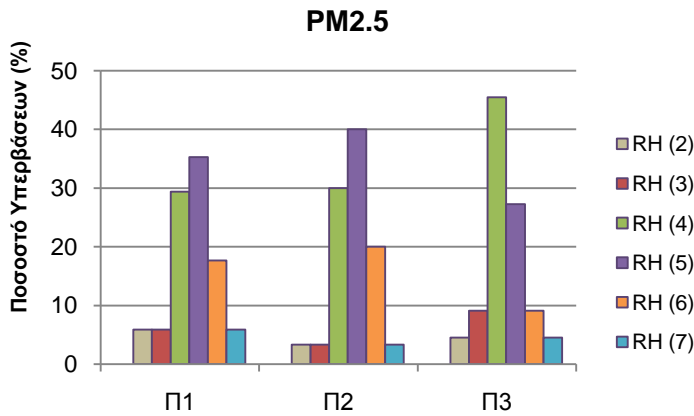
Σχήμα 4.35 β)



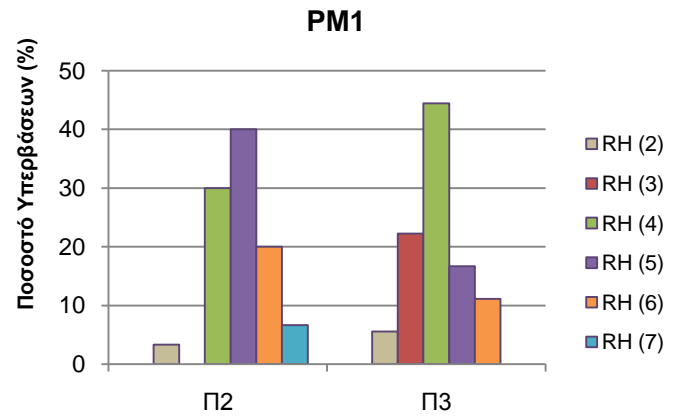
Σχήμα 4.35 γ)

Σχήμα 4.35: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.35 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.35 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.35 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



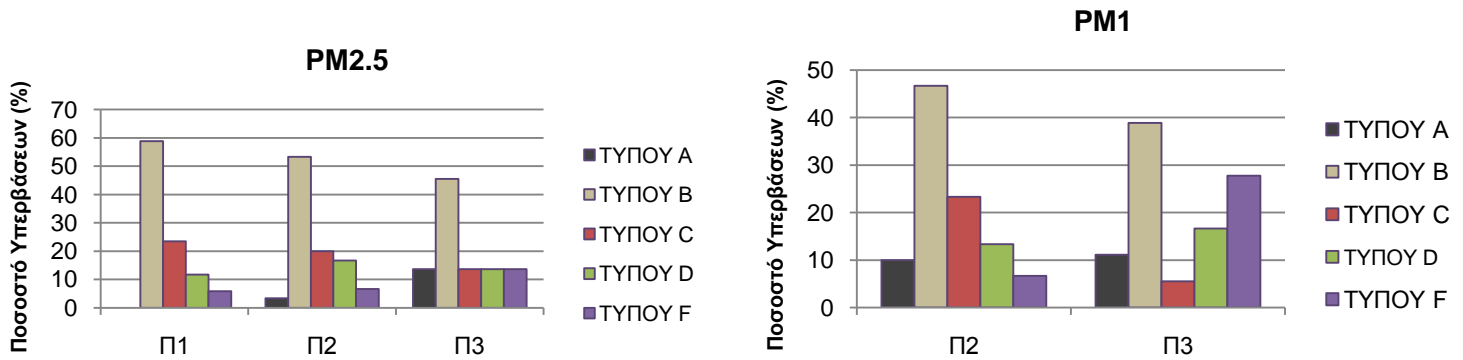
Σχήμα 4.36 α)



Σχήμα 4.36 β)

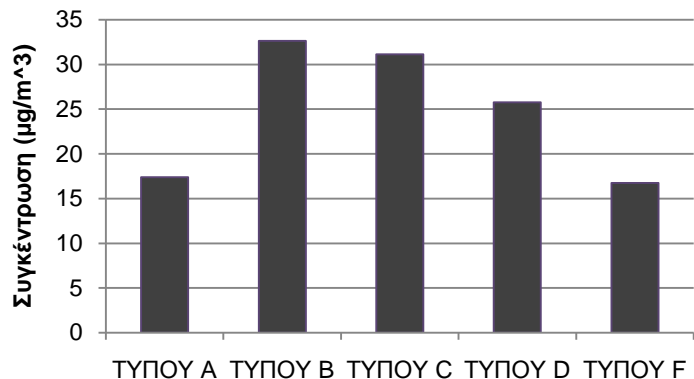
Σχήμα 4.36: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.36 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.36 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

Σχετικά με την κατηγοριοποίηση των επιφανειακών ανέμων, διαφοροποίηση από τις ανεπηρέαστες από φαινόμενα σκόνης ημέρες παρατηρούμε και σχετικά με το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$. Στις ανεπηρέαστες από σκόνη ημέρες υπενθυμίζουμε ότι εμφανίζεται σε κάθε περίπτωση πάνω από την τιμή 0.6 ενώ κατά τα φαινόμενα μεταφοράς σκόνης, φαίνεται να ευνοείται από συγκεκριμένους τύπους ανέμου. Ο επιφανειακός άνεμος τύπου C συνεπάγεται σε κάθε περίπτωση επικράτηση των λεπτότερων σωματιδίων. Στο σταθμό Π3, βγάζουμε το ίδιο συμπέρασμα και για την επικράτηση της θαλάσσιας αύρας τύπου B, ενώ για κάθε άλλο τύπο φαίνεται να ευνοούνται οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής σωματιδίων. Στο σταθμό Π2, ο λόγος κυμαίνεται από 0.51-0.55 δείχνοντας ελάχιστη επικράτηση της μάζας των PM_1 στα $PM_{2.5}$. Αυξημένη συμμετοχή στο ποσοστό των υπερβάσεων (Σχήμα 4.38) φαίνεται να επιφέρει το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με Βόρειο συνοπτικό άνεμο, με τα υψηλότερα ποσοστά να παρατηρούνται κατά τη διάρκεια επιφανειακών ανέμων τύπου B. Αξίζει να σημειωθεί η συνεισφορά της Δυτικής συνιστώσας των ανέμων (τύπου F) στις υψηλές υπερβάσεις, στο σταθμό Π3 σχετικά με τα PM_1 .

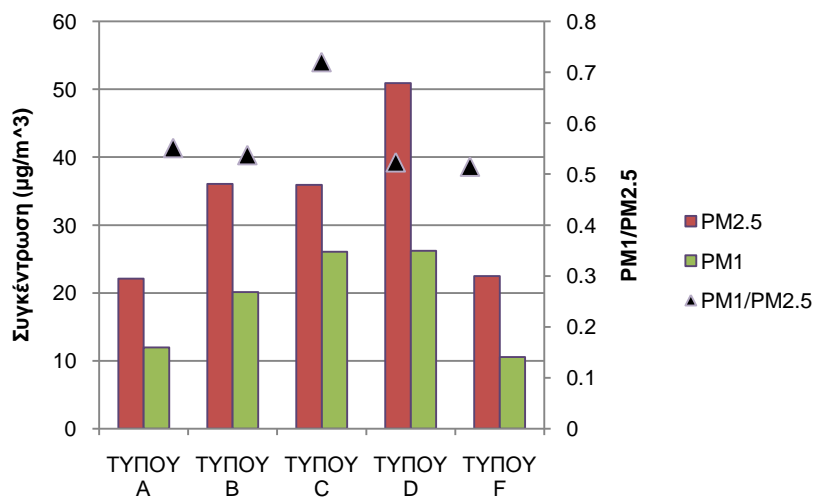


Σχήμα 4.38: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ και των PM_1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

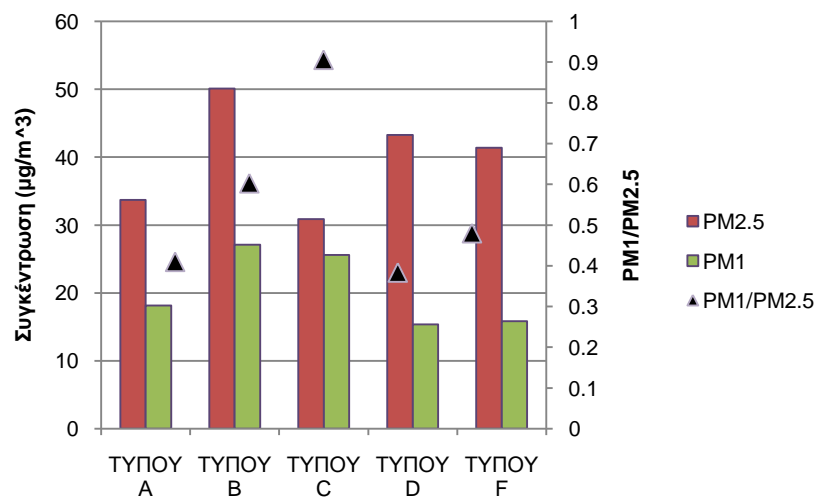
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.37 α)



Σχήμα 4.37 β)

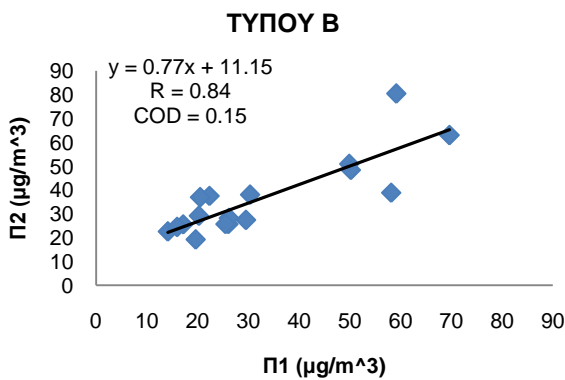


Σχήμα 4.37 γ)

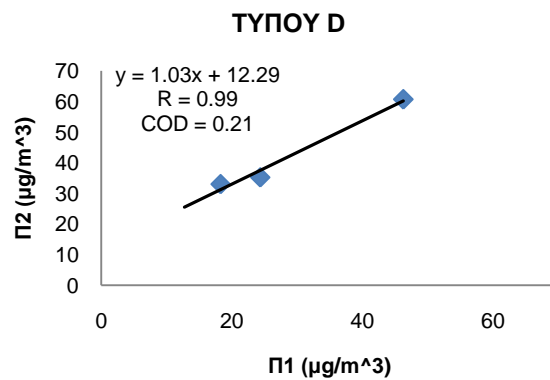
Σχήμα 4.37: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.37 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.37 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.37 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

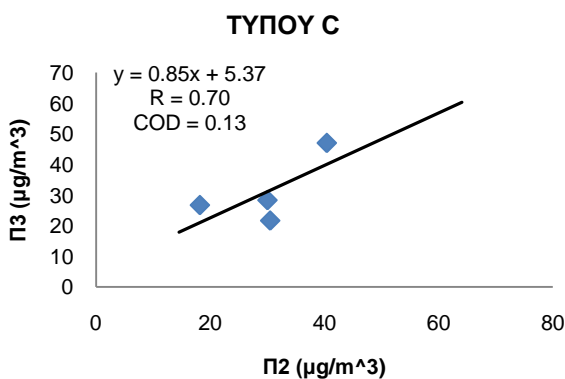
Οι υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις, δεν ταυτίζονται απόλυτα με το υψηλότερο ποσοστό υπερβάσεων σε κανένα σταθμό και κλάσμα. Αν και σχετικά με τους επιφανειακούς ανέμους τύπου Β, παρατηρούμε μια κοινή τάση. Η στατιστική ανάλυση των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.39) ανάμεσα στη μάζα των μετρούμενων σταθμών δεν δείχνει παντού στατιστικά σημαντικούς δείκτες όπως στις καθαρότερες, από φαινόμενα σκόνης, ημέρες. Σχετικά με τον επιφανειακό άνεμο τύπου Β, παρατηρούμε υψηλό συντελεστή συσχέτισης μόνο ανάμεσα στους σταθμούς Π1-Π2, σε κάθε άλλη περίπτωση οι συντελεστές παίρνουν ασήμαντες τιμές. Παρόμοια αποτελέσματα και για τους ανέμους τύπου D. Η ισχυρή Βόρεια συνιστώσα (τύπου C) συνεπάγεται υψηλές τιμές στους συντελεστές ομοιομορφίας και ομοιογένειας για όλους σταθμούς με την κλίση της ευθείας να προσεγγίζει τη μονάδα στην περίπτωση τόσο των Π1-Π2 όσο και Π2-Π3. Στους ανέμους τύπου Α, η μάζα εμφανίζεται ασυσχέτιστη σε κάθε περίπτωση, ενώ παρόλο που στους ανέμους τύπου F παρατηρούμε υψηλούς συντελεστές, οι κλίσεις των ευθειών είναι πολύ μεγαλύτεροι από το επιθυμητό. Στις περιπτώσεις των σταθμών Π1-Π2 πιθανολογούμε ότι οι συγκεντρώσεις επηρεάζονται από φαινόμενα μεταφοράς, στην περίπτωση των ανέμων τύπου Β, C και D. Στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε για τον τύπο C σχετικά με τους σταθμούς Π2-Π3. Στο κλάσμα των PM_{1} , οι κοινές μέρες δειγματοληψίας μας επιτρέπουν να συσχετίσουμε μόνο τους τύπους Β και F. Μόνο στην περίπτωση του ανέμου τύπου F, παρατηρούμε υψηλό θετικό συντελεστή συσχέτισης ($R=0.81$), με την κλίση της ευθείας να μη μας επιτρέπει να ανάγουμε το συμπέρασμα της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στους δύο σταθμούς.



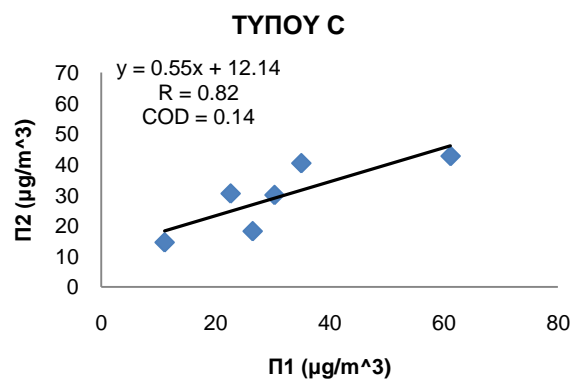
Σχήμα 4.39 α)



Σχήμα 4.39 β)



Σχήμα 4.39 γ)



Σχήμα 4.39 δ)

Σχήμα 4.39: Διάγραμμα Συσχέτισης της Μάζας των Αερολυμάτων Αναφορικά με το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Ανάλογα με τον Επιφανειακό Άνεμο που Επικρατεί κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

Σχετικά με τη διακύμανση των συγκεντρώσεων ανάλογα με τους επιφανειακούς ανέμους, η μεγαλύτερη μετρούμενη συγκέντρωση παρατηρήθηκε σε όλους τους σταθμούς κατά τη διάρκεια επικράτησης ανέμων τύπου Β με επικρατούσα διεύθυνση από SSW μέχρι SSE και μέση ταχύτητα κάτω από τα 2.32m/s αναδεικνύοντας το ρόλο των τοπικών πηγών εκπομπής. Η μικρότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια επιφανειακών ανέμων τύπου F (σταθμοί Π2 στα $\text{PM}_{2.5}$ και Π3) με επικρατούσα διεύθυνση την W. Στο σταθμό Π1 και Π2 στα PM_1 παρατηρήθηκε με άνεμο τύπου C (επικρατούσα διεύθυνση την NNE) και A (επικρατούσα διεύθυνση την S). Στις μικρότερες συγκεντρώσεις οι μέσες ταχύτητες κυμαίνονται από $2.94\text{m/s} - 5.28\text{m/s}$.

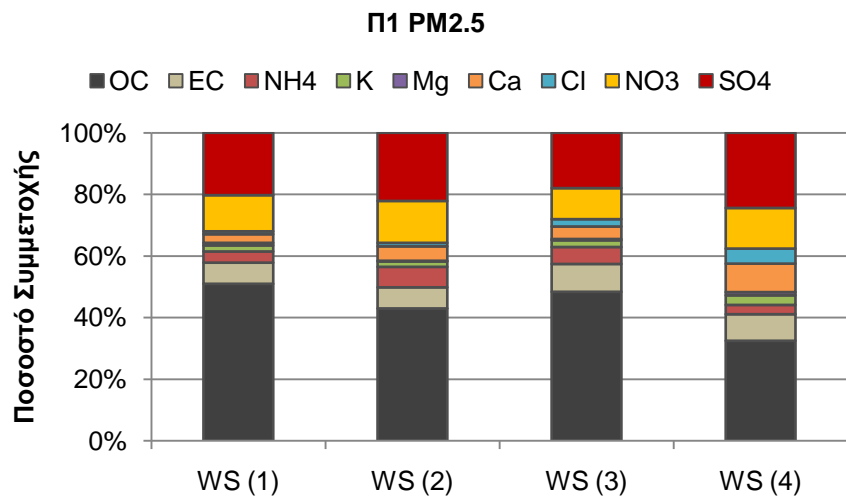
4.2.2 Χημική Σύσταση

Ο ρόλος των ανθρωπογενών εκπομπών και των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία χημικών ενώσεων από τις οποίες αποτελούνται αναδείχθηκε για άλλη μια φορά ανεξάρτητα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Τα θειικά μαζί με τα νιτρικά ιόντα καθώς και ο οργανικός άνθρακας, εκπεμπόμενα κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η κίνηση των οχημάτων και οι καύσεις, ιδιαίτερα σημαντικά καθώς αυξάνουν την οξύτητα των αερολυμάτων αναδείχθηκαν σε κάθε περίπτωση ως τα κυρίαρχα συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων ενώ το κατιόν του Μαγνησίου (Mg^{2+}) αναδεικνύεται σε κάθε περίπτωση τελευταίο στην κατάταξη των ανόργανων ρύπων. Ο μη καθοριστικός ρόλος της μετεωρολογίας στη διαφοροποίηση της χημικής σύστασης των σωματιδίων αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο των τοπικών πηγών στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης, με αρνητικές για την ανθρώπινη υγεία συνέπειες.

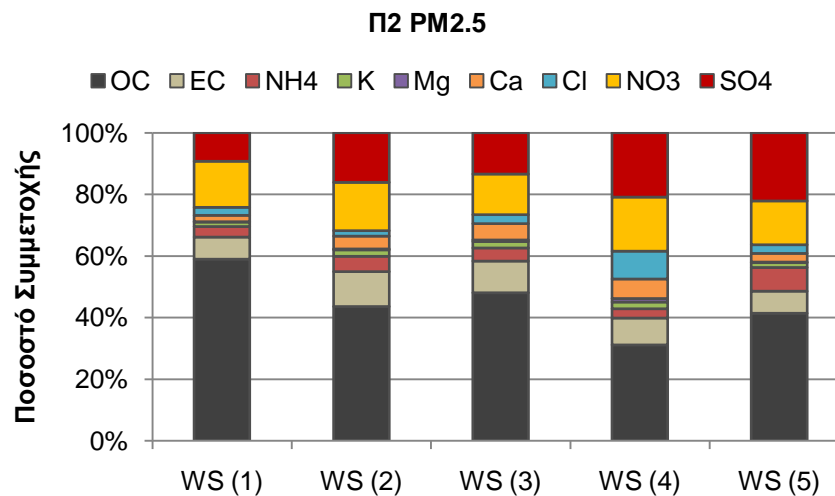
Σχετικά με την πρώτη μετεωρολογική παράμετρο που μελετήσαμε, δηλαδή την ταχύτητα του ανέμου (WS), το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης αναφορικά με την κατηγοριοποίηση της ταχύτητας του ανέμου ανά σταθμό παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.40. Σε κάθε περίπτωση οι χημικές ενώσεις που κυριαρχούν στα σωματίδια είναι αυτές του οργανικού άνθρακα καθώς και θειικών και νιτρικών ιόντων. Στο 75% των περιπτώσεων ο OC έρχεται πρώτος σε κατάταξη ακολουθούμενος από τα SO_4^{2-} και NO_3^- ($\text{OC} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$). Εξαιρέση παρουσιάζουν ο σταθμός Π2 και Π3 και στα δύο κλάσματα κατά τη διάρκεια ελάχιστων ταχυτήτων ($\text{WS} \leq 1.34\text{m/s}$).

Σχετικά με το σταθμό Π1, συγκεκριμένη τάση παρατηρείται αφού η συγκέντρωση των χημικών ενώσεων μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Στον ίδιο σταθμό, η συγκέντρωση του θαλάσσιας προέλευσης Cl^- , φαίνεται να έχει αναλογική σχέση με την ταχύτητα του ανέμου συμπεραίνοντας το σημαντικό ρόλο των φαινομένων μεταφοράς σε αυτή την αύξηση. Τα εδαφικής προέλευσης K^+ και Mg^{2+} παρουσιάζουν μείωση με την αύξηση των τιμών της παραμέτρου, ενώ το Ca^{2+} παρουσιάζει αύξηση για ταχύτητες $> 2.19\text{m/s}$. Στο σταθμό Π3, τόσο τα θειικά όσο και τα νιτρικά ιόντα μειώνονται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου δείχνοντας το ρόλο των τοπικών πηγών στις αυξημένες συγκεντρώσεις. Ο στοιχειακός άνθρακας φαίνεται να αυξάνεται ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

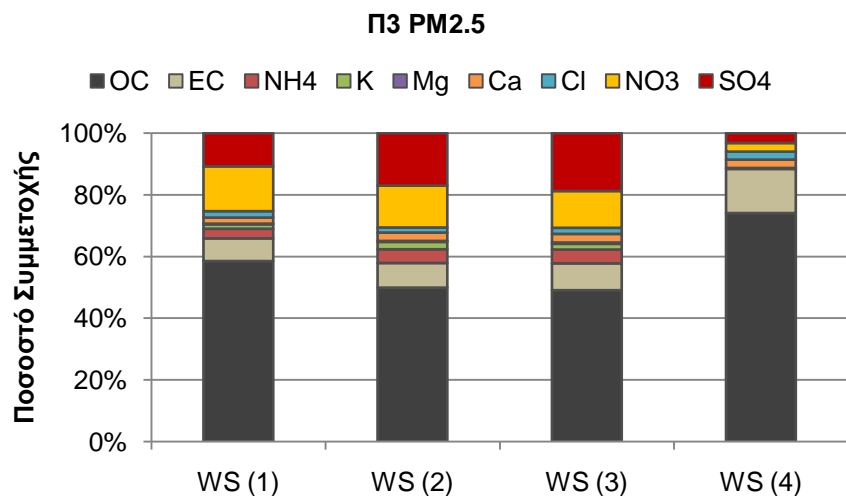
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



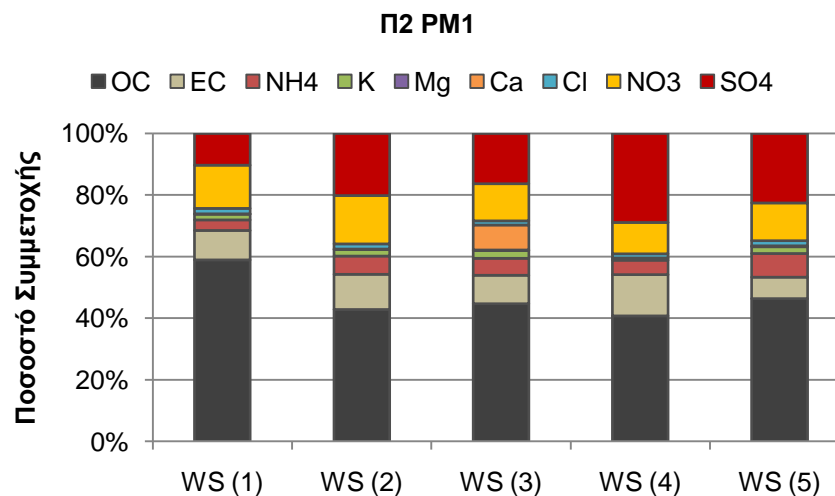
Σχήμα 4.40 α)



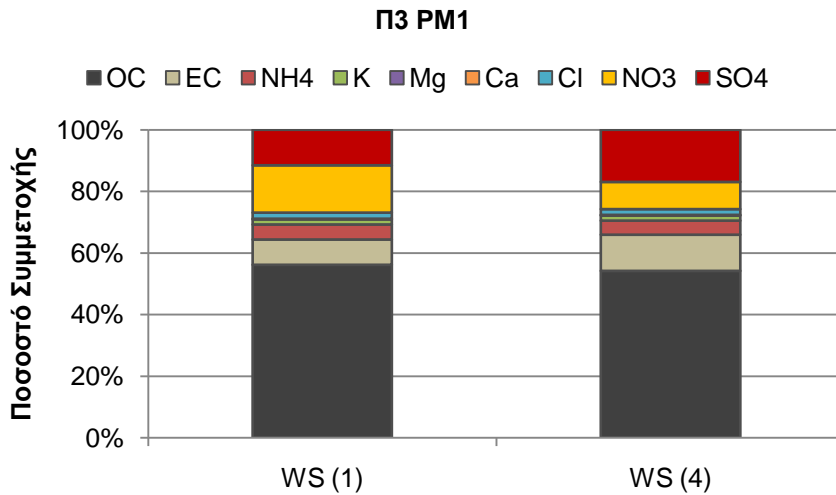
Σχήμα 4.40 β)



Σχήμα 4.40 γ)



Σχήμα 4.40 δ)



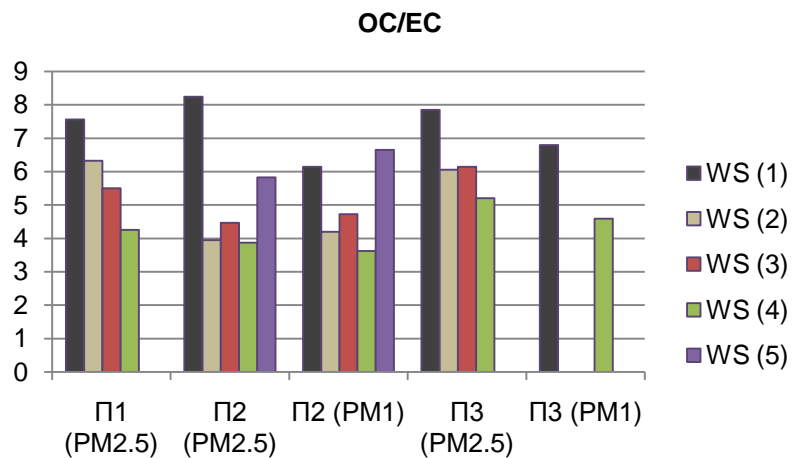
Σχήμα 4.40 ε)

Σχήμα 4.40: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου

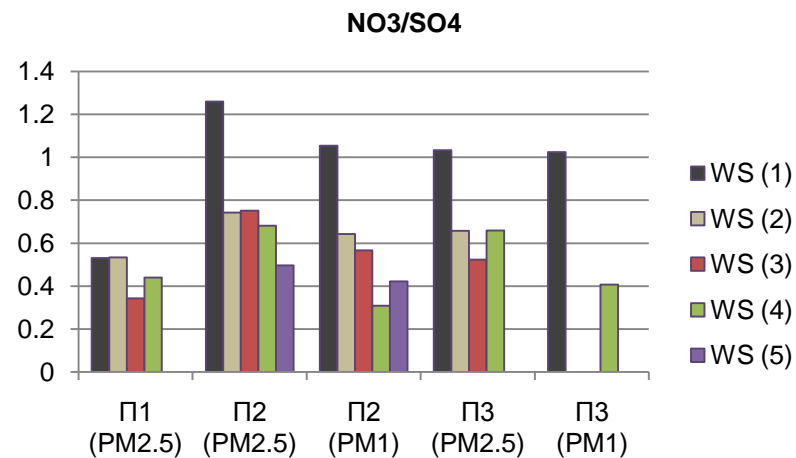
Σχετικά με το λόγο OC/EC (Σχήμα 4.41 α), η τιμή του οποίου σε κάθε περιοχή και κλάσμα παίρνει τιμές μεγαλύτερες της οριακής τιμής 2, φαίνεται να ευνοείται η αύξηση του κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων ανέμου. Μοναδική εξαίρεση ο σταθμός Π2 στα PM_1 όπου η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια ταχυτήτων της 5^{ης} κατηγορίας ($3.89\text{ m/s} < WS \leq 4.74\text{ m/s}$). Σαν γενικό συμπέρασμα επιβεβαιώνεται η δημιουργία δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων. Σε κάθε περίπτωση επιβεβαιώνεται η επικράτηση των σταθερών από τις κινητές πηγές (Σχήμα 4.41 β), με εξαίρεση τους επιβαρυσμένους από την κίνηση των οχημάτων σταθμούς Π2, Π3 αναφορικά με τις ελάχιστες ταχύτητες ($WS \leq 1.34\text{ m/s}$). Σα γενική τάση παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η επικράτηση των σταθερών σημειακών πηγών έναντι των κινητών. Σχετικά με την επικράτηση του όξινου χαρακτήρα των αερολυμάτων αναφορικά με την ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 4.41 γ), δε φαίνεται να επικρατεί σε καμία κατηγορία. Παρόλα αυτά αυξημένο ποσοστό εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση της επικράτησης μέτριας ταχυτήτων ανέμου ($3.04\text{ m/s} < WS \leq 3.89\text{ m/s}$).

Εκτός της ταχύτητας του ανέμου, σημαντική είναι και η μελέτη της διεύθυνσης του για να κατανοήσουμε αν κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση επιβαρύνει ή όχι την εκάστοτε περιοχή. Στο σταθμό Π1 φαίνεται πως η κατεύθυνση του ανέμου που ευνοεί τις υψηλότερες συγκεντρώσεις είναι η Βόρεια συνιστώσα (NNE ή N) πρωτίστως και η SSW σε δεύτερη θέση (Σχήμα 4.42). Στο σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.43), σε κάθε περίπτωση εκτός των νιτρικών ιόντων φαίνεται οι SSW να ευνοούν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, στην περίπτωση των NO_3^- , επικρατούν NNW άνεμοι, ενώ στα PM_1 του ίδιου σταθμού (Σχήμα 4.45) επικρατούν NNW, NNE και N κατά τη διάρκεια των υψηλότερων συγκεντρώσεων στον οργανικό άνθρακα, θειικών και νιτρικών ιόντων αντίστοιχα. Στον Π3 αναφορικά με τα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.44), επικρατούν SSW κατά τη διάρκεια των μεγαλύτερων συγκεντρώσεων.

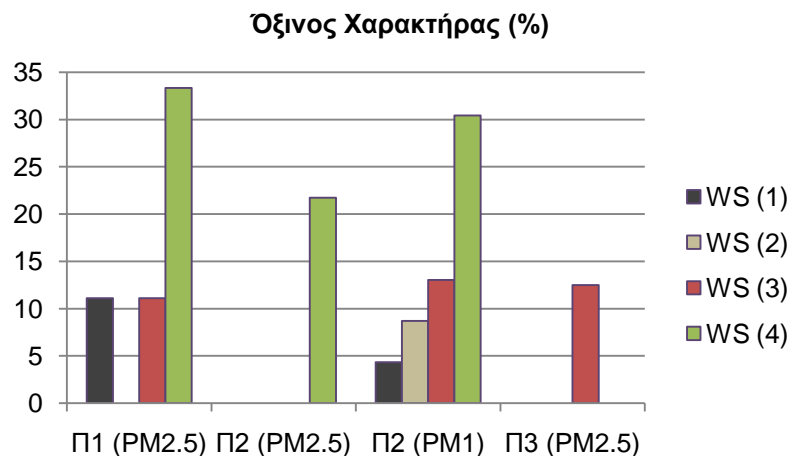
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.41 α)



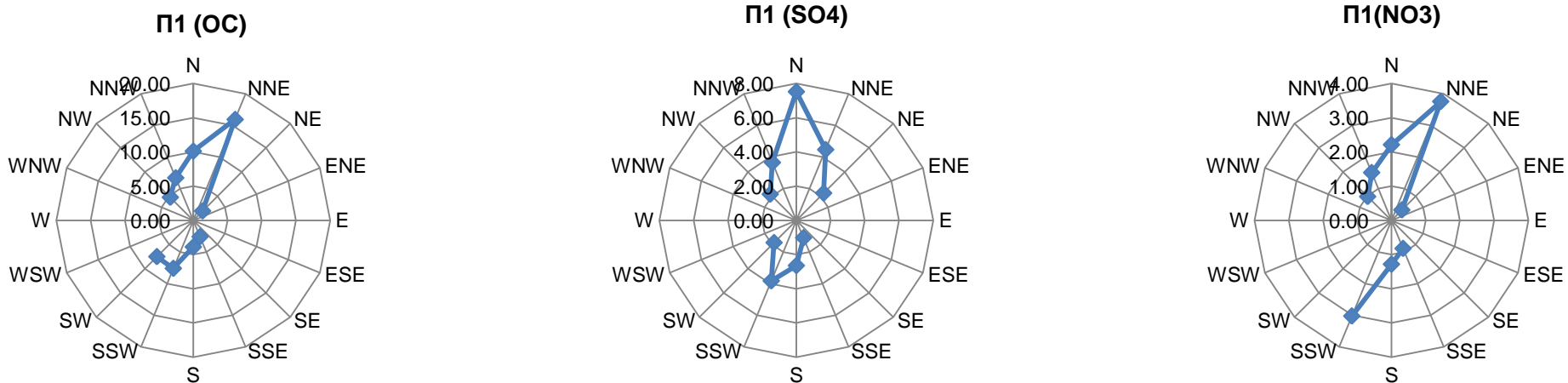
Σχήμα 4.41 β)



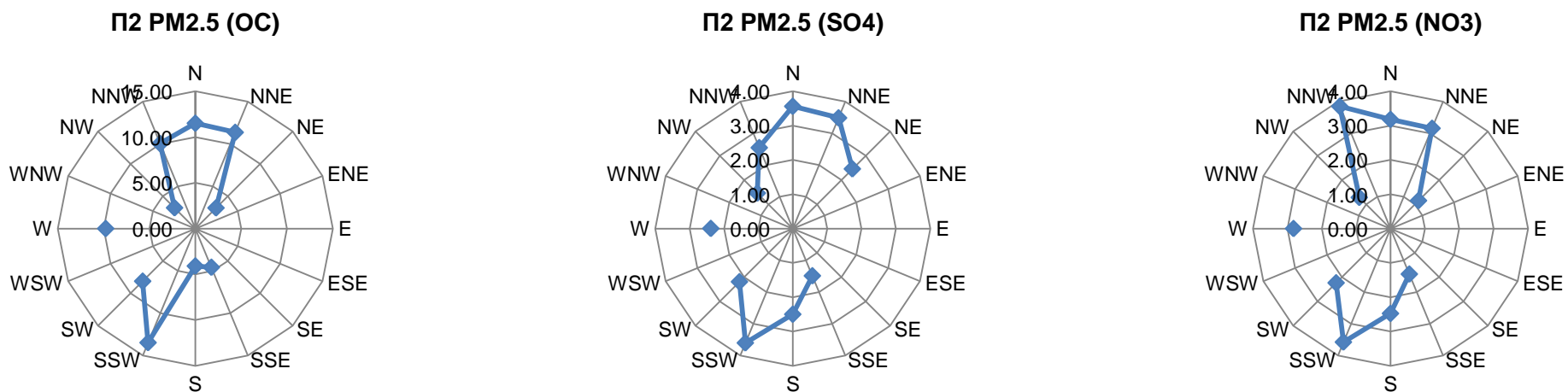
Σχήμα 4.41 γ)

Σχήμα 4.41: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.41 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.41 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.41 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



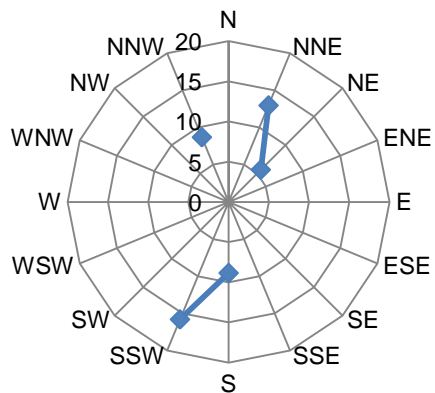
Σχήμα 4.42: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1



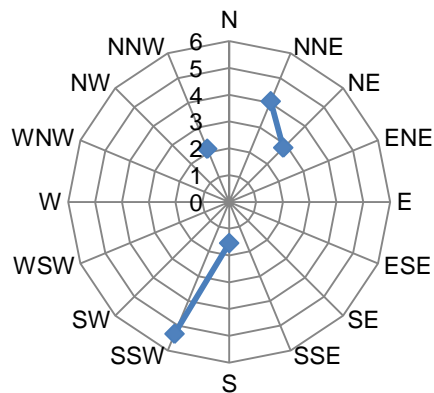
Σχήμα 4.43: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

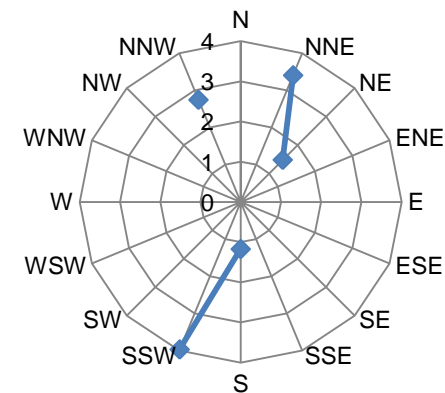
Π3 PM2.5 (OC)



Π3 PM2.5 (SO4)

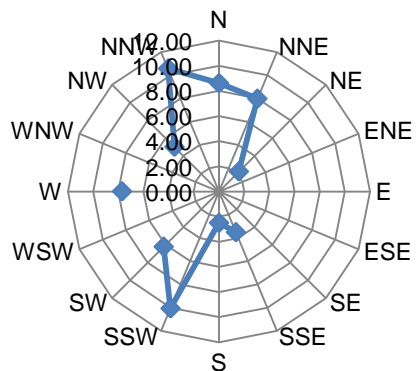


Π3 PM2.5 (NO3)

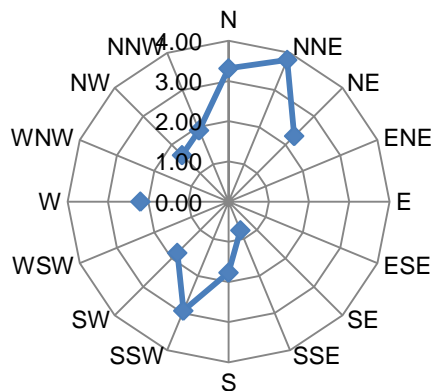


Σχήμα 4.44: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$

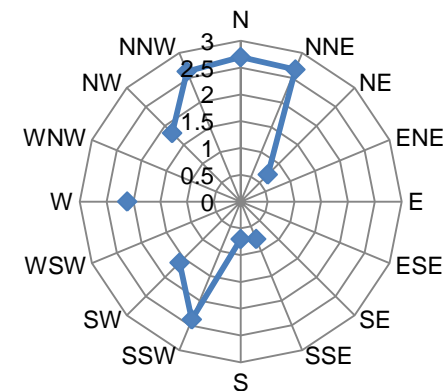
Π2 PM1 (OC)



Π2 PM1 (SO4)



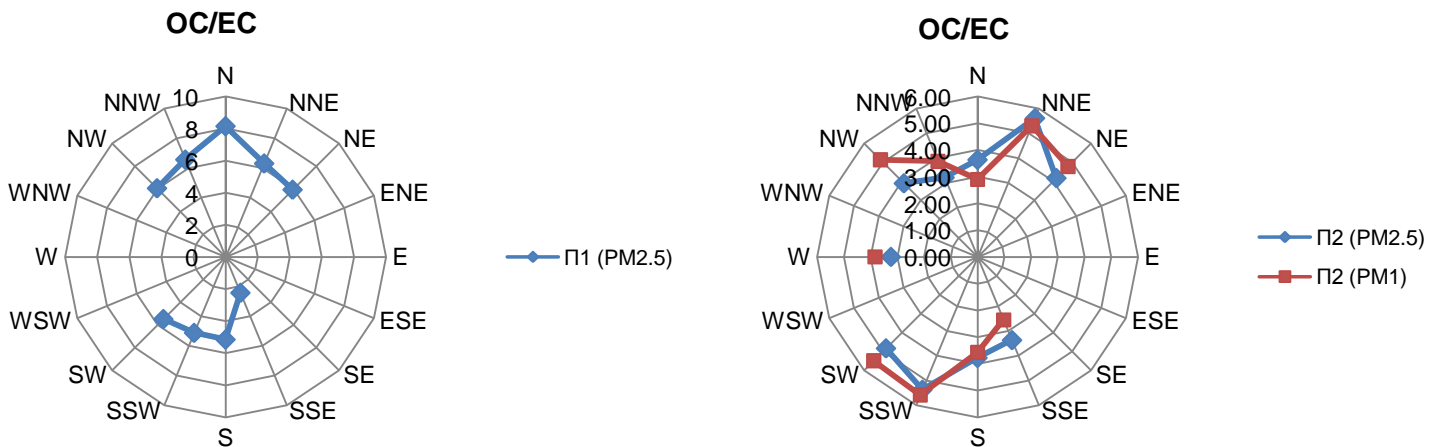
Π2 PM1 (NO3)



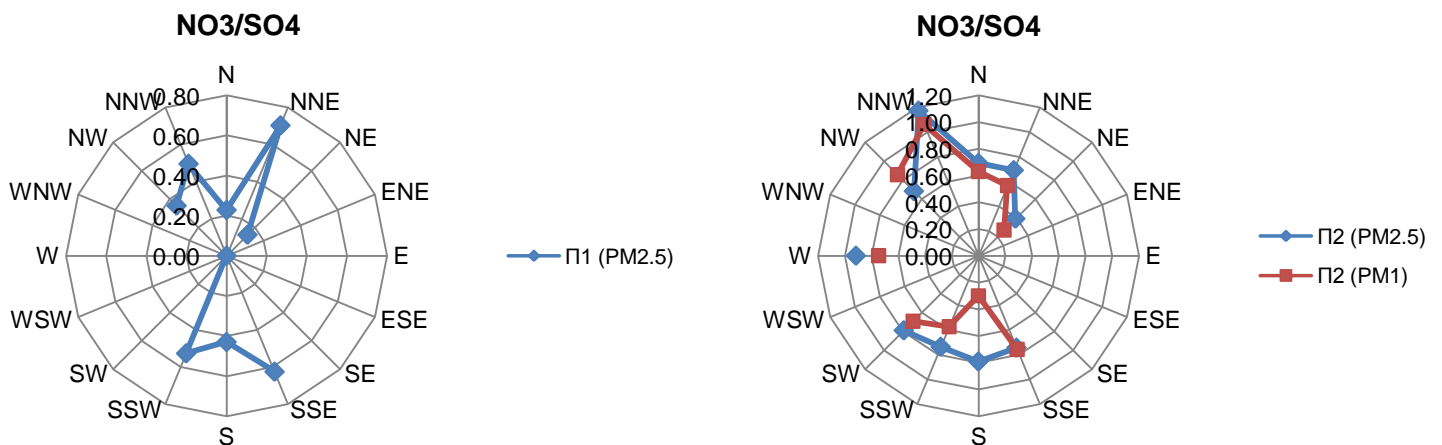
Σχήμα 4.45: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα PM_1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

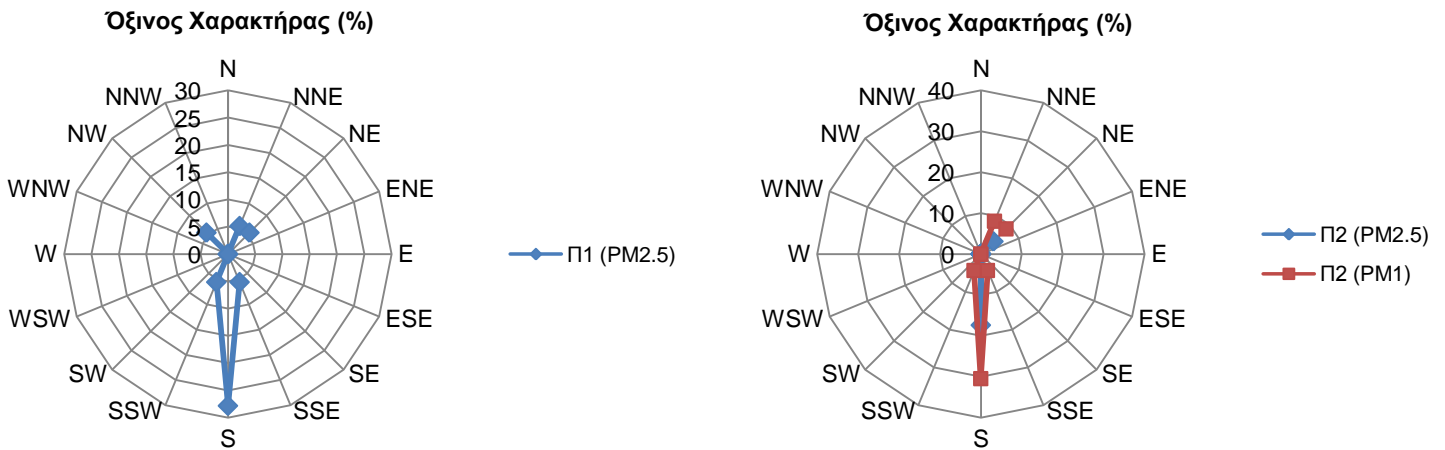
Αναφορικά με το δείκτη OC/EC (Σχήμα 4.46), στο σταθμό Π1 ευνοείται από Βόρειο (N) άνεμο, στο σταθμό Π2 από NNE και SSW στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα ενώ στο σταθμό Π3 από NNE ανέμους. Ο δείκτης NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.47), στο σταθμό Π1 όπως και στον Π3 στα PM_1 φαίνεται να ευνοείται από τους NNE ανέμους ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση από NNW ανέμους. Σε κάθε περίπτωση τη μεγαλύτερη επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών εκπομπής (οι μικρότερες τιμές του δείκτη) παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια NE ανέμων με εξαίρεση τον σταθμό Π3 στα PM_1 όπου η μεγαλύτερη επικράτηση είναι κατά τη διάρκεια S ανέμων. Ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια S ανέμων (Σχήμα 4.48).



Σχήμα 4.46: Radarchart των Τιμών του Δείκτη OC/EC Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2

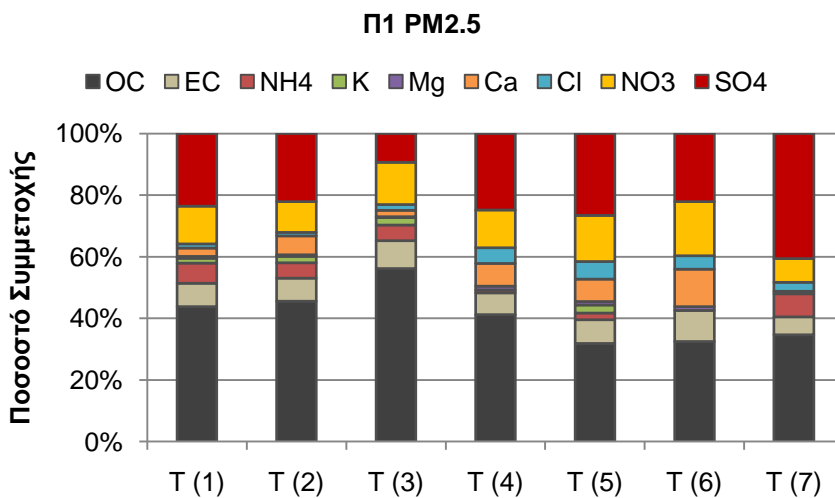


Σχήμα 4.47: Radarchart των Τιμών του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2



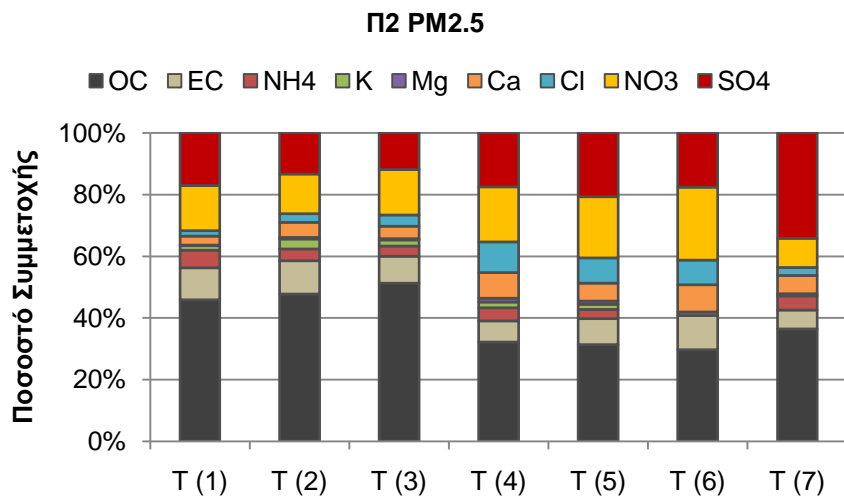
Σχήμα 4.48: Radarchart των της Επικράτησης του Όξινου Χαρακτήρα (%) Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2

Όσον αφορά τη μετεωρολογική παράμετρο της θερμοκρασίας (Σχήμα 4.49), οι συγκεντρώσεις των χημικών ενώσεων φαίνεται να μην ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας, ειδικά πάνω από τους 14.5°C και πάνω. Αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζουν τα θειικά ιόντα τα οποία, παρόλο που οι απόλυτες μέσες συγκεντρώσεις τους δεν αυξάνουν, αυξάνει η επί τοις εκατό (%) συμμετοχή τους στη μάζα των αερολυμάτων δείχνοντας να ευνοούνται από την αύξηση των τιμών της παραμέτρου. Στο σταθμό Π3 στα $\text{PM}_{2.5}$ οι λίγες τιμές θειικών ιόντων δε μας επιτρέπουν να εξαγάγουμε το ίδιο συμπέρασμα. Σε κάθε περίπτωση κυριαρχούν οι ανθρωπογενείς ρύποι ($\text{OC} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$), με μοναδική εξαίρεση τις θερμοκρασίες $11.5^{\circ}\text{C} < T \leq 13^{\circ}\text{C}$ (3^η κατηγορία) όπου τη δεύτερη θέση καταλαμβάνουν τα νιτρικά ιόντα. Δεν παρατηρούμε κάποια συγκεκριμένη τάση ούτε για τα εδαφικής προέλευσης Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ ούτε για το θαλασσινής προέλευσης Cl^- .

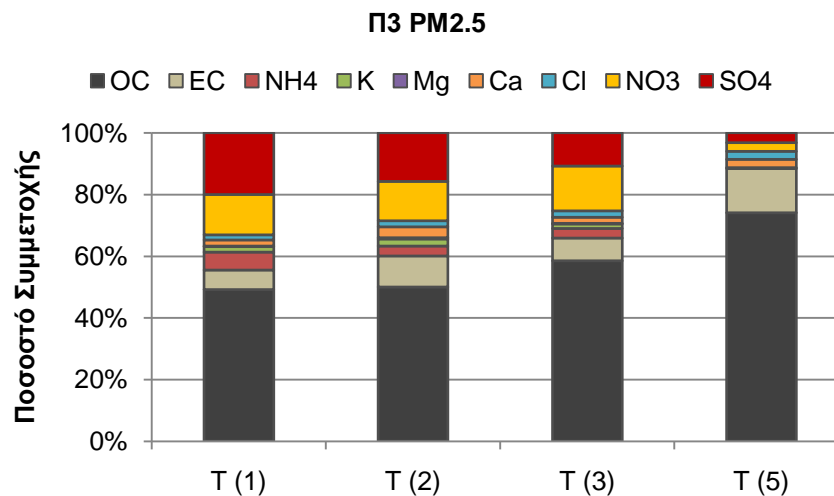


Σχήμα 4.49 α)

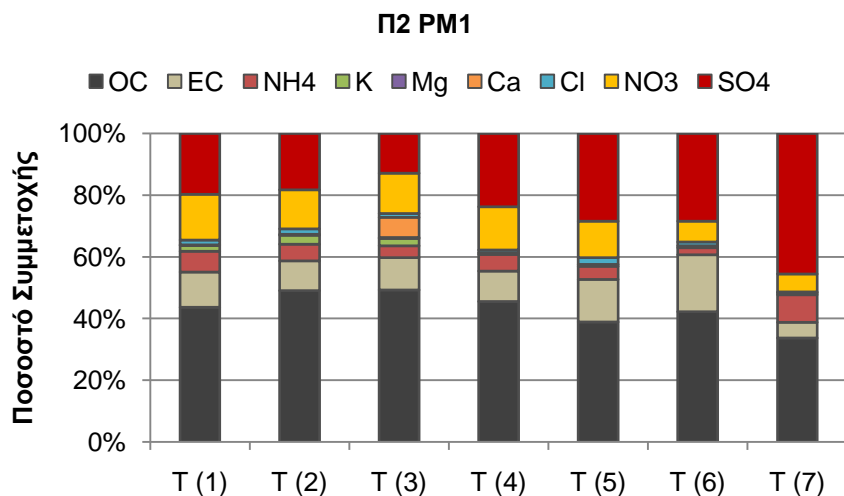
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



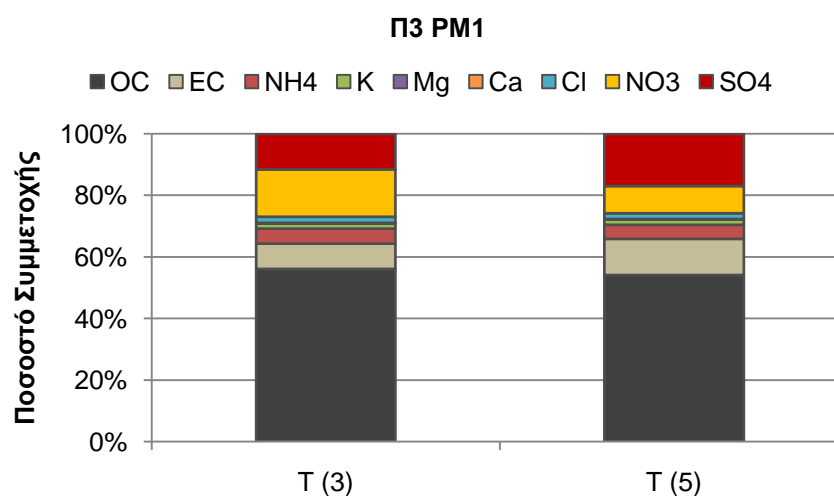
Σχήμα 4.49 β)



Σχήμα 4.49 γ)



Σχήμα 4.49 δ)

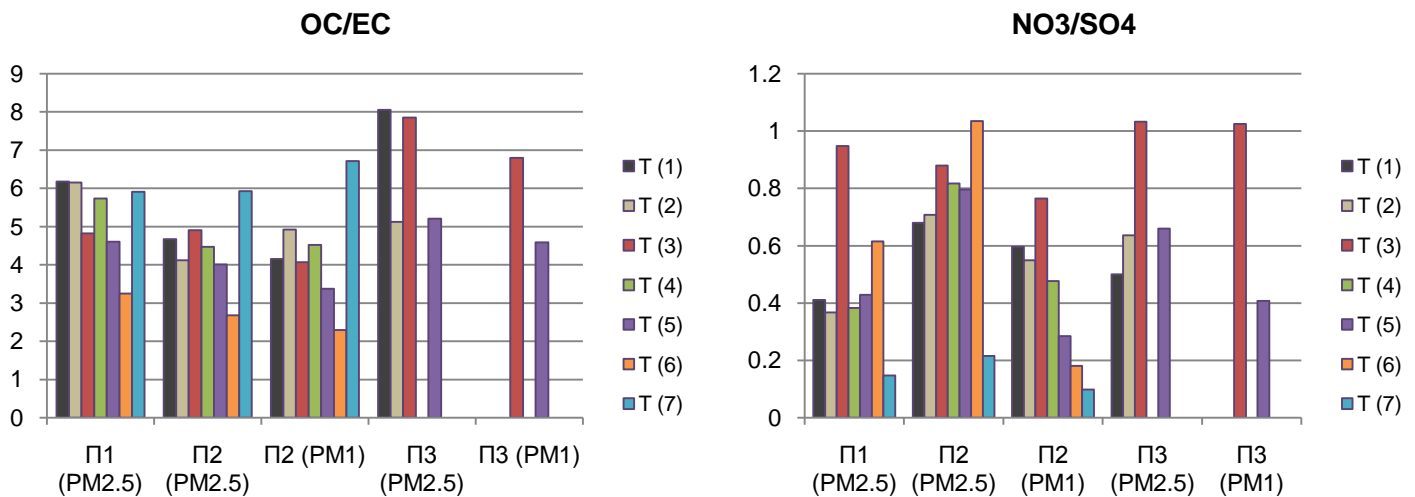


Σχήμα 4.49 ε)

Σχήμα 4.49: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ο λόγος OC/EC παίρνει τιμές σταθερά πάνω από την τιμή 2 (Σχήμα 4.50 α). Στους σταθμούς Π1 και Π2 παρατηρείται η τάση της μείωσης του δείκτη καθώς αυξάνεται η τιμή της θερμοκρασίας με μοναδική εξαίρεση τις ακραίες τιμές κατά τη διάρκεια θερμοκρασιών $>17.5^{\circ}C$. Η επικράτηση των σταθερών πηγών έναντι των κινητών (Σχήμα 4.50 β) εμφανίζεται στις περισσότερες των περιπτώσεων. Αυξημένες τιμές του δείκτη εμφανίζονται σε κάθε σταθμό (με τιμές ακόμα και μεγαλύτερες της μονάδος στο σταθμό Π3) κατά τη διάρκεια επικράτησης θερμοκρασιών της 3^{ης} κατηγορίας ($11.5^{\circ}C < T \leq 13^{\circ}C$) και την ακραία τιμή στο σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ για τιμές $16^{\circ}C < T \leq 17.5^{\circ}C$. Συγκεκριμένη τάση παρουσιάζεται στο σταθμό Π2 στα PM_1 όπου παρουσιάζεται αύξηση της επικράτησης των σταθερών πηγών με την αύξηση της θερμοκρασίας.



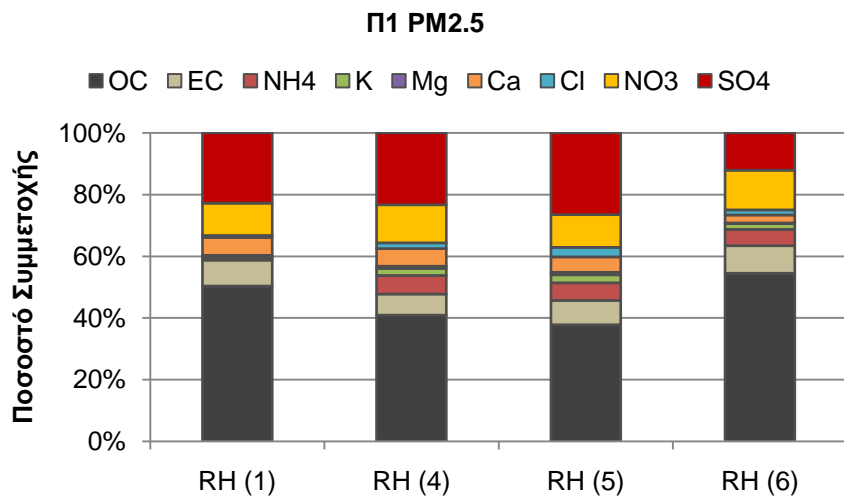
Σχήμα 4.50 α)

Σχήμα 4.50 β)

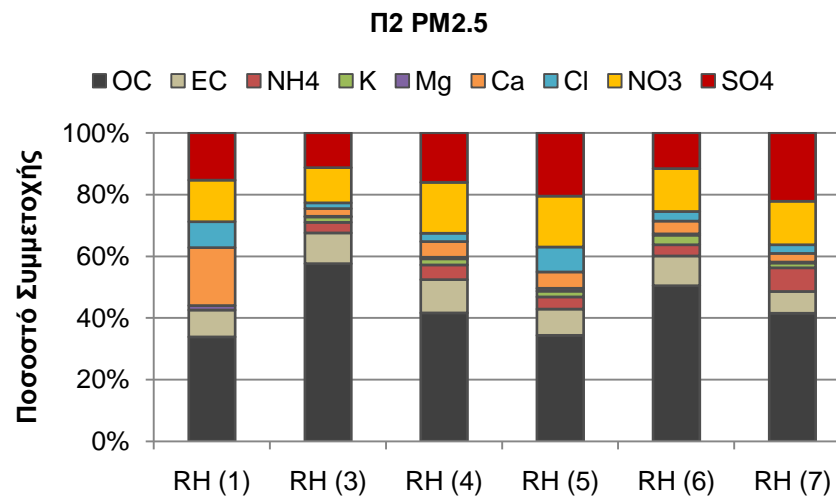
Σχήμα 4.50: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.50 α) και του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.50 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας

Αναφορικά με τη μελέτη σχετικά με τη μετεωρολογική παράμετρο της σχετικής υγρασίας, δε διαμορφώνεται κάποια συγκεκριμένη τάση σχετικά με τη μάζα των αερολυμάτων (Σχήμα 4.51). Η επικράτηση του οργανικού άνθρακα ακολουθούμενου από τα θειικά και νιτρικά ιόντα επαληθεύεται σε κάθε περίπτωση. Εξαίρεση προκαλεί η 6^η κατηγορία όπου τα νιτρικά επικρατούν των θειικών στη μάζα των αερολυμάτων. Ο σχηματισμός δευτερογενώς παραγόμενων οργανικών σωματιδίων είναι εμφανής μέσω του λόγου OC/EC (Σχήμα 4.52 α) σε κάθε περίπτωση, χωρίς να διαμορφώνεται κάποια κοινή τάση. Οι σταθερές πηγές εκπομπής υπερिशύουν σε κάθε σταθμό και για κάθε κατηγορία (Σχήμα 4.52 β) με μοναδική περίπτωση εξαίρεσης αυτή των PM_1 στο σταθμό Π3 για σχετική υγρασία ($76\% < RH \leq 86\%$).

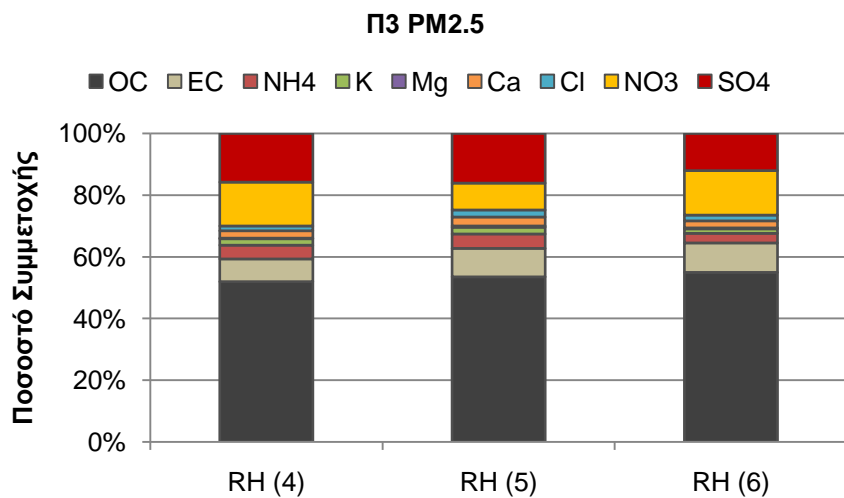
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



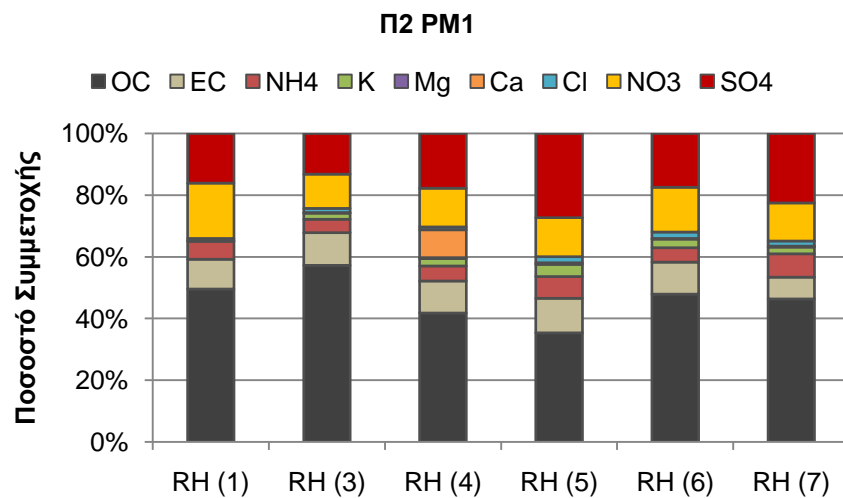
Σχήμα 4.51 α)



Σχήμα 4.51 β)

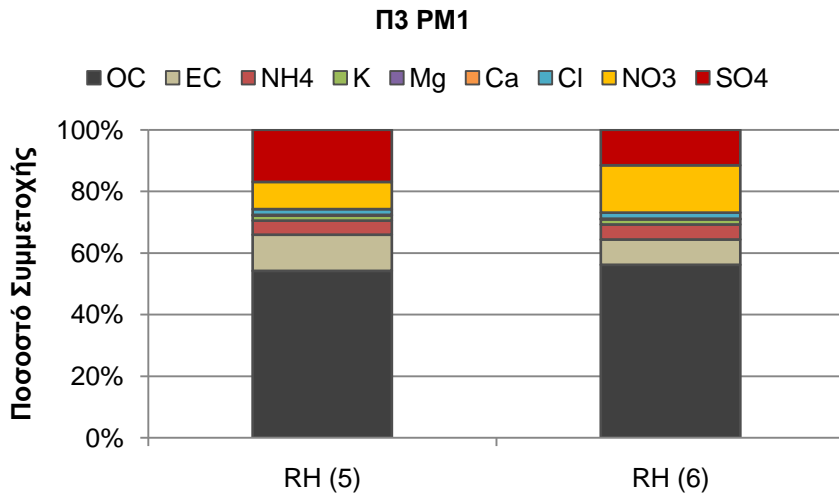


Σχήμα 4.51 γ)



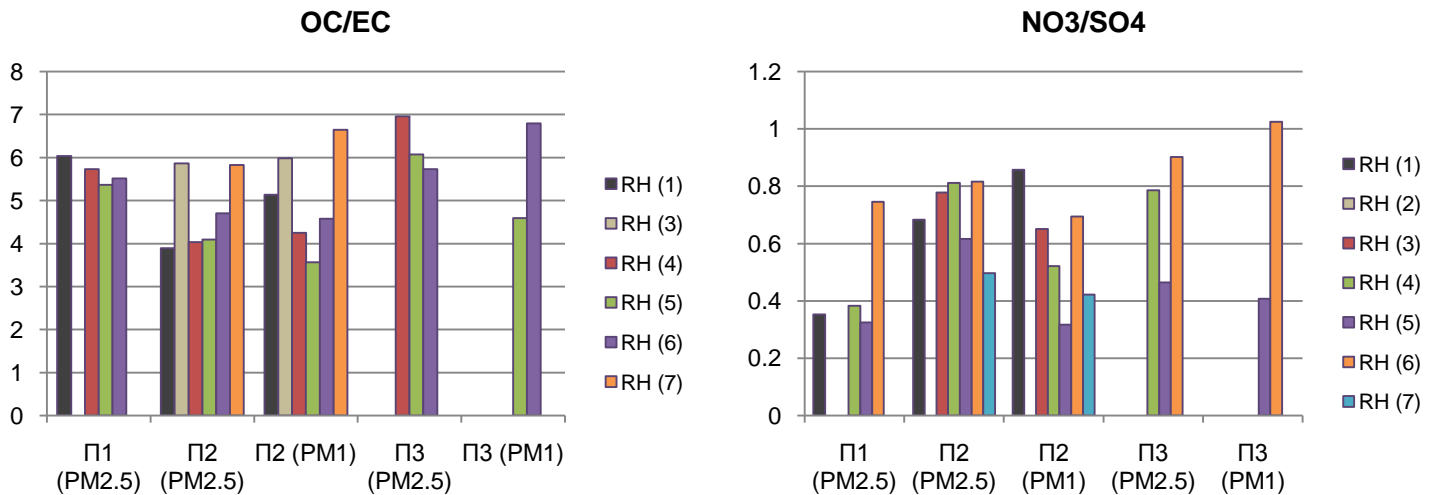
Σχήμα 4.51 δ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.51 ε)

Σχήμα 4.51: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας



Σχήμα 4.52 α)

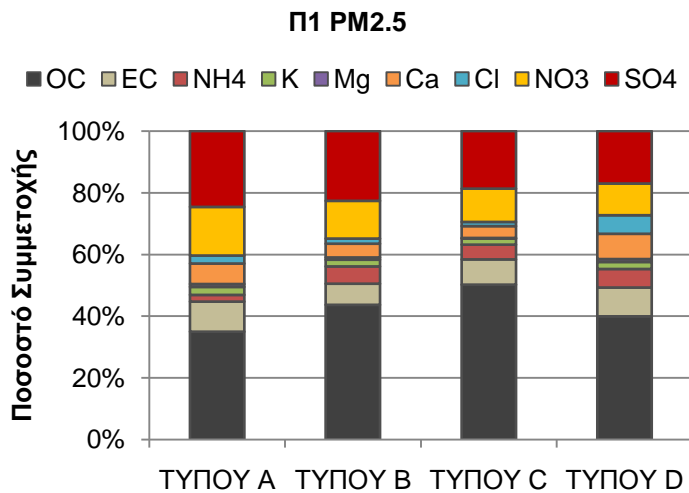
Σχήμα 4.52 β)

Σχήμα 4.52: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.52 α) και του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.52 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας

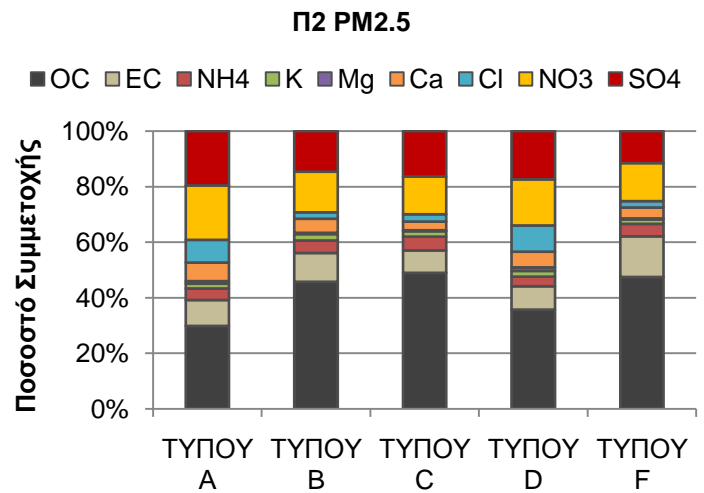
Σχετικά με τη μελέτη των χαρακτηριστικών των αερολυμάτων όσον αφορά τους επιφανειακούς ανέμους, χωρίς να υπάρχει καμία διαφοροποίηση όσον αφορά το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη μάζα των σωματιδίων, ο οργανικός άνθρακας υπερτερεί για ακόμη μια φορά (Σχήμα 4.53). Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης για το οργανικό άνθρακα παρατηρείται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C, με εξαίρεση το σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

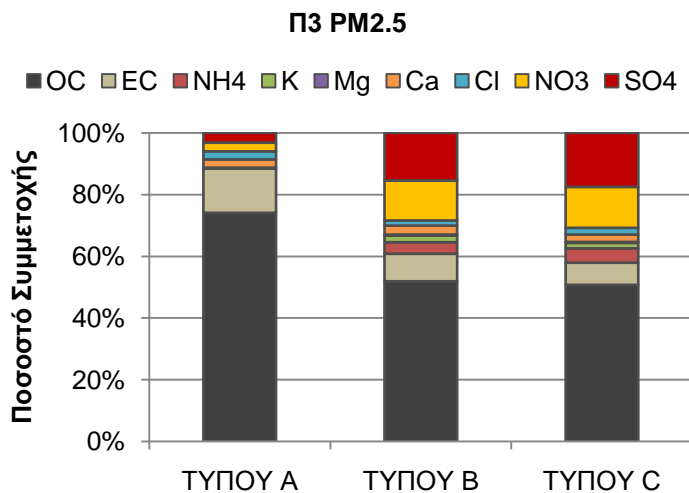
όπου παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου A. Ακολουθούν σε σειρά κατάταξης, τα θειικά και νιτρικά ιόντα σε κάθε περίπτωση (εκτός του σταθμού Π3 στα $PM_{2.5}$ όπου υπερτερεί ο στοιχειακός άνθρακας έναντι των παραπάνω ιόντων). Ο σχηματισμός δευτερογενώς παραγόμενων οργανικών ενώσεων (Σχήμα 4.54 α) φαίνεται να ευνοείται περισσότερο από ανέμους τύπου C (ισχυρή Βόρεια συνιστώσα) με μοναδική εξαίρεση το σταθμό Π1 όπου πρωταρχική θέση καταλαμβάνει ο άνεμος τύπου B. Ο λόγος NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.54 β) παραμένει σταθερά κάτω από τη μονάδα με μόνη εξαίρεση το σταθμό Π3 στα PM_1 όπου η ακραία τιμή κατά τη διάρκεια ανέμου τύπου C δείχνει επικράτηση των κινητών έναντι των σταθερών πηγών. Σχετικά με την ιοντική ισορροπία, η αλληλεπίδραση της θαλάσσιας αύρας με το Βόρειο συνοπτικό άνεμο, φαίνεται να επιφέρει αύξηση του όξινου χαρακτήρα των αερολυμάτων (Σχήμα 4.54 γ).



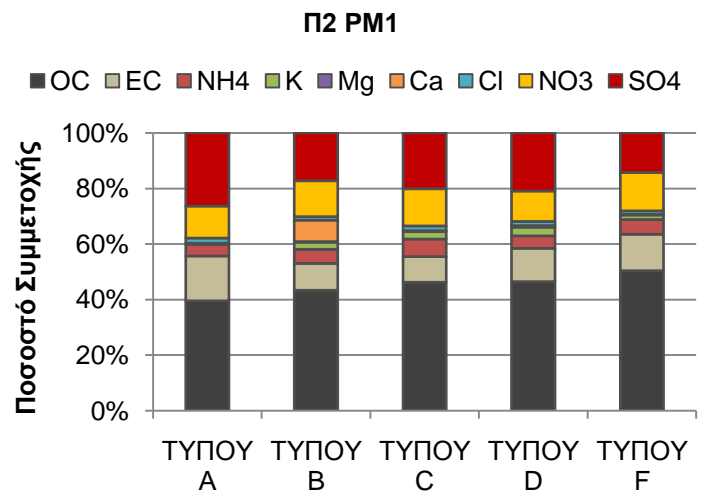
Σχήμα 4.53 α)



Σχήμα 4.53 β)

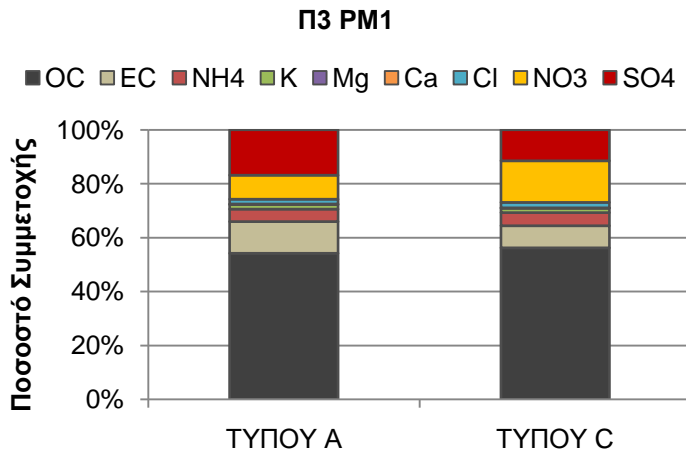


Σχήμα 4.53 γ)



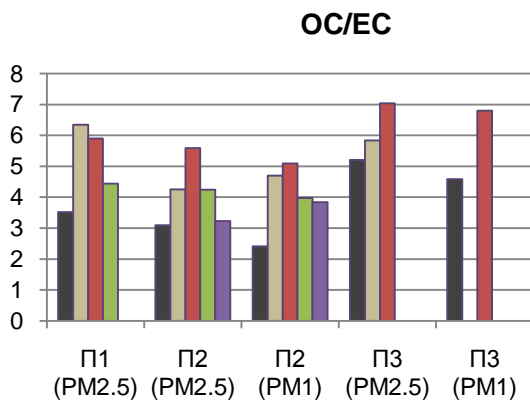
Σχήμα 4.53 δ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

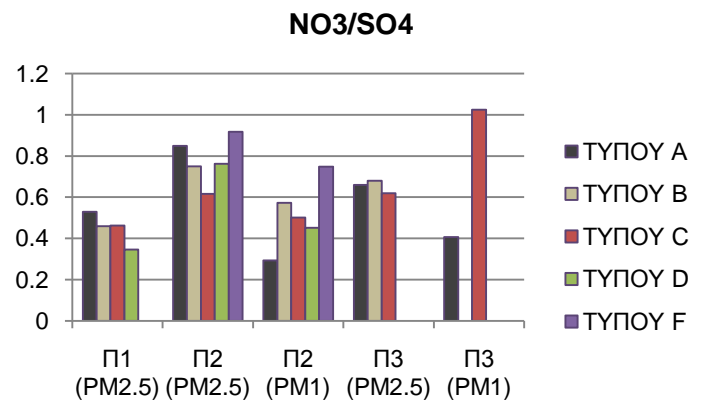


Σχήμα 4.53 ε)

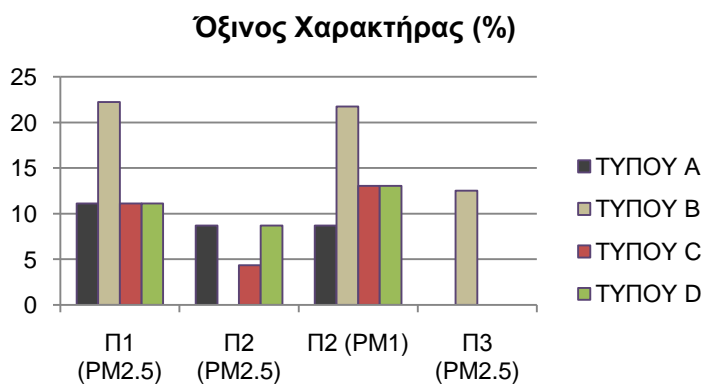
Σχήμα 4.53: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου



Σχήμα 4.54 α)



Σχήμα 4.54 β)

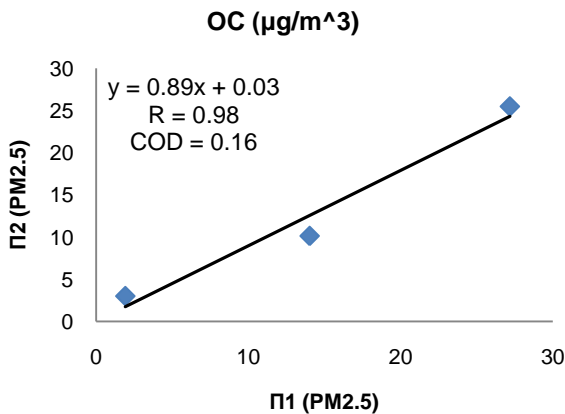


Σχήμα 4.54 γ)

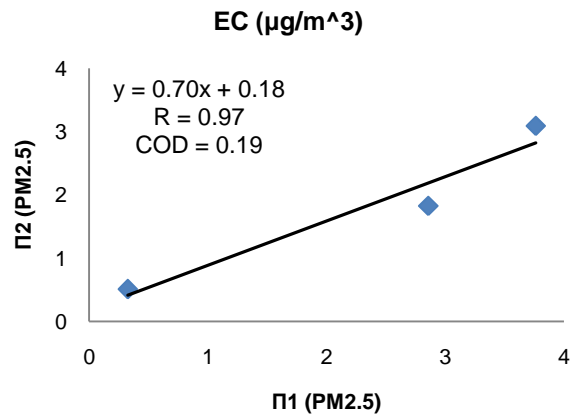
Σχήμα 4.54: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.54 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.54 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.54 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

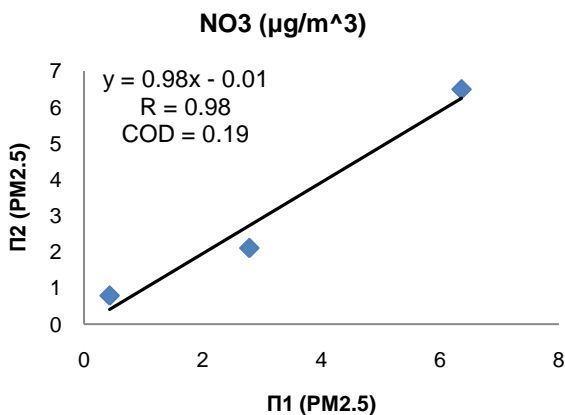
Σε μια προσπάθεια μελέτης της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας κατά τη διάρκεια των διαφορετικών επιφανειακών ανέμων, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης και ομοιογένειας και οι ευθείες παλινδρόμησης. Σχετικά με το κλάσμα των $PM_{2.5}$ και αναφορικά με τους ανέμους τύπου B (Σχήμα 4.56), ισχυρή αλληλεπίδραση παρουσιάζεται σχετικά με τα νιτρικά ιόντα στους σταθμούς Π1-Π3 και Π2-Π3. Ισχυρή αλληλεπίδραση παρατηρούμε τόσο στο στοιχειακό άνθρακα (Π1-Π3) αλλά και στα θειικά ιόντα ανάμεσα σε όλους τους σταθμούς. Βάσει και της κλίσης της ευθείας σε κάθε περίπτωση πιθανολογούμε την επιρροή φαινομένων μεταφοράς κυρίως μεταξύ των σταθμών Π1-Π2. Όσον αφορά τους ανέμους τύπου C (Σχήμα 4.55), τόσο οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές, όσο και η κλίση των ευθειών μας βοηθούν να ανάγουμε το συμπέρασμα της πιθανής αλληλεπίδρασης μεταξύ των Π1-Π2. Σε κάθε άλλη περίπτωση, οι λίγες κοινές ημέρες δειγματοληψίας δε μας δίνουν τη δυνατότητα της γραφικής αναπαράστασης της επικρατούσας κατάστασης. Σχετικά με τη συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τους υπό εξέταση επικίνδυνους ρύπους (Πίνακας 4.15) ο οργανικός άνθρακας εμφανίζεται πάντα ισχυρά θετικά συσχετισμένος με τη μάζα των αερολυμάτων αναδεικνύοντας κοινές πηγές ενώ τα θειικά ιόντα είναι ισχυρά θετικά συσχετισμένα μόνο στη περίπτωση ανέμων τύπου B (στα $PM_{2.5}$) και τύπου C (στα PM_{1}) αναδεικνύοντας τόσο το ρόλο της μεταφοράς στις υψηλές του συγκεντρώσεις, όσο και των κοινών τοπικών πηγών.



Σχήμα 4.55 α)



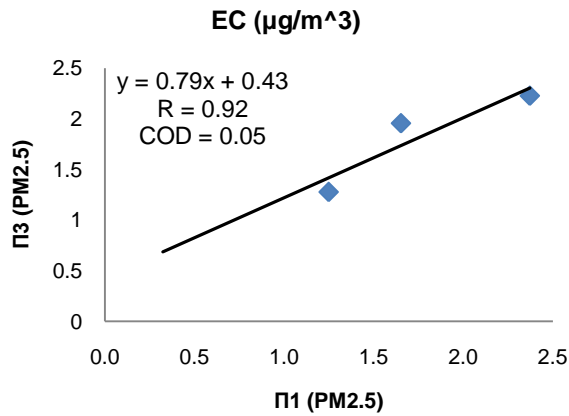
Σχήμα 4.55 β)



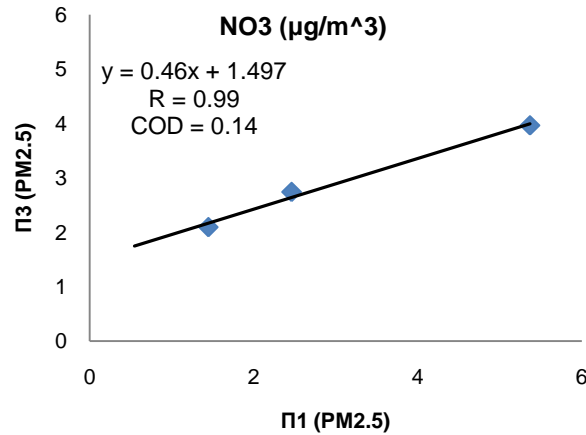
Σχήμα 4.55 γ)

Σχήμα 4.55: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων OC (Σχήμα 4.55 α) EC (Σχήμα 4.55 β), NO_3^- (Σχήμα 4.55 γ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου C, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$

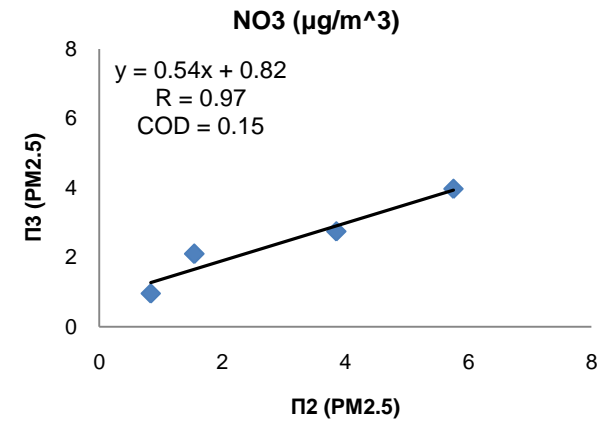
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



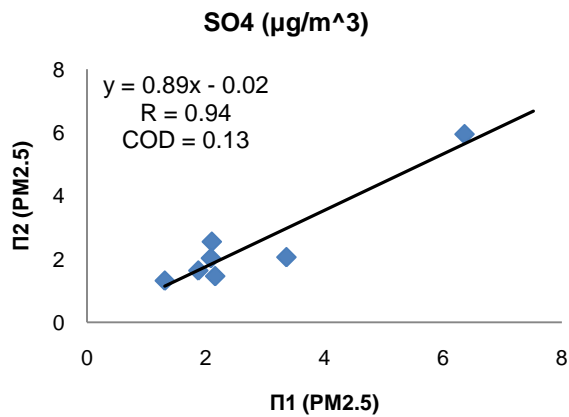
Σχήμα 4.56 α)



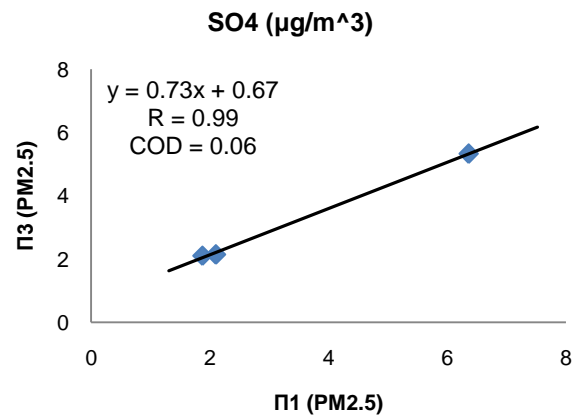
Σχήμα 4.56 β)



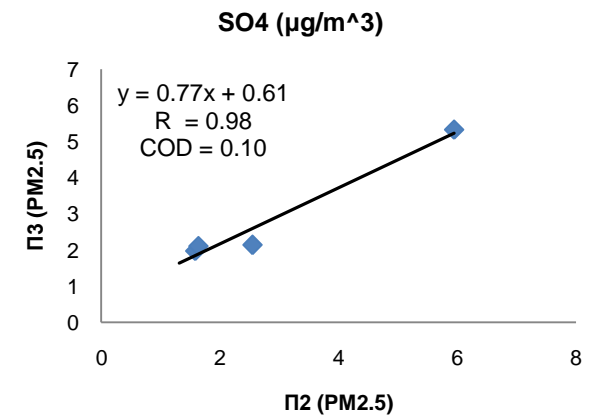
Σχήμα 4.56 γ)



Σχήμα 4.56 δ)



Σχήμα 4.56 ε)



Σχήμα 4.56 ζ)

Σχήμα 4.56: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων EC (Σχήμα 4.56 α), NO_3^- (Σχήμα 4.56 β-γ) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.56 δ-ζ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Β, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.15: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων και των Χημικών Ενώσεων OC , EC , NO_3^- και SO_4^{2-} Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου

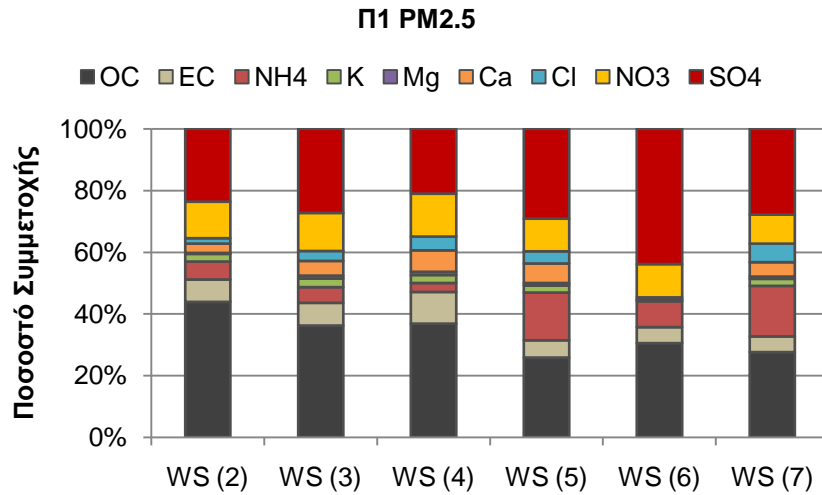
Π1	$OC - PM_x$	$EC - PM_x$	$NO_3^- - PM_x$	$SO_4^{2-} - PM_x$
ΤΥΠΟΥ Β	0.89	0.74	0.76	0.69
ΤΥΠΟΥ C	0.99	0.99	0.97	0.33
ΤΥΠΟΥ D	0.98	0.68	-	0.28
Π2 $PM_{2.5}$				
ΤΥΠΟΥ Β	0.91	0.80	0.82	0.74
ΤΥΠΟΥ C	0.91	0.95	0.87	0.49
ΤΥΠΟΥ D	0.92	0.91	-0.22	-0.14
Π3 $PM_{2.5}$				
ΤΥΠΟΥ Β	0.88	0.60	0.99	0.82
ΤΥΠΟΥ C	0.96	0.60	0.99	0.22
Π2 PM_1				
ΤΥΠΟΥ Β	0.94	0.72	0.82	0.55
ΤΥΠΟΥ C	0.84	0.91	0.95	0.71
ΤΥΠΟΥ D	0.99	0.65	0.99	0.12

4.2.2.1 Χημική Σύσταση – Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

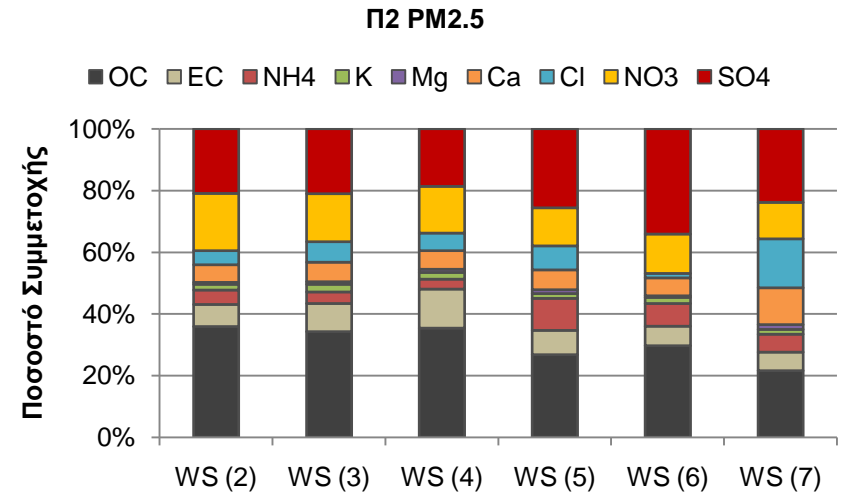
Τα αποτελέσματα της μελέτης της χημικής σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων ανάλογα με την επίδραση της κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου δε διαφέρουν κατά πολύ από εκείνα των ανεπηρέαστων ημερών. Σε κάθε περίπτωση στην πρώτη θέση της κατάταξης των χημικών ενώσεων έρχεται ο οργανικός άνθρακας ακολουθούμενος από τα θειικά και νιτρικά ιόντα. Στην τελευταία θέση ακολουθεί σταθερά το Mg^{2+} . Η μελέτη σχετικά με τις μετεωρολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη χημική σύσταση των αερολυμάτων είναι παρόμοια με την απουσία φαινομένων μεταφοράς σκόνης από την Αφρική. Έγινε μελέτη σχετικά με το ποσοστό που κατέχει η κάθε χημική ένωση στη μάζα των αερολυμάτων αναφορικά με την κάθε μετεωρολογική παράμετρο ξεχωριστά και υπολογίστηκαν οι λόγοι OC/EC και NO_3^-/SO_4^{2-} για να ερευνησουμε την παραγωγή ή μη δευτερογενών σωματιδίων καθώς και την υπερίσχυση των σημειακών ή κινητών πηγών αντίστοιχα. Επίσης, μελετήθηκε η επί τοις εκατό (%) υπερίσχυση του όξινου χαρακτήρα των αερολυμάτων και η επίδραση της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά.

Η διαφοροποίηση στην ταχύτητα του ανέμου φαίνεται να μην διαταράσσει τις κυρίαρχες ενώσεις στη μάζα των αερολυμάτων (Σχήμα 4.57). Παρατηρείται γενική τάση υπερίσχυσης του SO_4^{2-} έναντι του οργανικού άνθρακα για ταχύτητες της 5^{ης} κατηγορίας ($3.89\text{ m/s} < WS \leq 4.74\text{ m/s}$). Σε κάθε περίπτωση αυξημένες συγκεντρώσεις στο εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} , στο NH_4^+ και στο Cl^- σε κάθε κατηγορία σε σχέση με τις ανεπηρέαστες από τη μεταφορά σκόνης ημέρες. Αύξηση του Cl^- παρατηρείται για τις μέγιστες μετρούμενες ταχύτητες ($WS > 5.59\text{ m/s}$) αναδεικνύοντας το ρόλο της μεταφοράς στην αύξηση των συγκεντρώσεων του ανιόντος του χλωρίου.

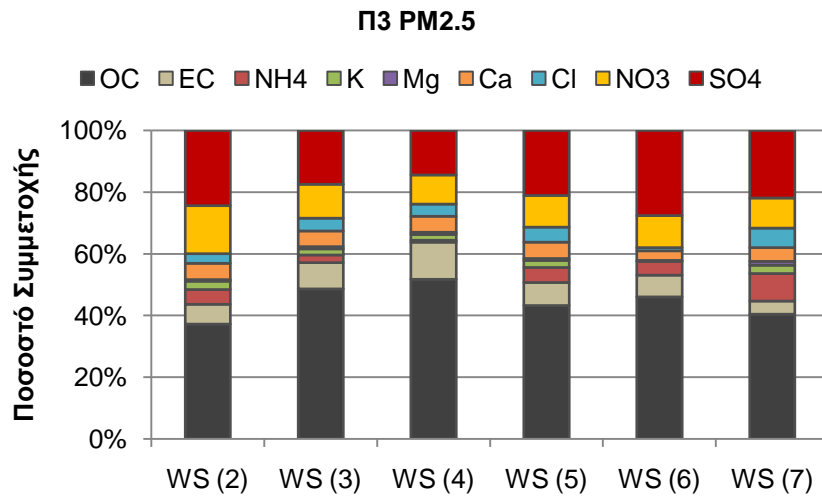
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



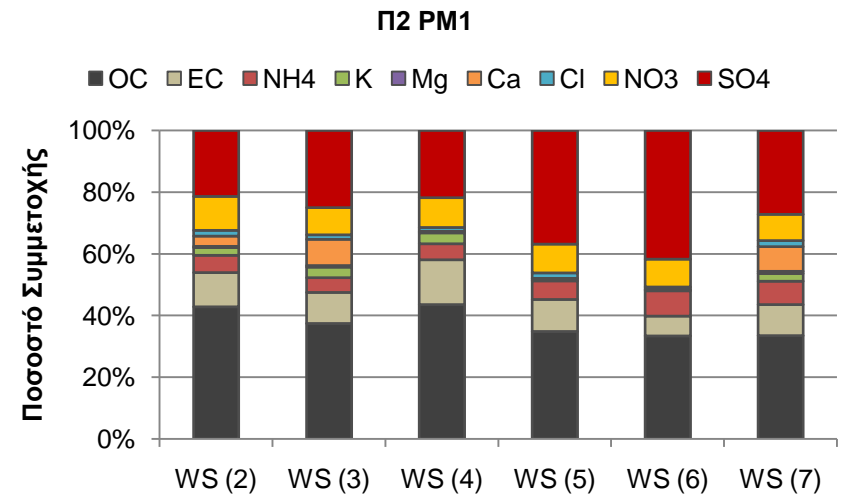
Σχήμα 4.57 α)



Σχήμα 4.57 β)



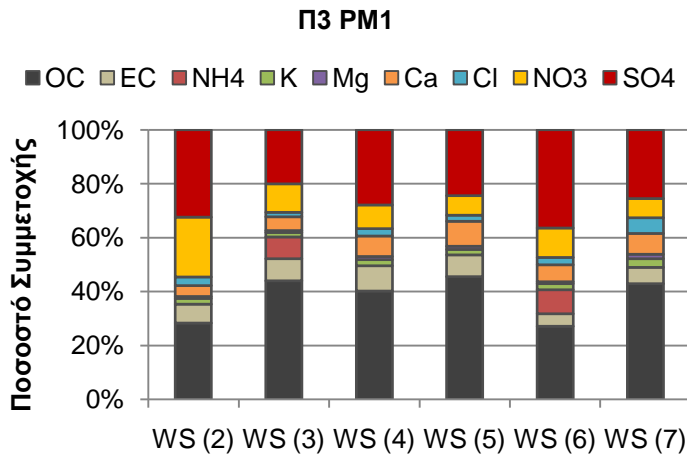
Σχήμα 4.57 γ)



Σχήμα

4.57

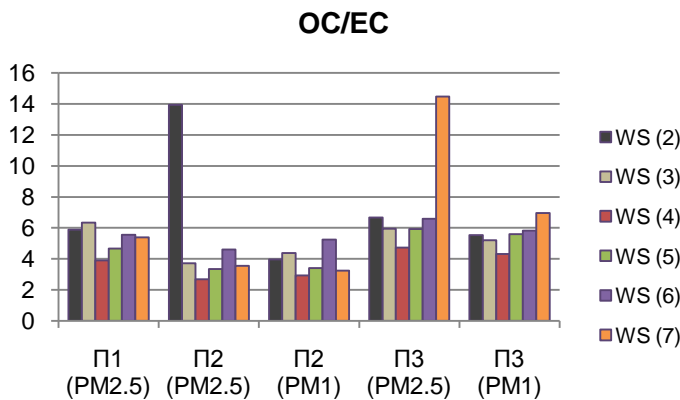
δ)



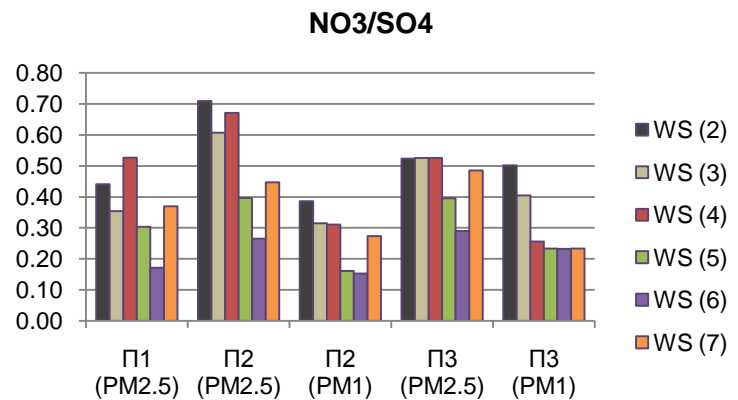
Σχήμα 4.57 ε)

Σχήμα 4.57: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

Ο λόγος OC/EC παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 2 σε κάθε περίπτωση (Σχήμα 4.58 α) με ιδιαίτερες αυξομειώσεις, ενώ παρατηρείται για άλλη μια φορά επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών (Σχήμα 4.58 β) με τη μεγαλύτερη επικράτηση να παρουσιάζεται στα PM_1 έναντι των $PM_{2.5}$.



Σχήμα 4.58 α)



Σχήμα 4.58 β)

Σχήμα 4.58: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.58 α) και του λόγου NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.58 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

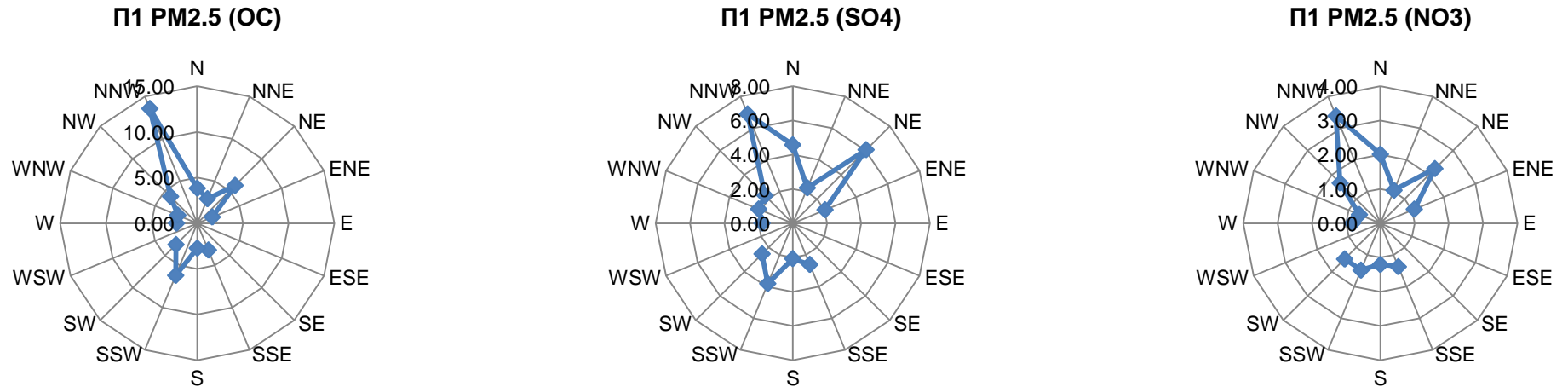
Σχετικά με την κατεύθυνση του ανέμου που ευνοεί περισσότερο την αύξηση των συγκεντρώσεων, παρατηρούμε ότι τόσο ο οργανικός άνθρακας όσο και τα θειικά και νιτρικά ιόντα, στο σταθμό Π1, φαίνεται να ευνοούνται από NNW ανέμους (Σχήμα 4.59). Παρόμοια

συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε και για το σταθμό Π2 στα PM_1 (Σχήμα 4.62), ενώ στα $PM_{2.5}$ του ίδιου σταθμού διαφοροποίηση παρατηρείται στα νιτρικά ιόντα που ευνοούνται από Ν διευθύνσεις (Σχήμα 4.60). Πιο σύνθετη εικόνα παρατηρούμε στο σταθμό Π3, στα $PM_{2.5}$ τόσο ο οργανικός άνθρακας όσο και τα θειικά ιόντα ευνοούνται από NNW διευθύνσεις, ενώ τα νιτρικά από SW (Σχήμα 4.61). Στα PM_1 του ίδιου σταθμού, οι νότιες συνιστώσες φαίνεται να ευνοούν την αύξηση των συγκεντρώσεων με την SSW διεύθυνση να υπερτερεί όσον αφορά τα θειικά και νιτρικά ιόντα και την SSE αναφορικά με τον οργανικό άνθρακα (Σχήμα 4.63).

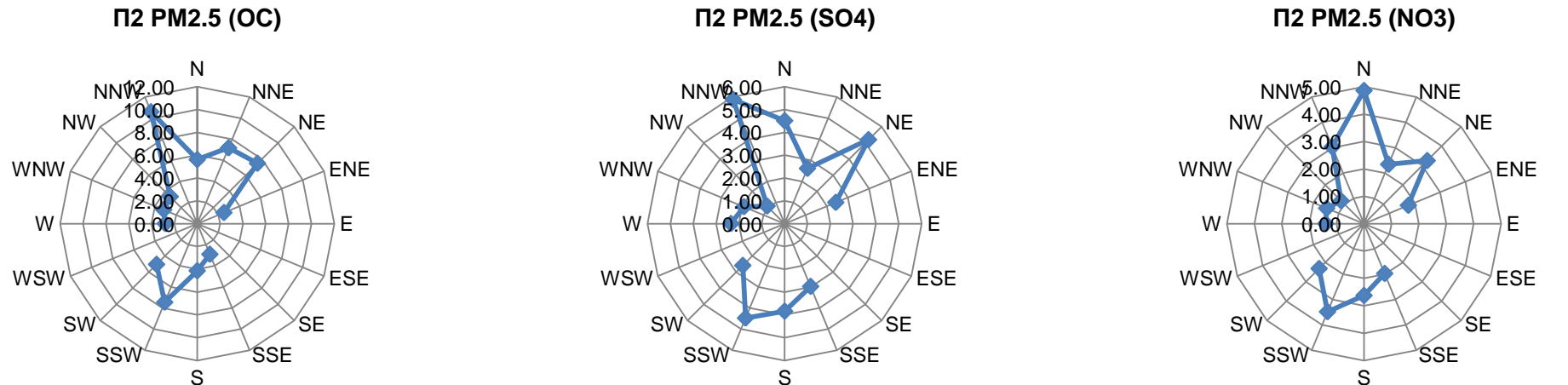
Σχετικά με το λόγο OC/EC (Σχήμα 4.64), στο σταθμό Π1 παίρνει τις μεγαλύτερες του τιμές για S διευθύνσεις, στο σταθμό Π2 για SSW και NW στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα, ενώ στο σταθμό Π3 για NNW και SSE σχετικά με τα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Ο λόγος NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.65) δείχνει να ευνοείται από τη Βόρεια συνιστώσα με μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια NW στους σταθμούς Π1, Π2 και N,NE στον Π3 στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Πιο πολύπλοκη η εικόνα όσον αφορά τη διεύθυνση που παρουσιάζεται η μεγαλύτερη επικράτηση των σταθερών πηγών (WNW στον Π1, NNW και ENE στον Π2 στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα, NNW και SSE στον Π3 στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα). Η επικράτηση του όξινου χαρακτήρα έναντι του αλκαλικού στα αερολύματα (Σχήμα 4.66) φαίνεται να ευνοείται από πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση αναδεικνύοντας τις πολλές και διασκορπισμένες πηγές εκπομπής.

Χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση εμφανίζεται η συμμετοχή (%) των χημικών ενώσεων αναφορικά με τη θερμοκρασία (Σχήμα 4.67) όσο και τη σχετική υγρασία (Σχήμα 4.68) εκτός της ελαφρά πιο αυξημένης συμμετοχής του εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} και του θαλασσινής προέλευσης Cl^- στη μάζα των αερολυμάτων κατά τη διάρκεια τέτοιων επεισοδίων. Ο δείκτης OC/EC και στις δύο περιπτώσεις (Σχήματα 4.69 α, β) εμφανίζεται πάνω από την οριακή τιμή 2 χαρακτηριστικό του δευτερογενούς σχηματισμού οργανικού άνθρακα. Σε κάθε περίπτωση αναφορικά τόσο με τη θερμοκρασία (Σχήμα 4.70 α) όσο και με τη σχετική υγρασία (Σχήμα 4.70 β), επικρατούν οι σταθερές έναντι των κινητών πηγών χωρίς να φαίνεται να επικρατεί η μετεωρολογία έναντι των πηγών εκπομπής. Τάση αύξησης της υπερίσχυσης των σταθερών πηγών αυξανόμενης της θερμοκρασίας εμφανίζεται στους σταθμούς Π2-Π3 στα $PM_{2.5}$. Τάση μείωσης της υπερίσχυσης των σταθερών πηγών αυξανόμενης της σχετικής υγρασίας στην περίπτωση των PM_1 στον Π3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

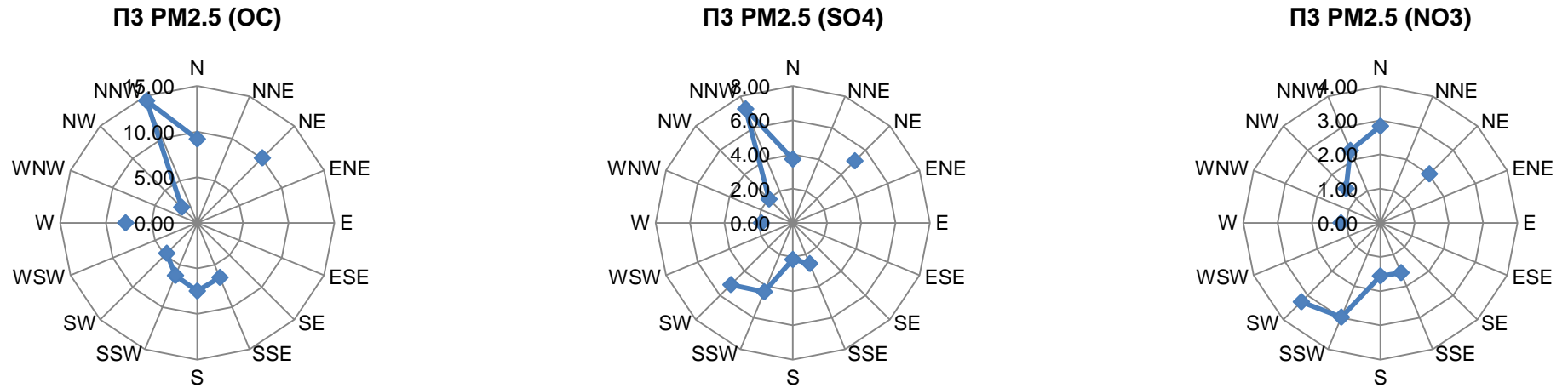


Σχήμα 4.59: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

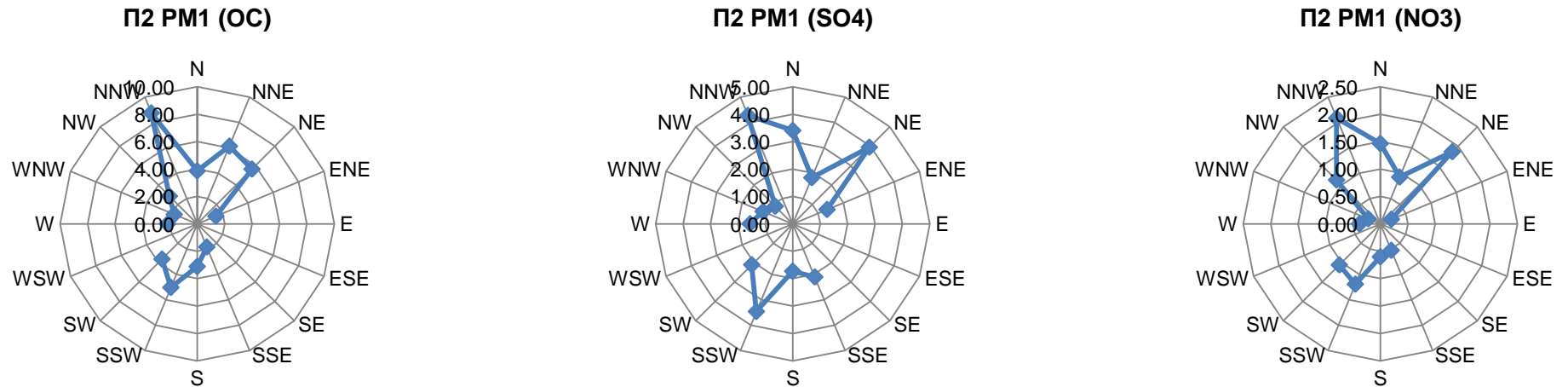


Σχήμα 4.60: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

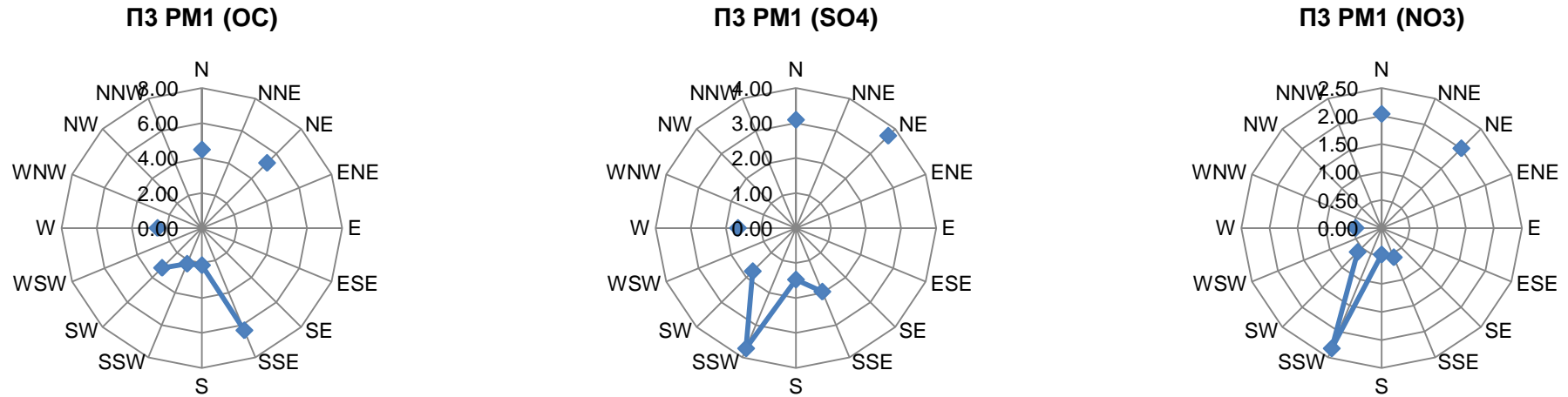


Σχήμα 4.61: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

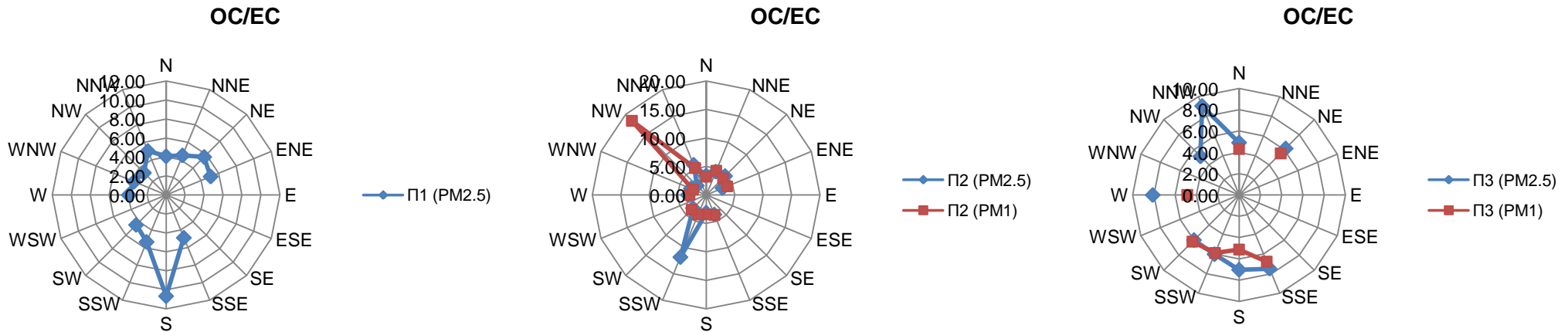


Σχήμα 4.62: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα PM_1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.63: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα PM_1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.64 α)

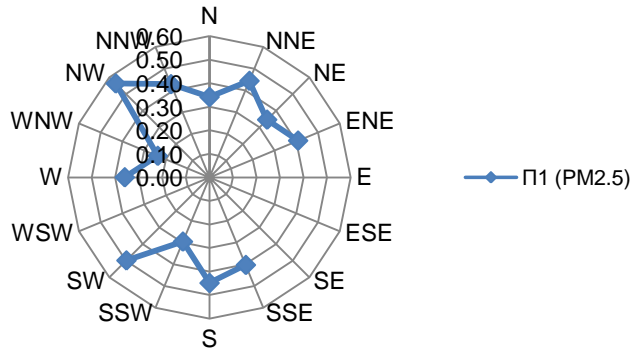
Σχήμα 4.64 β)

Σχήμα 4.64 γ)

Σχήμα 4.64: Radarchart των Τιμών του Δείκτη OC/EC Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.64 α), Π2 (Σχήμα 4.64 β) και Π3 (Σχήμα 4.64 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

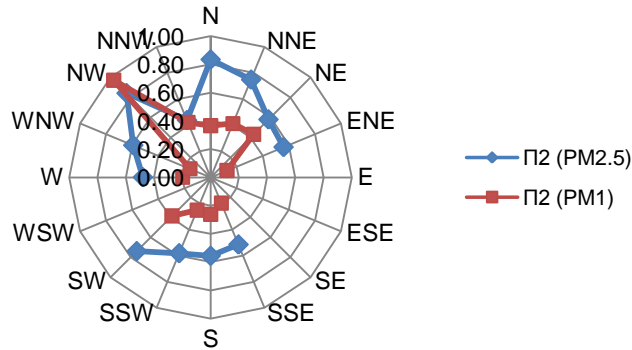
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

NO₃/SO₄



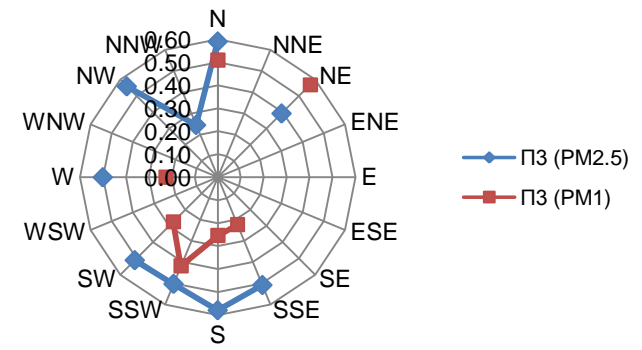
Σχήμα 4.65 α)

NO₃/SO₄



Σχήμα 4.65 β)

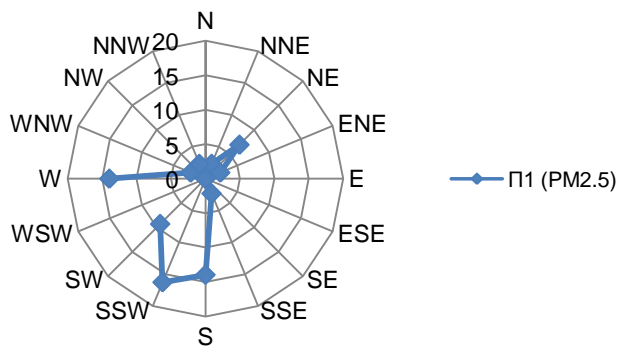
NO₃/SO₄



Σχήμα 4.65 γ)

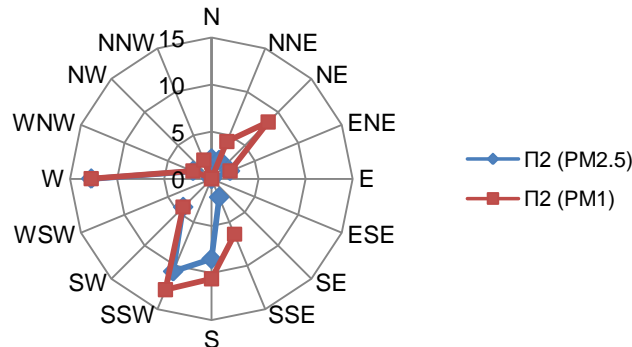
Σχήμα 4.65: Radarchart των Τιμών του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.65 α), Π2 (Σχήμα 4.65 β) και Π3 (Σχήμα 4.65 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

Όξινο Χαρακτήρας (%)



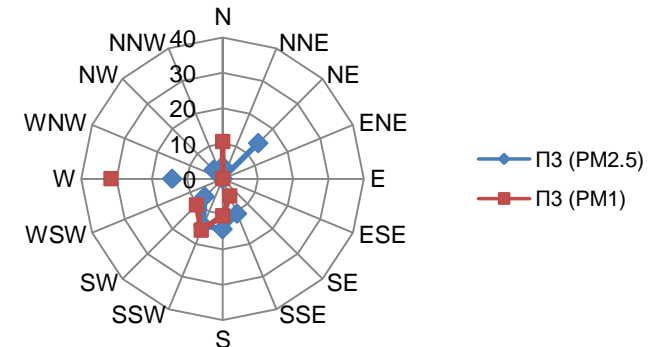
Σχήμα 4.66 α)

Όξινο Χαρακτήρας (%)



Σχήμα 4.66 β)

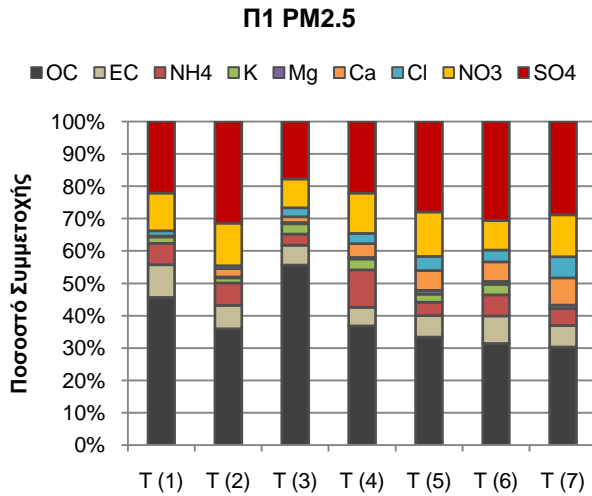
Όξινο Χαρακτήρας (%)



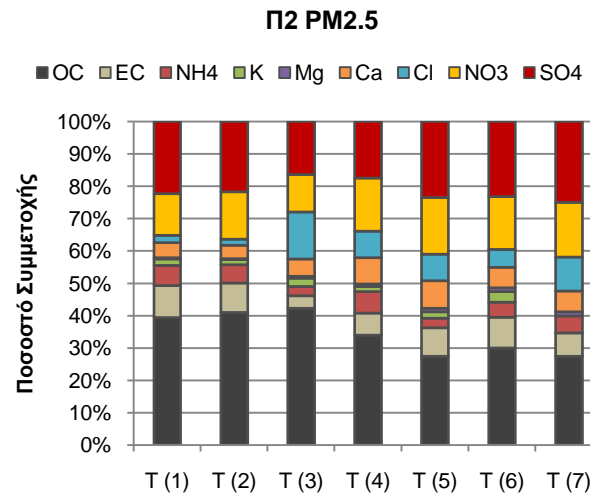
Σχήμα 4.66 γ)

Σχήμα 4.66: Radarchart της Επικράτησης του Όξινου Χαρακτήρα (%) Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.66 α), Π2 (Σχήμα 4.66 β) και Π3 (Σχήμα 4.66 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

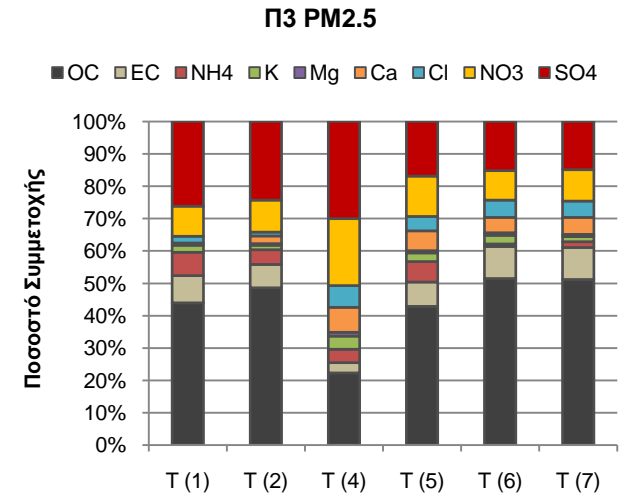
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



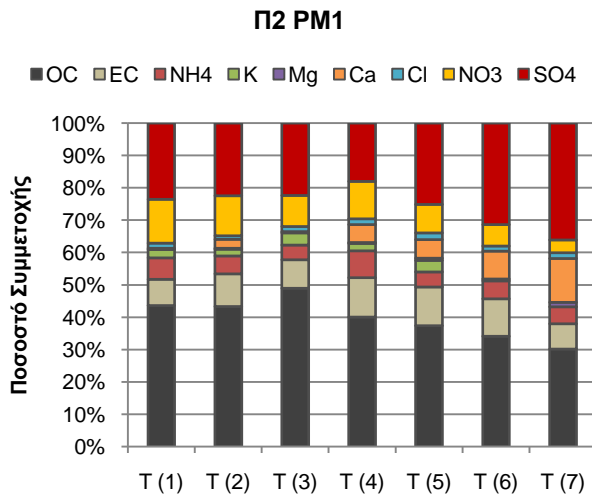
Σχήμα 4.67 α)



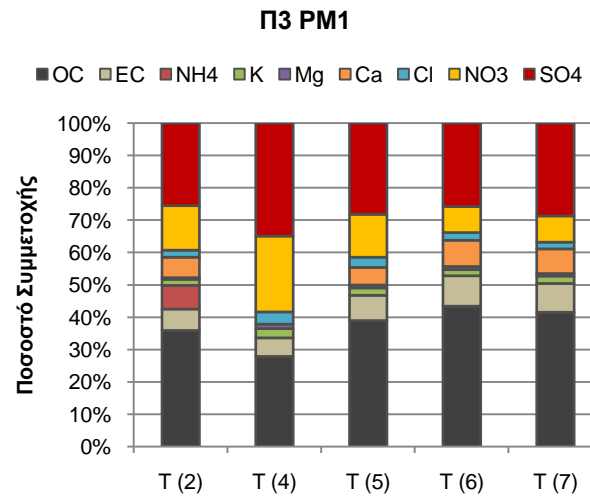
Σχήμα 4.67 β)



Σχήμα 4.67 γ)



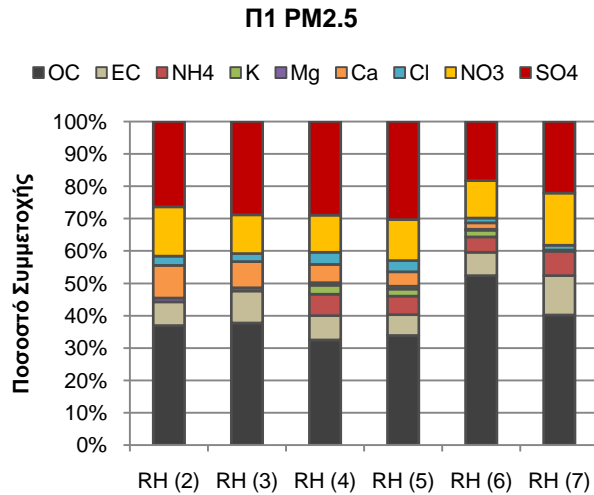
Σχήμα 4.67 δ)



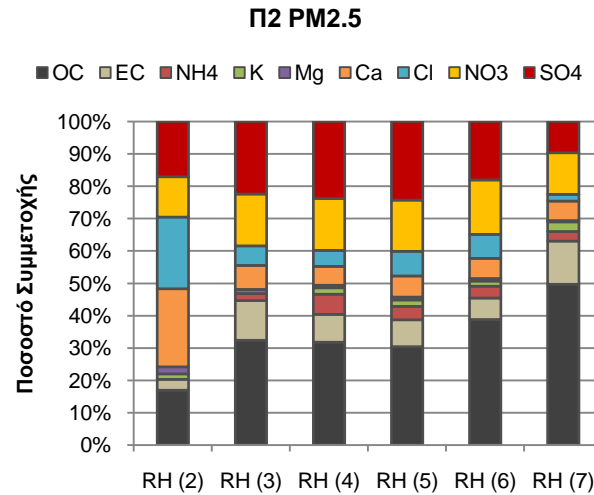
Σχήμα 4.67 ε)

Σχήμα 4.67: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

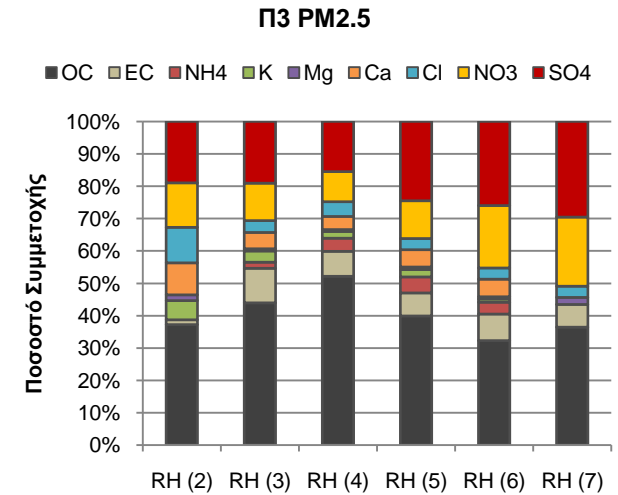
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



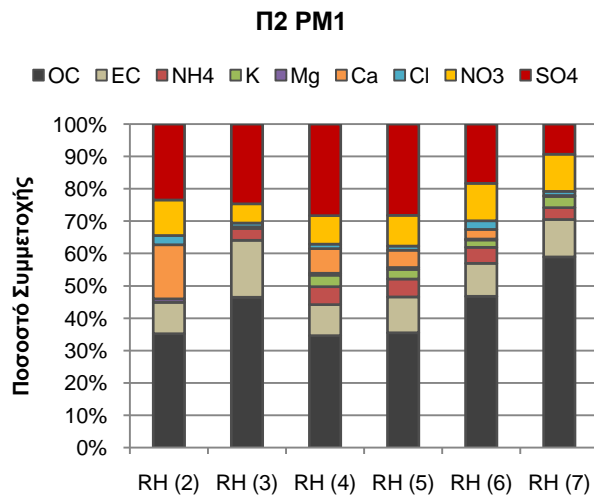
Σχήμα 4.68 α)



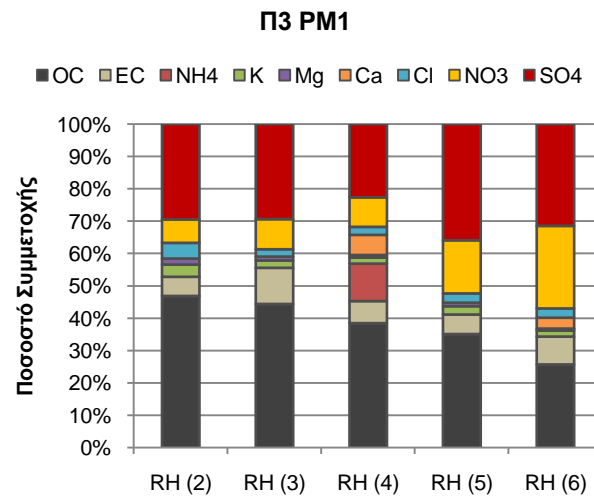
Σχήμα 4.68 β)



Σχήμα 4.68 γ)



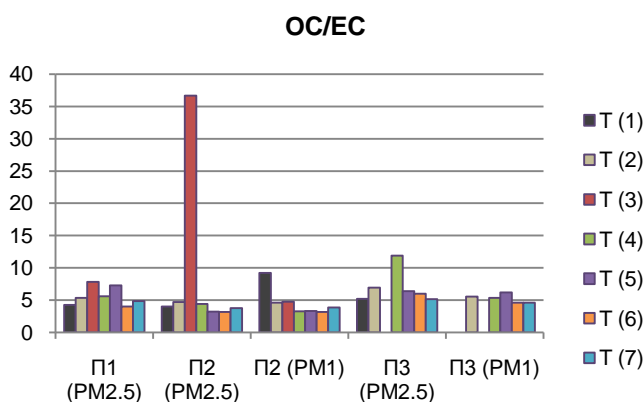
Σχήμα 4.68 δ)



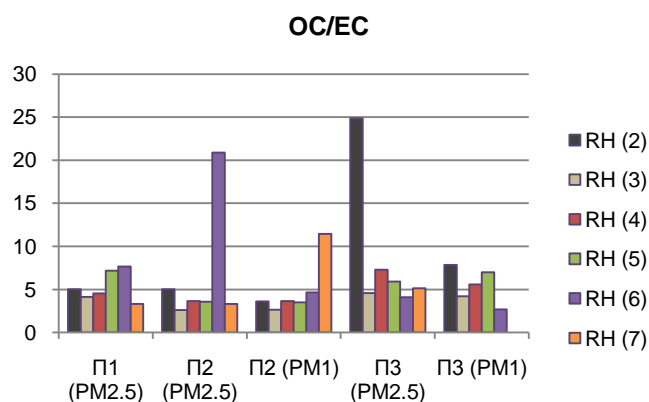
Σχήμα 4.68 ε)

Σχήμα 4.68: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

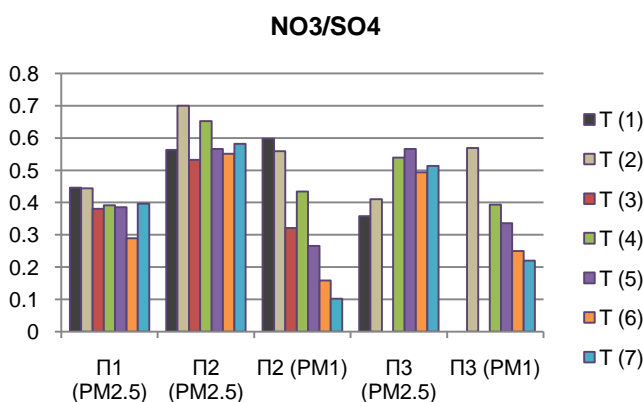


Σχήμα 4.69 α)

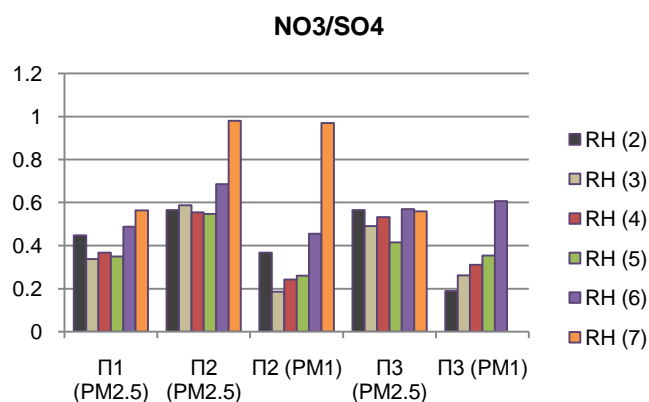


Σχήμα 4.69 β)

Σχήμα 4.69: Διακύμανση του Λόγου OC/EC σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας (Σχήμα 4.69 α) και της σχετικής Υγρασίας (Σχήμα 4.69 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.70 α)

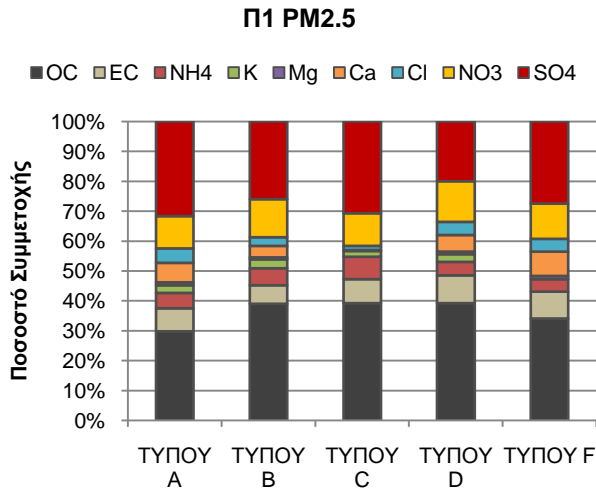


Σχήμα 4.70 β)

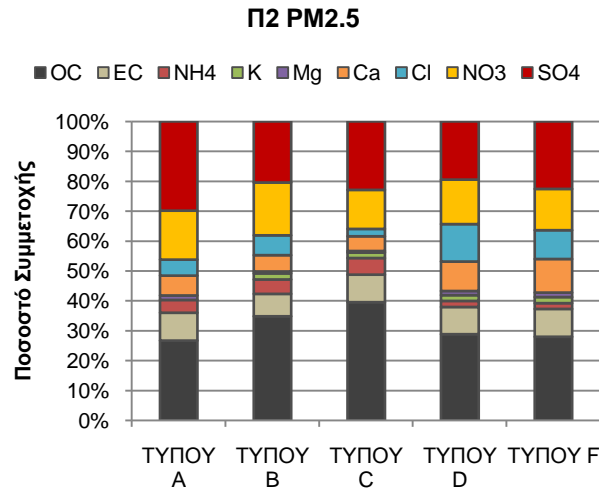
Σχήμα 4.70: Διακύμανση του Λόγου NO_3^-/SO_4^{2-} σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας (Σχήμα 4.70 α) και της σχετικής Υγρασίας (Σχήμα 4.70 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

Σχετικά με τη μελέτη της χημικής σύστασης ανάλογα με τον επιφανειακό άνεμο που επικρατεί, πρώτη χημική ένωση σε κάθε περίπτωση και τύπο κατέχει ο οργανικός άνθρακας ακολουθούμενος από τα θειικά και νιτρικά ιόντα (Σχήμα 4.71). Εξάιρεση οι σταθμοί Π1 και Π2 (στα $PM_{2.5}$) όπου στον επιφανειακό άνεμο τύπου A υπερτερούν τα θειικά ιόντα ακόμα, ο σταθμός Π3 στα PM_1 όπου στον επιφανειακό άνεμο τύπου C επικρατούν για μια ακόμη φορά τα θειικά. Σε κάθε περίπτωση, εκτός του σταθμού Π3 στα PM_1 , οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Cl^- παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου D, το ίδιο αποτέλεσμα ισχύει και για το εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} .

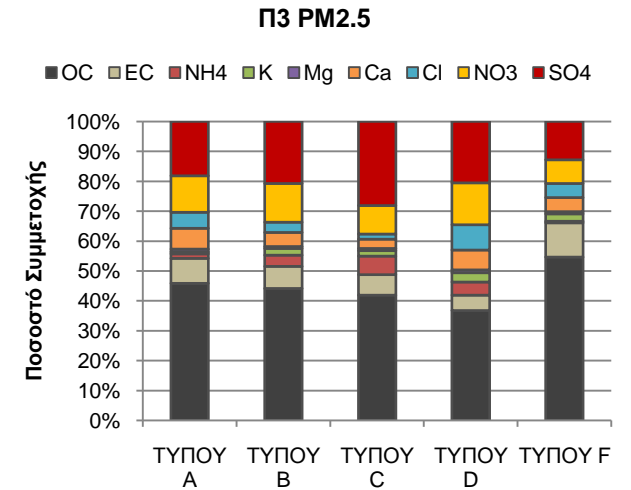
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



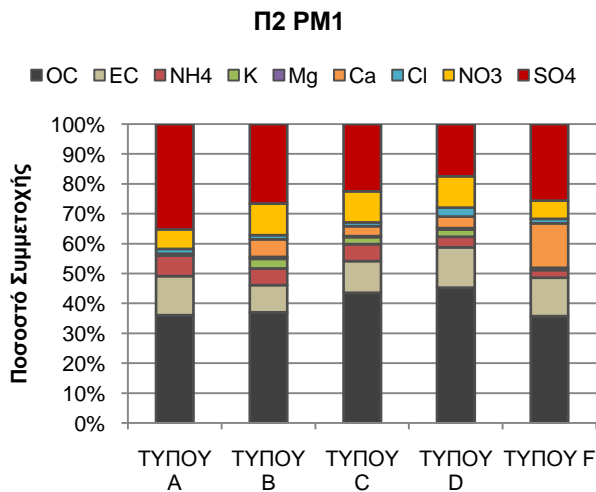
Σχήμα 4.71 α)



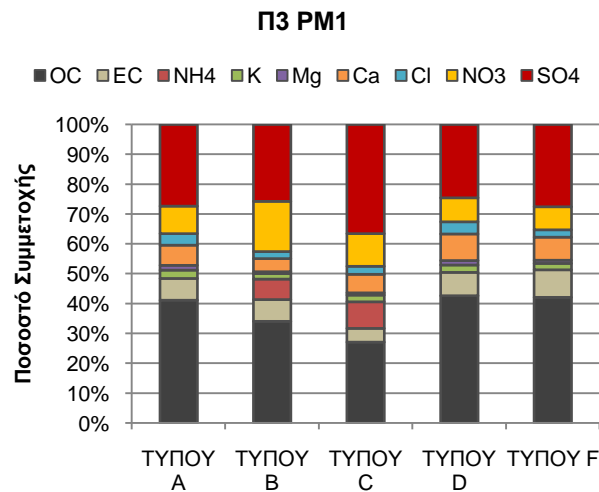
Σχήμα 4.71 β)



Σχήμα 4.71 γ)



Σχήμα 4.71 δ)

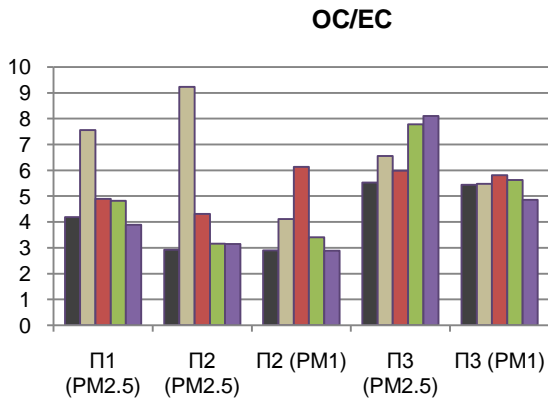


Σχήμα 4.71 ε)

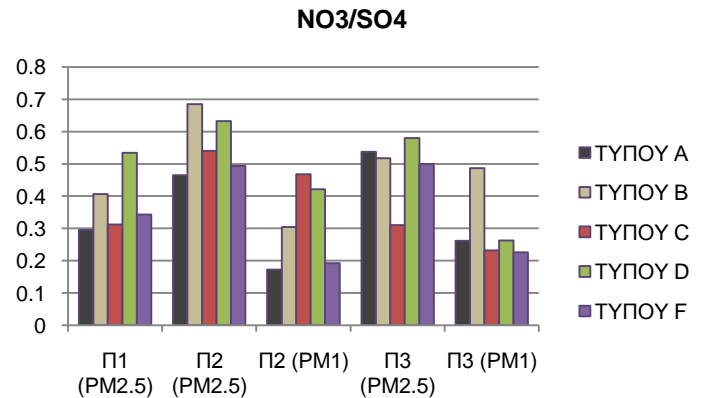
Σχήμα 4.71: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

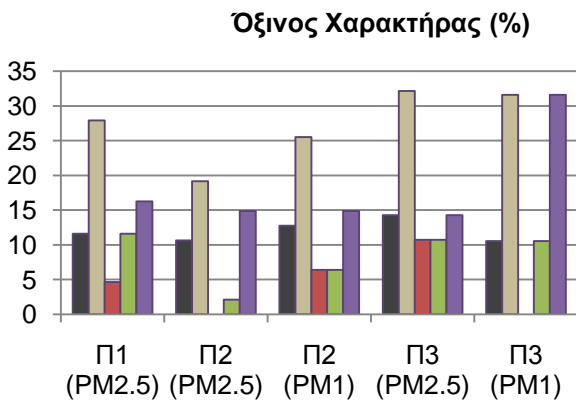
Ο δευτερογενής σχηματισμός οργανικών ενώσεων (Σχήμα 4.72 α) φαίνεται να ευνοείται από ανέμους τύπου B για το σταθμό Π1 και Π2 στα $PM_{2.5}$, ανέμους τύπου C για το σταθμό Π2 και Π3 στα PM_1 και τύπου F για το σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$. Οι σταθερές πηγές υπερτερούν σε κάθε περίπτωση (Σχήμα 4.72 β) με μεγαλύτερη ενίσχυση κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου A (σταθμοί Π1 και Π2) και τύπου C (σταθμός Π3). Ο όξινος χαρακτήρας (Σχήμα 4.72 γ) των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 4.72 α)



Σχήμα 4.72 β)



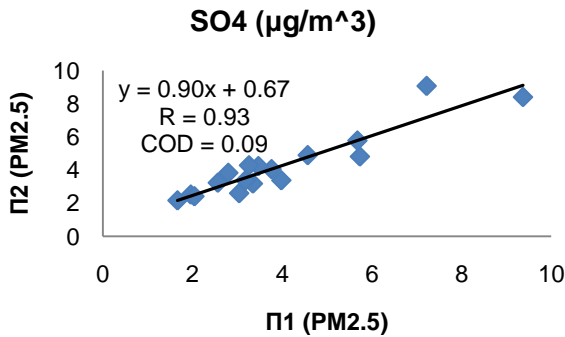
Σχήμα 4.72 γ)

Σχήμα 4.72: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.72 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.72 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.72 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

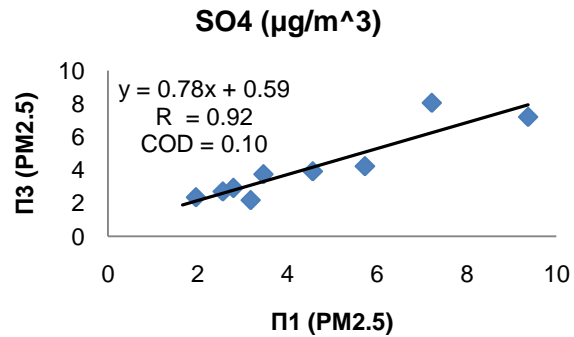
Η προσπάθεια μελέτης της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας αναδεικνύει κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B (Σχήμα 4.73) εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί συντελεστές ανάμεσα και στους τρεις σταθμούς με την κλίση να προσεγγίζει τη μονάδα στην περίπτωση των Π1-Π2 και Π2-Π3 και στα δύο κλάσματα πιθανολογώντας αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Σχετικά με τον άνεμο τύπου D, το ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να βγάλουμε για την περίπτωση των σταθμών Π1- Π2 (Σχήμα 4.74 α). Κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C πιθανολογούμε αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των σταθμών στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.75). Πιθανά φαινόμενα μεταφοράς παρατηρούμε και στην

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

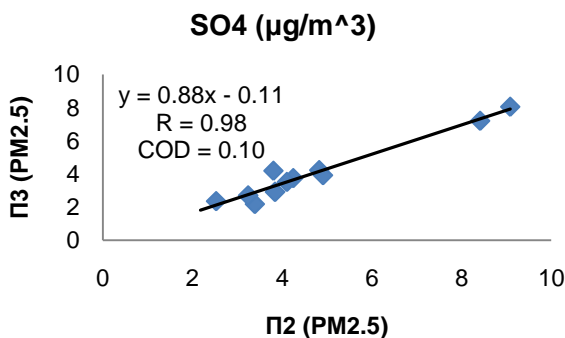
περίπτωση των επιφανειακών ανέμων τύπου A (Σχήμα 4.76) και F (Σχήμα 4.74 β) ανάμεσα στους σταθμούς Π1 - Π2. Σχετικά με τη συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τους υπό εξέταση επικίνδυνους ρύπους (Πίνακας 4.16), οι τιμές κυμαίνονται από στατιστικά σημαντικούς μέχρι ασήμαντους δείκτες αναδεικνύοντας το σύνθετο χαρακτήρα των ανόργανων και οργανικών ρύπων. Τα θειικά ιόντα φαίνεται να συσχετίζονται με τη μάζα των αερολυμάτων κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C (εκτός του σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$) δείχνοντας κοινές πηγές εκπομπής.



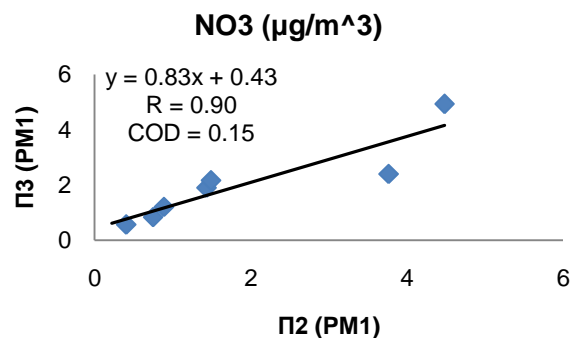
Σχήμα 4.73 α)



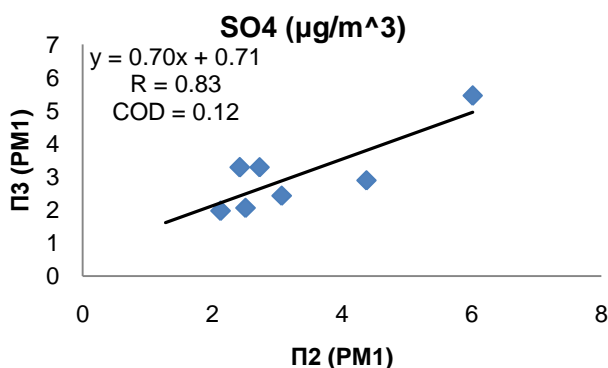
Σχήμα 4.73 β)



Σχήμα 4.73 γ)



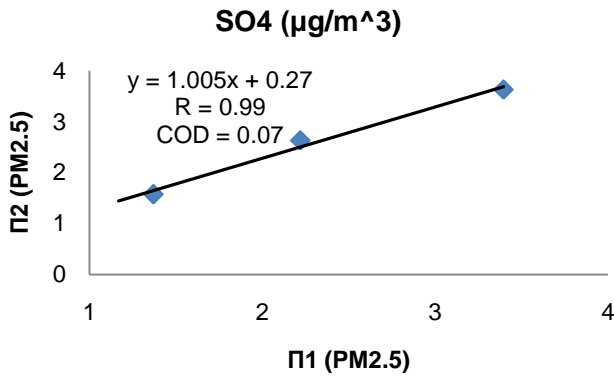
Σχήμα 4.73 δ)



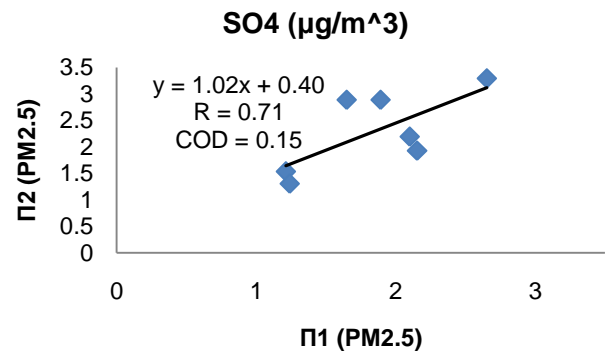
Σχήμα 4.73 ε)

Σχήμα 4.73: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} (Σχήμα 4.73 α-γ) στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ και των χημικών Ενώσεων NO_3^- (Σχήμα 4.73 δ) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.73 ε) στο Κλάσμα των PM_1 κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Β, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

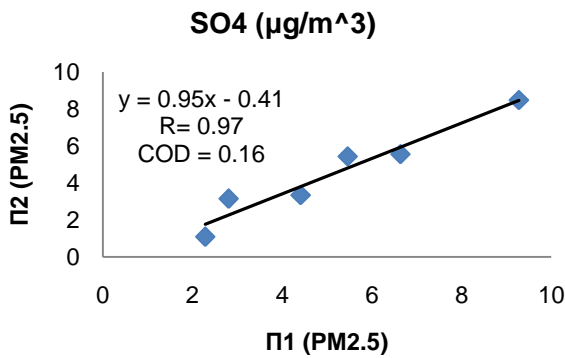


Σχήμα 4.74 α)

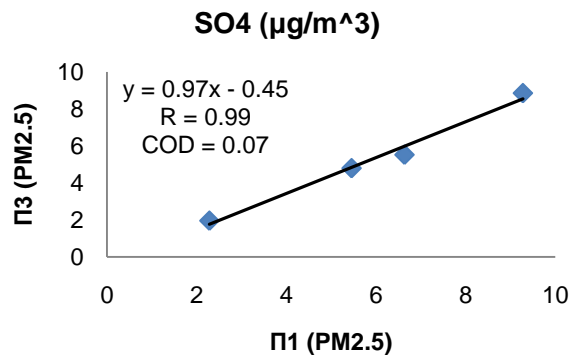


Σχήμα 4.74 β)

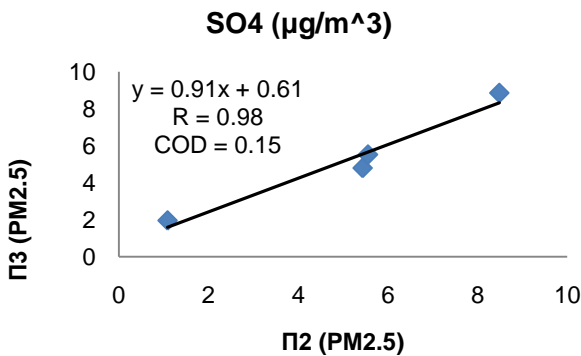
Σχήμα 4.74: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου D (Σχήμα 4.74 α) και F (Σχήμα 4.74 β), Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.



Σχήμα 4.75 α)



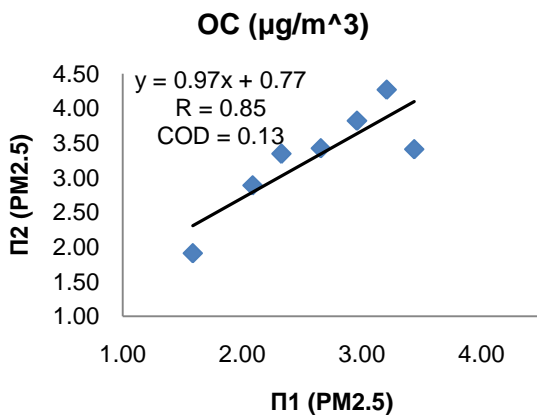
Σχήμα 4.75 β)



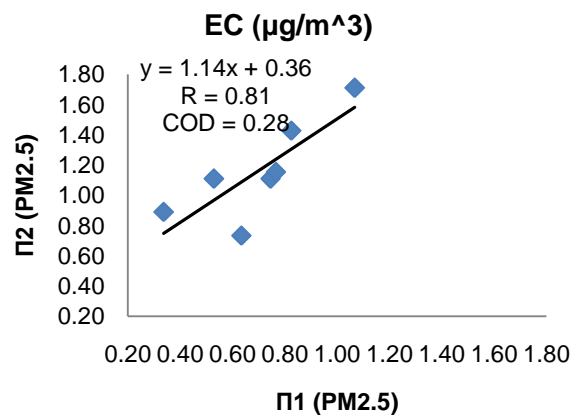
Σχήμα 4.75 γ)

Σχήμα 4.75: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου C, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

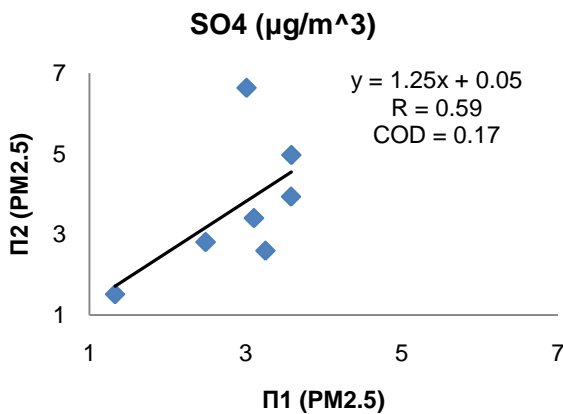
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



Σχήμα 4.76 α)



Σχήμα 4.76 β)



Σχήμα 4.76 γ)

Σχήμα 4.76: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων *OC* (Σχήμα 4.76 α), *EC* (Σχήμα 4.76 β) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.76 γ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Α, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.16: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων και των Χημικών Ενώσεων OC , EC , NO_3^- και SO_4^{2-} Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.

$\Pi 1$	$OC - PM_x$	$EC - PM_x$	$NO_3^- - PM_x$	$SO_4^{2-} - PM_x$
ΤΥΠΟΥ Α	0.20	-0.31	0.24	-0.44
ΤΥΠΟΥ Β	0.89	0.58	0.78	0.33
ΤΥΠΟΥ C	0.98	0.95	0.97	0.23
ΤΥΠΟΥ D	0.92	0.86	0.88	0.87
ΤΥΠΟΥ F	0.11	-0.29	0.34	-0.21
$\Pi 2 PM_{2.5}$				
ΤΥΠΟΥ Α	0.46	-0.08	0.60	0.52
ΤΥΠΟΥ Β	0.71	0.22	0.66	0.55
ΤΥΠΟΥ C	0.99	0.88	0.92	0.08
ΤΥΠΟΥ D	0.27	0.36	0.73	0.92
ΤΥΠΟΥ F	0.23	-0.26	0.74	0.34
$\Pi 3 PM_{2.5}$				
ΤΥΠΟΥ Α	0.17	0.05	0.75	0.51
ΤΥΠΟΥ Β	0.08	-0.48	0.06	-0.05
ΤΥΠΟΥ C	0.47	0.20	0.92	0.80
ΤΥΠΟΥ D	0.81	-0.49	-0.73	-0.71
ΤΥΠΟΥ F	-0.72	-0.88	0.67	0.17
$\Pi 2 PM_1$				
ΤΥΠΟΥ Α	0.14	0.17	0.76	-0.22
ΤΥΠΟΥ Β	0.98	0.84	0.87	0.44
ΤΥΠΟΥ C	0.97	0.80	0.91	-0.07
ΤΥΠΟΥ D	0.98	0.89	0.93	0.95
ΤΥΠΟΥ F	-0.26	-0.33	0.86	0.07
$\Pi 3 PM_1$				
ΤΥΠΟΥ Α				
ΤΥΠΟΥ Β	-0.22	-0.17	0.59	0.68
ΤΥΠΟΥ C				
ΤΥΠΟΥ D	-0.65	-0.30	-0.42	-0.16
ΤΥΠΟΥ F	0.88	-0.09	0.46	0.52

4.3 Συμπεράσματα

Συγκεντρώσεις

1. Παρατηρούμε αυξημένα επεισόδια αερομεταφερόμενης σκόνης στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου (66% στις συνολικές ημέρες).
2. Παρατηρούνται αυξημένα επεισόδια μεταφοράς σκόνης κατά τη διάρκεια της άνοιξης και ειδικά του Μαρτίου (70.9% των συνολικών ημερών του μήνα).
3. Επιβεβαιώνεται η παρατήρηση ότι τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των αερολυμάτων με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κυρίως κατά τις περιόδους της άνοιξης.
4. Πάνω από το 61% των υπερβάσεων παρατηρούνται κατά τις ημέρες με αερομεταφερόμενη σκόνη. Το ποσοστό φτάνει μέχρι και το 95% (PM_{10} στον Π3).
5. Αυξημένο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται κατά τις ανεπηρέαστες, από αερομεταφερόμενη σκόνη, ημέρες. Έτσι αναδεικνύεται η αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης.
6. Κατά τη διάρκεια επεισοδίων αερομεταφερόμενης σκόνης ο λόγος $PM_{10}/PM_{2.5}$, κυμάνθηκε από 0.29 – 0.64 με μέση τιμή 0.47 στην περιοχή Π2 κατά το μήνα Απρίλιο αναδεικνύοντας την υπερίσχυση των πρωτογενών πηγών παραγωγής αερολυμάτων.
7. Η μοναδική περίπτωση όπου ο δείκτης $PM_{10}/PM_{2.5}$ κυμάνθηκε κάτω από τα 0.5 είναι κατά το μήνα Απρίλιο στο σταθμό Π2 τόσο στα επεισόδια αερομεταφερόμενης σκόνης όσο και στην απουσία τους. Συμπεραίνουμε άρα την υπερίσχυση των μεγαλύτερων σωματιδίων σε σχέση με τα μικρότερα κατά αυτό τον μήνα.
8. Η μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση του κλάσματος των $PM_{2.5}$ στους σταθμούς Π1, Π2 και Π3 είναι 32.61 ± 18.66 , 36.48 ± 15.94 και 38.22 ± 14.33 αντίστοιχα.
9. Η μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση του κλάσματος των PM_{10} στους σταθμούς Π2 και Π3 είναι 25.73 ± 13.95 και 38.36 ± 9.45 αντίστοιχα.
10. Λόγω απουσίας δειγμάτων τη θερμή περίοδο που έχουμε έντονη φωτοχημική δραστηριότητα δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εποχική συμπεριφορά των αερολυμάτων.
11. Οι συγκεντρώσεις στο σταθμό υποβάθρου (Π1) είναι πιο μειωμένες σε σχέση με τους υπόλοιπους δύο.
12. Ο Αστικός- Κυκλοφορίας σταθμός Π3 εμφανίζει τις υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις τόσο στα $PM_{2.5}$ όσο και στα PM_{10} .
13. Παρουσιάζεται ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των σταθμών Π1 – Π2 και Π2 – Π3 και πιθανολογούμε επιρροή από φαινόμενα μεταφοράς κυρίως μεταξύ των σταθμών Π1 – Π2 αναφορικά με το κλάσμα των $PM_{2.5}$.

14. Επιβεβαιώνεται ο ισχυρισμός ότι οι συγκεντρώσεις είναι πιο αυξημένες κατά τη διάρκεια των Καθημερινών σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα σε όλους του σταθμούς και στα δύο κλάσματα.
15. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά την ημέρα της Κυριακής σε σχέση με το Σάββατο παρόλο που και τις δύο ημέρες επικρατούσαν οι ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες.
16. Η ομοιογένεια μεταξύ δύο σταθμών (χαμηλή τιμή του συντελεστή COD) δε συνεπάγεται ομοιομορφία (υψηλή θετική τιμή του συντελεστή συσχέτισης R) και το αντίστροφο.
17. Οι μεγαλύτερες διαφορές συγκεντρώσεων ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ημέρες παρατηρούνται ανάμεσα σε μέρα Καθημερινής με Σαββατοκύριακο με μεγαλύτερη να εμφανίζεται στον Π2 και για τα δύο κλάσματα, ($65.22 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 23.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) στα $\text{PM}_{2.5}$ και στον ίδιο σταθμό ($50.92 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 14.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σχετικά με τα PM_1
18. Ο λόγος $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ παίρνει τιμές από 0.33 – 0.98 συνολικά, ενώ η μέση τιμή του είναι 0.69 και 0.82 στους σταθμούς Π2 και Π3 αντίστοιχα.
19. Ο λόγος $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ εμφανίζεται αυξημένος κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου σε σχέση με τις Καθημερινές
20. Τα PM_1 και $\text{PM}_{2.5}$ εμφανίζονται ισχυρά θετικά συσχετισμένα ($R= 0.94$) στο σταθμό Π2 αναδεικνύοντας τις κοινές πηγές παραγωγής μεταξύ των δύο κλασμάτων.
21. Σχετικά με το ποσοστό υπερβάσεων παρατηρούμε αυξημένο ποσοστό κυρίως κατά τη διάρκεια των Καθημερινών με κυρίαρχο το σταθμό Π2. Το ποσοστό των υπερβάσεων κυμαίνεται από 37.5% - 77.8% στα $\text{PM}_{2.5}$ με μοναδική περίπτωση που εμφανίζεται κάτω από το 50% την περίπτωση του σταθμού Π1 στο σύνολο των Σαββατοκύριακων. Κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου παίρνει τιμές από 25% - 75% με μοναδική περίπτωση που εμφανίζεται κάτω από το 50% την περίπτωση του σταθμού Π1 στο σύνολο των Σάββατων. Στα PM_1 εμφανίζεται σε κάθε περίπτωση πάνω από το 50%.
22. Μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται στο σταθμό Π2 στο κλάσμα των $\text{PM}_{2.5}$ με ποσοστό 80%.

Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

23. Κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, η μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση του κλάσματος των $\text{PM}_{2.5}$ στους σταθμούς Π1, Π2 και Π3 είναι 26.21 ± 14.97 , 33.22 ± 15.86 και 42.41 ± 28.14 αντίστοιχα
24. Κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, η μέση τιμή \pm τυπική απόκλιση του κλάσματος των PM_1 στους σταθμούς Π2 και Π3 είναι 18.93 ± 11.58 και 20.67 ± 8.64 αντίστοιχα
25. Χαμηλότερες μέσες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια επεισοδίων σκόνης της τάξης των 4.6% - 26.9% με μοναδική εξαίρεση το σταθμό Π3 για τα $\text{PM}_{2.5}$ όπου παρουσιάζει αύξηση της τάξης των 5.2% σε σχέση με τις ανεπηρέαστες από την αερομεταφερόμενη σκόνη ημέρες.

26. Αξίζει να σημειωθούν οι ημερομηνίες 20/03-22/03 όπου οι συγκεντρώσεις εμφανίζουν αύξηση ακόμα και 200% πάνω από τα όρια των υπερβάσεων.
27. Ο σταθμός υποβάθρου Π1 παραμένει ο σταθμός με τις χαμηλότερες μέσες συγκεντρώσεις.
28. Οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι πιο αυξημένες από τις αντίστοιχες σε προηγούμενες μελέτες σε Ελλάδα και Ιταλία
29. Παρατηρείται ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των σταθμών Π1 – Π2 ..
30. Παρατηρούμε όμως ότι καθώς μειώνεται η αεροδυναμική διάμετρος των αερολυμάτων, παρατηρείται μικρή ενίσχυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας.
31. Παρουσιάζονται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων σε σχέση με τις Καθημερινές και στα δύο κλάσματα με εξαίρεση το σταθμό Π3, στο κλάσμα των $PM_{2.5}$.
32. Όσον αφορά το κλάσμα των $PM_{2.5}$ η διαφορά ανάμεσα σε Καθημερινές- Σαββατοκύριακα κυμαίνεται από 7.32% - 14.8% με τη μεγαλύτερη διαφορά στο σταθμό υποβάθρου Π1.
33. Οι αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια των ημερών χωρίς την επιρροή φαινομένων μεταφοράς σκόνης ενισχύει τον ισχυρισμό μας για αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης στην περιοχή του λεκανοπεδίου.
34. Στο σύνολο των ημερών ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$, παίρνει τιμές από 0.29 – 0.83 και από 0.23 – 0.92 στους σταθμούς Π2 και Π3 αντίστοιχα ενώ η μέση του τιμή είναι 0.57 και 0.52 στους σταθμούς Π2 και Π3 αντίστοιχα. Η τιμή είναι χαμηλότερη από τις ανεπηρέαστες ημέρες αναδεικνύοντας την υπερίσχυση των μεγαλύτερων σωματιδίων κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης.
35. Η συσχέτιση των $PM_{2.5}$ με τα PM_1 στο σταθμό Π2, εμφανίζεται ισχυρά σημαντική ($R= 0.86$) αναδεικνύοντας κοινές πηγές παραγωγής.
36. Στο σταθμό Π3 δεν παρουσιάζεται στατιστικά σημαντικός συντελεστής και εμφανίζεται μέτρια συσχέτιση ($R= 0.59$) αναδεικνύοντας τον πολύπλοκο χαρακτήρα των αερολυμάτων.
37. Το ποσοστό των υπερβάσεων (%) παρουσιάζεται αυξημένο κατά τη διάρκεια των ημερών του Σαββατοκύριακου.
38. Το ποσοστό των υπερβάσεων κυμαίνεται από 39.53% - 100% στα $PM_{2.5}$. Κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου παίρνει τιμές από 60% - 100%. Σε σχέση με τις ανεπηρέαστες ημέρες η μοναδική περίπτωση που είναι μεγαλύτερο είναι κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων με αυξημένα ποσοστά της τάξης των 26.14% και 12.50% σχετικά με τους Π2 και Π3 αντίστοιχα. Στο σύνολο των ημερών οι ανεπηρέαστες ημέρες εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά της τάξης του 10.47% και 10.80% στους σταθμούς Π1 και Π2 αντίστοιχα. Η μοναδική περίπτωση μεγαλύτερου ποσοστού κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης είναι στο σταθμό Π3 που παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 0.79%.

39. Παρόλο που αναδείχθηκε η συνεισφορά των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης στα ποσοστά των υπερβάσεων, μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζονται κατά τις ανεπηρέαστες ημέρες άρα συμπεραίνουμε την αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης και την ιδιαίτερη ενίσχυση της κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.
40. Η αύξηση του ποσοστού των υπερβάσεων συνεπάγεται και αύξηση των μέσων συγκεντρώσεων των μετρούμενων σωματιδίων (και στα δύο κλάσματα) γεγονός που ενισχύει το παραπάνω συμπέρασμα καθώς δεν μπορεί να αποδοθεί σε τυχαία μεμονωμένα περιστατικά.
41. Αναφορικά με το σταθμό Π3, όπου εμφανίζονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις και στα δύο σενάρια (απουσία- εμφάνιση επεισοδίων σκόνης), αναδεικνύεται ο καθοριστικός ρόλος των γραμμικών πηγών εκπομπής και η συνεισφορά της κίνησης οχημάτων στις αυξημένες υπερβάσεις και συγκεντρώσεις των αερολυμάτων καθώς και η συνεισφορά φαινομένων μεταφοράς από άλλες περιοχές στην αύξηση των συγκεντρώσεων.

Χημική Σύσταση

42. Σε κάθε περιοχή και κλάσμα, σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα αερολύματα βρέθηκαν να αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από OC ακολουθούμενο από SO_4^{2-} και στη συνέχεια από NO_3^- ενώ το Mg^{2+} βρίσκεται σταθερά τελευταίο.
43. Τα επίπεδα συγκέντρωσης των θεικών και νιτρικών ιόντων στο σταθμό Π1, παρουσιάζονται αυξημένα σε σχέση με τους άλλους σταθμούς. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή στα SO_4^{2-} και τα δεύτερη μεγαλύτερη στα NO_3^- .
44. Η μέγιστη τιμή αλλά και συγκέντρωση του NO_3^- παρουσιάζεται στο σταθμό Π2.
45. Το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη σύσταση των σωματιδίων έχει την ίδια τάξη μεγέθους και στα δύο μετρούμενα κλάσματα σε κάθε σταθμό.
46. Η μεγαλύτερη διακύμανση του OC από μέρα σε μέρα παρατηρείται στο σταθμό Π2 στις 31/01/2013-01/02/2013 ($4.70 \mu g/m^3$ - $24.62 \mu g/m^3$).
47. Η μεγαλύτερη διακύμανση σχετικά με το SO_4^{2-} από μέρα σε μέρα εμφανίζεται στο σταθμό Π1 στις 18/02/2013-19/02/2013 ($6.18 \mu g/m^3$ - $1.88 \mu g/m^3$).
48. Η μεγαλύτερη διακύμανση σχετικά με το NO_3^- από μέρα σε μέρα παρουσιάζεται στο σταθμό Π2 κατά τις ημέρες 20/02/2013-21/02/2013 ($3.86 \mu g/m^3$ - $1.52 \mu g/m^3$).
49. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των χημικών ενώσεων στο σταθμό υποβάθρου Π1 εμφανίζονται στα ίδια επίπεδα με τους άλλους σταθμούς.

50. Ο σταθμός Π3 εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε OC και στα δύο μετρούμενα κλάσματα με τη μικρότερη τυπική απόκλιση γεγονός που τονίζει την απουσία ακραίων τιμών και ενισχύει την άποψη ότι η αυξημένες μέσες τιμές δεν οφείλονται σε τυχαία περιστατικά.
51. Η μάζα των αερολυμάτων είναι ισχυρά συσχετισμένη με τον OC για όλα τα κλάσματα και τις περιοχές δειγματοληψίας. Άρα η μάζα των αερολυμάτων αποτελείται από υψηλά ποσοστά οργανικού άνθρακα εκπεμπόμενη από την πηγή και δε διαμορφώνεται στην πορεία από φαινόμενα μεταφοράς.
52. Το NO_3^- είναι ισχυρά θετικά συσχετισμένα με τη μάζα των σωματιδίων σε όλους τους σταθμούς, εκτός από τον Π3. Τα νιτρικά ιόντα είναι μέρος του αερολύματος από την πηγή εκπομπής και δε δημιουργούνται από φαινόμενα μεταφοράς.
53. Το SO_4^{2-} παρουσιάζει μέτρια θετική συσχέτιση με τη μάζα των σωματιδίων σε κάθε περίπτωση, με μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση του σταθμού Π2.
54. Η ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ $OC-EC$ σε όλους τους σταθμούς και η μέτρια προς ισχυρή στο σταθμό Π3 μας πληροφορεί για την ύπαρξη κοινών πηγών μεταξύ του οργανικού και του πρωτογενούς παραγόμενου στοιχειακού άνθρακα.
55. Η ισχυρή συσχέτιση $OC-EC$ σε συνδυασμό με τη συσχέτιση PM_x-OC και PM_x-EC μας επιβεβαιώνουν την επιβάρυνση τις σωματιδιακής μάζας με οργανικές ενώσεις εκπεμπόμενες από τοπικές πηγές.
56. Πιθανολογείται επικοινωνία μέσω φαινομένων μεταφοράς μεταξύ των σταθμών Π1-Π2 σχετικά με τις χημικές ενώσεις OC, NO_3^-, EC και SO_4^{2-} καθώς και μεταξύ των Π1-Π3 σχετικά με τα θειικά ιόντα.
57. Σχετικά και με τα ανεβασμένα επίπεδα SO_4^{2-} στο σταθμό Π1, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οφείλεται τόσο σε φαινόμενα μεταφοράς από το κέντρο της πόλης (υψηλή συσχέτιση Π1-Π2) όσο και σε άμεση επιρροή από τις εκπομπές στο λιμάνι Πειραιά καθώς οι άνεμοι ήταν στο μεγαλύτερο ποσοστό Δυτικοί και ο σταθμός απέχει λίγα χιλιόμετρα από τη συγκεκριμένη περιοχή.
58. Ο λόγος OC/EC παρουσιάζει μικρό σχετικά εύρος τιμών κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου. Παρατηρούμε σταθερά μεγαλύτερες τιμές από την οριακή τιμή 2 ενδεικτικό του σχηματισμού δευτερογενώς παραγόμενου οργανικού άνθρακα. Οι τιμές του λόγου είναι σταθερά αυξημένες το Σαββατοκύριακο.
59. Οι τιμές του λόγου OC/EC μειώνονται στον κεντρικό σταθμό Π2 σε σχέση με του δύο άλλους σταθμούς.
60. Παρατηρείται η επικράτηση των σημειακών πηγών (θειικά ιόντα) έναντι των κινητών (νιτρικά ιόντα) με το δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} να είναι σταθερά μικρότερος της μονάδας. Υπάρχει ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ Καθημερινών-Σαββατοκύριακων το οποίο οφείλεται στην ακόμη πιο ελαττωμένη κίνηση οχημάτων κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων.

61. Ο σταθμός Π1 εμφανίζει εκείνος με τη μεγαλύτερη επικράτηση των SO_4^{2-} έναντι των NO_3^- λόγω της μειωμένης κίνησης σε σχέση με τους άλλους σταθμούς και πιθανώς λόγω φαινομένων μεταφοράς θεικών από το σταθμό του κέντρου και από την περιοχή του Πειραιά.
62. Αυξημένα ποσοστά (%) σχετικά με την επικράτηση του όξινου έναντι του αλκαλικού χαρακτήρα των αερολυμάτων παρατηρούνται στους σταθμούς Π1 και Π2 (στα PM_1).
63. Στο κλάσμα των $PM_{2.5}$, υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των καθημερινών με εξαίρεση το Mg^{2+} .
64. Στο κλάσμα των PM_1 , υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των Καθημερινών, εκτός των θεικών ιόντων (SO_4^{2-}) που εμφανίζονται ελάχιστα αυξημένα τα Σαββατοκύριακα.
65. Οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις μεταξύ Καθημερινών – Σαββατοκύριακων εμφανίζονται στο σταθμό Π1 με πρώτη τη διακύμανση του NO_3^- (35.8%). Παρατηρείται ότι όποια ανθρωπογενής δραστηριότητα, κυρίως τις Καθημερινές, στο συγκεκριμένο σταθμό επηρεάζει αρκετά τα επίπεδα συγκέντρωσης ρύπων.
66. Η κίνηση των οχημάτων επηρεάζει την περιοχή Π2 περισσότερο τις καθημερινές με μεγαλύτερες διαφορές αυτές των EC , OC και NO_3^- μεταξύ Καθημερινών – Σαββατοκύριακων.
67. Το ιόν του Νατρίου βρίσκεται στις τελευταίες θέσεις κατάταξης αναφορικά με τη συνεισφορά του στη συνολική μάζα των αερολυμάτων.

Χημική Σύσταση - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

68. Παρουσιάζονται χαμηλότερες τιμές στις μέσες τιμές του άνθρακα (OC και EC) σε σύγκριση με την απουσία επεισοδίων μεταφοράς σκόνης. Παρατηρείται αύξηση στις μέσες τιμές των SO_4^{2-} ενώ τα νιτρικά ιόντα (NO_3^-) εμφανίζουν αύξηση στα $PM_{2.5}$ στους σταθμούς Π1, Π2 και μείωση στους υπόλοιπους.
69. Σε κάθε περιοχή και κλάσμα, σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα αερολύματα βρέθηκαν να αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από OC ακολουθούμενο από SO_4^{2-} και στη συνέχεια από NO_3^- ενώ το Mg^{2+} βρίσκεται σταθερά τελευταίο.
70. Τα εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} και Mg^{2+} παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια τέτοιων επεισοδίων.
71. Σχετικά με το ποσοστό συμμετοχής της κάθε ένωσης στη μάζα των σωματιδίων), παρατηρούμε σταθερά μεγαλύτερα ποσοστά στα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) και στα ιόντα του χλωρίου (Cl^-), σε σχέση με τις ανεπηρέαστες ημέρες

72. Το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη σύσταση των σωματιδίων εξακολουθεί να έχει την ίδια τάξη μεγέθους και στα δύο μετρούμενα κλάσματα
73. Τα ανεβασμένα επίπεδα θειικών ιόντων στο σταθμό Π2 πιθανολογείται να οφείλονται, εκτός των άλλων, και στη μεταφορά από το ρυπογόνο Θριάσιο Πεδίο λόγω και των Δυτικών ανέμων που έπνεαν (κατά μεγαλύτερο ποσοστό) καθ' όλη τη διάρκεια των επεισοδίων σκόνης.
74. Η μάζα των αερολυμάτων εμφανίζεται λιγότερο συσχετισμένη με τις χημικές ενώσεις από τις οποίες αποτελούνται σε σχέση με τις αντίστοιχες ημέρες χωρίς αερομεταφερόμενη σκόνη καθώς παρατηρούμε από ασήμαντους ως σημαντικούς συντελεστές συσχέτισης. Πιθανολογούμε τόσο την εκπομπή από τοπικές πηγές αλλά και την επιβάρυνση της σωματιδιακής μάζας από φαινόμενα μεταφοράς κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων επεισοδίων.
75. Ο λόγος OC/EC , εμφανίζει μεγάλο εύρος τιμών, λόγω και των πολλών και καλά διασκορπισμένων πηγών άνθρακα αλλά και των οργανικών ενώσεων από την μεταφερόμενη σκόνη.
76. Η τιμή του λόγου OC/EC είναι σταθερά πάνω από την τιμή 2 ενδεικτικό του σχηματισμού δευτερογενώς παραγόμενου οργανικού άνθρακα.
77. Η τάξη μεγέθους του λόγου είναι παρόμοια με τις ημέρες χωρίς τέτοια επεισόδια, εκτός από τις ημέρες στο Σαββατοκύριακο στους σταθμούς Π1, Π2 στο κλάσμα των $PM_{2.5}$.
78. Τα θειικά ιόντα επικρατούν των νιτρικών (NO_3^-/SO_4^{2-}) σε μεγαλύτερο ποσοστό από την απουσία αερομεταφερόμενης σκόνης υποδεικνύοντας και ότι οι αέριες μάζες είναι πλούσιες στις όξινες θειικές ενώσεις.
79. Στη συνολική εκτίμηση, ο κεντρικός σταθμός Π2 εμφανίζεται περισσότερο επηρεασμένος από την κίνηση των οχημάτων.
80. Η επικράτηση του όξινου χαρακτήρα (%) επιβεβαιώνεται για όλους τους σταθμούς (εκτός του Π2 στα $PM_{2.5}$) με πολύ υψηλότερα ποσοστά από τις ανεπηρέαστες ημέρες και μεγαλύτερα ποσοστά στα PM_1 σε σχέση με τα $PM_{2.5}$.
81. Εμφανίζεται αντεστραμμένη σε γενικές γραμμές από τις ανεπηρέαστες ημέρες, με την επικράτηση των υψηλότερων συγκεντρώσεων κατά το Σαββατοκύριακο στις περισσότερες χημικές ενώσεις.

Επίδραση Μετεωρολογίας - Συγκεντρώσεις

82. Αρνητική συσχέτιση μεταξύ της μάζας των αερολυμάτων και της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται σε κάθε περίπτωση λόγω των διαδικασιών ανάμειξης που προκαλούνται με την αύξηση των τιμών της παραμέτρου.
83. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων παρουσιάζονται πάντα αυξημένες κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων του ανέμου.

84. Σχετικά με την κατηγοριοποίηση της ταχύτητας του ανέμου, Ο λόγος OC/EC παρουσιάζεται σταθερά πάνω από 0.6 (από 0.60-0.81 στον Π2 και 0.68-0.96 στον Π3) αναδεικνύοντας την ενίσχυση του σχηματισμού δευτερογενών σωματιδίων άρα την υπερίσχυση της γέννησης δευτερογενών αερολυμάτων σε σχέση με τα πρωτογενώς παραγόμενα.
85. Δεν επιβεβαιώνεται η αναμενόμενη εικόνα με τις μεγαλύτερες υπερβάσεις για τις ελάχιστες ταχύτητες.
86. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια μικρών ταχυτήτων σε συνεπάγεται και αυξημένο ποσοστό υπερβάσεων.
87. Αναφορικά με τη διεύθυνση του ανέμου, μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται όταν επικρατούν ΒΒΑ άνεμοι ακολουθούμενοι από Νότιους ανέμους.
88. Η επικρατέστερη διεύθυνση ανέμου, δεν ταυτίζεται με τη διεύθυνση που εμφανίζονται τα υψηλότερα ποσοστά υπερβάσεων.
89. Σε κάθε περίπτωση όμως φαίνεται να ευνοούνται οι υψηλότερες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεις με την επικράτηση των ρυπασμένων Νότιων ανέμων.
90. Αρνητικοί συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση, μεταξύ της μάζας των αερολυμάτων και της θερμοκρασίας, σε όλους τους σταθμούς και κλάσματα.
91. Στο σταθμό Π2, ο λόγος $PM1/PM2.5$ εμφανίζεται μεγαλύτερος του 0.6 για θερμοκρασίες $\leq 13^{\circ}C$ ευνοώντας το σχηματισμό των μικρότερων σωματιδίων, ενώ για θερμοκρασίες $> 13^{\circ}C$ φαίνεται να ευνοούνται τα μεγαλύτερα. Στο σταθμό Π3 φαίνεται να ευνοείται ο σχηματισμός λεπτότερων σωματιδίων σε κάθε περίπτωση.
92. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε τάση μείωσης των συγκεντρώσεων αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου της θερμοκρασίας, συμπεριφορά την οποία ακολουθεί και ο λόγος $PM1/PM2.5$, εξαίρεση παρουσιάζει ο σταθμός Π3.
93. Δε φαίνεται να ευνοείται ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων από την αύξηση των θερμοκρασιών.
94. Το ποσοστό των υπερβάσεων (%) εμφανίζεται περισσότερο αυξημένο για θερμοκρασίες $\leq 11.5^{\circ}C$ σε όλους τους σταθμούς, εκτός της πολύπλοκης εικόνας του σταθμού Π3 στα PM_1 .
95. Στο σταθμό Π1 οι συγκεντρώσεις αυξάνονται καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία.
96. Η συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τη σχετική υγρασία εμφανίζεται από ασθενής μέχρι μέτρια αρνητική (τιμές από 0.34 μέχρι -0.30). η μεγαλύτερη συσχέτιση ($R=0.34$) παρουσιάζεται στο σταθμό Π1.

97. Σχετικά με την κατηγοριοποίηση της σχετικής υγρασίας, ο λόγος $PM1/PM_{2.5}$ εμφανίζεται πάνω από το 0.6 για όλες της κατηγορίες και σταθμούς ευνοώντας το σχηματισμό λεπτότερων. Μοναδική εξαίρεση το σταθμό Π2 αναφορικά με την 1^η κατηγορία ($RH \leq 36\%$) που φαίνεται να ευνοούνται οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής λεπτόκοκκων σωματιδίων.
98. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε αυξητικές τάσεις της συγκέντρωσης των αερολυμάτων αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου της σχετικής υγρασίας για το σταθμό Π1 ενώ παρατηρούνται αυξομειώσεις στους σταθμούς Π2, Π3 τόσο στα μετρούμενα κλάσμα όσο και στο λόγο $PM_1/PM_{2.5}$
99. Σχετικά με την κατηγοριοποίηση των επιφανειακών ανέμων, δεν παρατηρείται κάποια κοινή τάση αύξηση των συγκεντρώσεων.
100. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο σταθμό Π1 και Π2, παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια επικράτησης άνεμοι Τύπου C. Στο σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ αύξηση στις συγκεντρώσεις παρατηρούμε κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου F. Στο σταθμό Π3, στα $PM_{2.5}$, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια επικράτησης ανέμων τύπου A και στα PM_1 , σε ανέμους τύπου C.
101. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ κυμάνθηκε από 0.45 μέχρι 0.96 αναδεικνύοντας την υπερίσχυση του σχηματισμού των λεπτότερων σωματιδίων με μοναδική εξαίρεση τον σταθμό Π2 στον άνεμο τύπου A όπου φαίνεται να υπερισχύουν οι πηγές παραγωγής $PM_{2.5}$ σωματιδίων.
102. Οι μεγαλύτερες μετρούμενες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν σε όλους τους σταθμούς (εκτός από τον Π3 στα $PM_{2.5}$) στις 07/03/2013 ημέρα Καθημερινή όπου επικρατούσαν επιφανειακοί άνεμοι τύπου C (ισχυρή Βόρεια συνιστώσα ανέμου) με επικρατούσα διεύθυνση NNE και ελάχιστη μέση ταχύτητα ανέμου.
103. Στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$, ή μέγιστη συγκέντρωση μετρήθηκε στις 01/03/2013 ημέρα Καθημερινή με επιφανειακούς ανέμους τύπου B (αλληλεπίδραση θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με Βόρειο συνοπτικό άνεμο) με επικρατούσα διεύθυνση SSW.
104. Τα ποσοστά των υπερβάσεων παρουσιάζονται αυξημένα κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B δηλαδή με την παρουσία του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας. Η δεύτερη κατηγορία αύξησης του ποσοστού των υπερβάσεων παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C, δηλαδή της επικράτησης αμιγώς Βορείων ανέμων.
105. Με την επικράτηση ανέμων τύπου B πιθανολογούμε ανταλλαγή αερίων μαζών ανάμεσα στους σταθμούς Π1 - Π2 και Π2 – Π3.
106. Με την επικράτηση ανέμων τύπου C και D πιθανολογούμε ανταλλαγή αερίων μαζών ανάμεσα στους σταθμούς Π1 - Π2.
107. Σε όλες τις μετεωρολογικές παραμέτρους η συνεισφορά της κάθε κατηγορίας στην αύξηση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων αερολυμάτων δεν ταυτίζεται με την κατηγορία που είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων πάνω από τις οριακές τιμές.
108. Αναδεικνύεται ο ρόλος των τοπικών πηγών τόσο στις υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις αλλά και στο ποσοστό των υπερβάσεων.

109. Οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές μεταξύ $NH_4^+ - SO_4^{2-}$ σε συνδυασμό με την κλίση της ευθείας παλινδρόμησης (μικρότερη από τη μονάδα απέχοντας μερικά δεκαδικά ψηφία) μας πληροφορούν τόσο για την κοινή πηγή των δύο ενώσεων όσο και για τη μερική ουδετεροποίηση του SO_4^{2-} από την αμμωνία.

Επίδραση Μετεωρολογίας – Συγκεντρώσεις - Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

110. Όσον αφορά την ταχύτητα του ανέμου, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ κατά τη διάρκεια μέγιστων ταχυτήτων ($> 5.59 m/s$) με διαφορά 27.19% από τη μέση συκέντρωση αναδεικνύοντας τα φαινόμενα μεταφοράς σαν ένα παράγοντα αύξησης των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων. Σε κάθε άλλη περίπτωση η αναμενόμενη εικόνα δείχνει τις ελάχιστες μετρούμενες ταχύτητες να είναι υπεύθυνες για τις υψηλές συγκεντρώσεις.

111. Η ταχύτητα του ανέμου με τη μάζα των σωματιδίων εμφανίζεται παντού αρνητικά συσχετισμένη (από -0.35 μέχρι -0.18) εκτός της ασθενούς θετικής συσχέτισης ($R=0.11$) στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$.

112. Η διακύμανση του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ κυμαίνεται σε τιμές κάτω από το 0.6 σε κάθε περίπτωση αναδεικνύοντας την εύνοια των πηγών παραγωγής $PM_{2.5}$ σωματιδίων, εκτός από $4.74 m/s < WS \leq 5.59 m/s$ που παίρνει τιμές 0.67 και 0.91 στους σταθμούς Π2, Π3 αντίστοιχα.

113. Στο σταθμό Π3, παρατηρείται η τάση όσο αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου να αυξάνεται και η υπερίσχυση της παραγωγής μεγαλύτερων αερολυμάτων.

114. Τα ποσοστά των υπερβάσεων εμφανίζονται αυξημένα κατά τη διάρκεια μικρών ταχυτήτων ανέμου.

115. Στους σταθμούς Π2, Π3 η διεύθυνση του ανέμου κατά τις μέγιστες υπερβάσεις ταυτίζεται με την επικρατέστερη διεύθυνση.

116. Αναφορικά με την θερμοκρασία (T), η μάζα των σωματιδίων εμφανίζεται ασυσχέτιστη με τη συγκεκριμένη παράμετρο (R από -0.27 μέχρι -0.55) με μοναδική θετική συσχέτιση στην περίπτωση του Π3 στα $PM_{2.5}$ ($R=0.01$).

117. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις, για θερμοκρασίες $> 14.5 ^\circ C$, παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων σε κάθε περίπτωση.

118. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ μειώνεται σε κάθε σταθμό αυξανόμενης της τιμής της παραμέτρου της θερμοκρασίας εμφανίζοντας τάση υπερίσχυσης των μεγαλύτερων σωματιδίων για θερμοκρασίες $T > 13 ^\circ C$ ακολουθώντας κοινή τάση με τις ημέρες χωρίς επεισόδια μεταφοράς σκόνης.

119. Δε φαίνεται να ευνοείται ο σχηματισμός δευτερογενών σωματιδίων από τις υψηλότερες θερμοκρασίες.
120. Η συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τη σχετική υγρασία παρουσιάζεται παντού μέτρια θετική (από 0.40 μέχρι 0.49) με εξαίρεση το σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ ($R = -0.18$).
121. Σχετικά με το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ παρατηρούμε ότι με την αύξηση της σχετικής υγρασίας υπάρχει τάση επικράτησης του σχηματισμού μεγαλύτερων σωματιδίων έναντι του σχηματισμού λεπτότερων, τάση που ακολουθούσαν τα αερολύματα και τις καθαρότερες ημέρες.
122. Οι υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις, δεν ταυτίζονται με το υψηλότερο ποσοστό υπερβάσεων σε κανένα σταθμό και κλάσμα.
123. Σχετικά με την κατηγοριοποίηση των επιφανειακών ανέμων, η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στο σταθμό Π2 με την επικράτηση ανέμων με ισχυρή Νότια συνιστώσα (τύπου D). Η επιρροή του ίδιου τύπου ανέμου παρουσιάζεται και στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$. Σε κάθε άλλη περίπτωση υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια επιφανειακών ανέμων τύπου Β.
124. Ο επιφανειακός άνεμος τύπου C συνεπάγεται σε κάθε περίπτωση επικράτηση του σχηματισμού δευτερογενών σωματιδίων. Στο σταθμό Π3, βγάζουμε το ίδιο συμπέρασμα και για την επικράτηση της θαλάσσιας αύρας τύπου Β, ενώ για κάθε άλλο τύπο φαίνεται να ευνοούνται οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής σωματιδίων.
125. Αυξημένη συμμετοχή στο ποσοστό των υπερβάσεων συνεισφέρει το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας, με τα υψηλότερα ποσοστά να παρατηρούνται κατά τη διάρκεια επιφανειακών ανέμων τύπου Β.
126. Παρατηρείται κοινή τάση αύξησης του επιπέδου των συγκεντρώσεων και του ποσοστού των υπερβάσεων κατά την επικράτηση ανέμων τύπου Β.
127. Στις περιπτώσεις των σταθμών Π1-Π2 πιθανολογούμε ανταλλαγή αερίων μαζών στην περίπτωση των ανέμων τύπου Β, C και D. Στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε για τον τύπο C σχετικά με τους σταθμούς Π2-Π3.
128. Η μεγαλύτερη μετρούμενη συγκέντρωση παρατηρήθηκε σε όλους τους σταθμούς κατά τη διάρκεια επικράτησης ανέμων τύπου Β με επικρατούσα διεύθυνση από SSW μέχρι SSE και μέση ταχύτητα κάτω από τα 2.32 m/s αναδεικνύοντας το ρόλο των τοπικών πηγών εκπομπής.

Επίδραση Μετεωρολογίας – Χημική Σύσταση

129. Αναδεικνύεται ο ρόλος των ανθρωπογενών εκπομπών και των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία χημικών ενώσεων από τις οποίες αποτελούνται ανεξάρτητα με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.

130. Ο μη καθοριστικός ρόλος της μετεωρολογίας στη διαφοροποίηση της χημικής σύστασης των σωματιδίων αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο των τοπικών πηγών στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης, με αρνητικές για την ανθρώπινη υγεία συνέπειες.
131. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, παρατηρείται συγκεκριμένη τάση στο σταθμό Π1 αφού η συγκέντρωση των χημικών ενώσεων μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου.
132. Στο σταθμό Π1, η συγκέντρωση του θαλάσσιας προέλευσης Cl^- , φαίνεται να έχει αναλογική σχέση με την ταχύτητα του ανέμου συμπεραίνοντας το σημαντικό ρόλο των φαινομένων μεταφοράς σε αυτή την αύξηση.
133. Τα εδαφικής προέλευσης K^+ και Mg^{2+} παρουσιάζουν μείωση με την αύξηση των τιμών της παραμέτρου της ταχύτητας του ανέμου.
134. Ο στοιχειακός άνθρακας φαίνεται να αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.
135. Η τιμή του λόγου OC/EC φαίνεται να ευνοείται η αύξηση του κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων ανέμου.
136. Σε γενική τάση παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η επικράτηση των σταθερών σημειακών πηγών έναντι των κινητών.
137. Ο δείκτης NO_3^-/SO_4^{2-} , στο σταθμό Π1 όπως και στον Π3 στα PM_{10} φαίνεται να ευνοείται από τους NNE ανέμους ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση από NNW ανέμους.
138. Σε κάθε περίπτωση τη μεγαλύτερη επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών εκπομπής παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια NE ανέμων με εξαίρεση τον σταθμό Π3 στα PM_{10} όπου η μεγαλύτερη επικράτηση είναι κατά τη διάρκεια S ανέμων.
139. Ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια S ανέμων.
140. Αυξάνει η συμμετοχή (%) των θειικών ιόντων στη μάζα των αερολυμάτων με τη αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας.
141. Οι συγκεντρώσεις των χημικών ενώσεων δεν ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας, ειδικά πάνω από τους $14.5^\circ C$ και πάνω.
142. Η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης για το οργανικό άνθρακα παρατηρείται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C, με εξαίρεση το σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ όπου παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου A.
143. Σχετικά με την ιοντική ισορροπία, η αλληλεπίδραση της θαλάσσιας αύρας με το Βόρειο συνοπτικό άνεμο, φαίνεται να επιφέρει αύξηση του όξινου χαρακτήρα των αερολυμάτων.
144. Σχετικά με το κλάσμα των $PM_{2.5}$ και αναφορικά με τους ανέμους τύπου B, ισχυρή αλληλεπίδραση παρουσιάζεται σχετικά με τα νιτρικά ιόντα στους σταθμούς Π1-Π3 και Π2-Π3. Ισχυρή αλληλεπίδραση παρατηρούμε τόσο στο στοιχειακό άνθρακα (Π1-Π3) αλλά και στα θειικά ιόντα ανάμεσα σε όλους τους σταθμούς.

145. Πιθανολογείται επικοινωνία μέσω φαινομένων μεταφοράς κυρίως μεταξύ των σταθμών Π1-Π2 με την επικράτηση ανέμων τύπου Β.
146. Όσον αφορά τους ανέμους τύπου C ανάγουμε το συμπέρασμα της πιθανής επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών Π1-Π2.
147. Ο σχηματισμός δευτερογενώς παραγόμενου άνθρακα φαίνεται να ευνοείται περισσότερο από ανέμους τύπου C (ισχυρή Βόρεια συνιστώσα) με μοναδική εξαίρεση το σταθμό Π1 όπου πρωταρχική θέση καταλαμβάνει ο άνεμος τύπου Β.
148. Σχετικά με τη συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τους υπό εξέταση επικίνδυνους ρύπους, ο οργανικός άνθρακας εμφανίζεται πάντα ισχυρά θετικά συσχετισμένος με τη μάζα των αερολυμάτων αναδεικνύοντας κοινές πηγές ενώ τα θειικά ιόντα είναι ισχυρά θετικά συσχετισμένα μόνο στη περίπτωση ανέμων τύπου Β (στα $PM_{2.5}$) και τύπου C (στα PM_1) αναδεικνύοντας τόσο το ρόλο της μεταφοράς στις υψηλές του συγκεντρώσεις, όσο και των τοπικών πηγών.

Επίδραση Μετεωρολογίας – Χημική Σύσταση – Επεισόδια Μεταφοράς Σκόνης

149. Αύξηση του Cl^- παρατηρείται για τις μέγιστες μετρούμενες ταχύτητες ($WS > 5.59 m/s$) αναδεικνύοντας το ρόλο της μεταφοράς στην αύξηση των συγκεντρώσεων του ανιόντος του χλωρίου.
150. Η επικράτηση του όξινου χαρακτήρα έναντι του αλκαλικού στα αερολύματα (Σχήμα 4.88) φαίνεται να ευνοείται από πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση αναδεικνύοντας τις πολλές και διασκορπισμένες πηγές εκπομπής.
151. Τάση αύξησης της υπερίσχυσης των σταθερών πηγών αυξανόμενης της θερμοκρασίας εμφανίζεται στους σταθμούς Π2-Π3 στα $PM_{2.5}$. Τάση μείωσης της υπερίσχυσης των σταθερών πηγών αυξανόμενης της σχετικής υγρασίας στην περίπτωση των PM_1 στον Π3.
152. Οι σταθερές πηγές υπερτερούν σε κάθε περίπτωση με μεγαλύτερη ενίσχυση κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Α (σταθμοί Π1 και Π2) και τύπου C (σταθμός Π3).
153. Ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Β σε κάθε περίπτωση.
154. Πιθανολογείται επικοινωνία μέσω φαινομένων μεταφοράς κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Β μεταξύ των Π1-Π2 και Π2-Π3 και στα δύο κλάσματα. Σχετικά με τον άνεμο τύπου D, το ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να βγάλουμε για την περίπτωση των σταθμών Π1 και Π2. Κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C πιθανολογούμε αλληλεπίδραση μεταξύ όλων των σταθμών στο κλάσμα των $PM_{2.5}$. Πιθανή επικοινωνία παρατηρούμε και στην περίπτωση των επιφανειακών ανέμων τύπου Α και F ανάμεσα στους σταθμούς Π1 - Π2.
155. Σχετικά με τη συσχέτιση της μάζας των αερολυμάτων με τους υπό εξέταση επικίνδυνους ρύπους, οι τιμές κυμαίνονται από στατιστικά σημαντικούς μέχρι ασήμαντους δείκτες αναδεικνύοντας το σύνθετο χαρακτήρα των ανόργανων και οργανικών ρύπων.

156. Τα θειικά ιόντα φαίνεται να συσχετίζονται με τη μάζα των αερολυμάτων κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου C (εκτός του σταθμού Π3 στα $PM_{2.5}$) δείχνοντας κοινές πηγές εκπομπής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**5.1 Αιωρούμενα Σωματίδια**

Αρκετές μελέτες έχουν διεξαχθεί στον ευρύτερο χώρο του λεκανοπεδίου με αποτελέσματα όσον αφορά τόσο τις συγκεντρώσεις όσο και τη χημική σύσταση των αερολυμάτων. Τόσο οι διακυμάνσεις των επιπέδων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων όσο και της χημικής τους σύστασης, σε παλιότερες έρευνες, έχουν αναφερθεί στις παραγράφους 2.4.3 και 2.4.4 αντίστοιχα. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η διαχρονική εξέλιξη στους τρεις σταθμούς (*Π1*, *Π2* και *Π3*) δειγματοληψίας συγκριτικά με μελέτες που διεξήχθησαν το 2011-2012, το 2008 και το 2005 αντίστοιχα από την ερευνήτρια Δρ. Πατεράκη σε συνεργασία με το Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος στις συγκεκριμένες περιοχές.

Τα δεδομένα για το πείραμα του 2011-2012 στον *Π1* είναι κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου (περίπου 50 δείγματα). Στο σταθμό *Π2* το πείραμα έγινε κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου από 29/02/2008 μέχρι 16/04/2008 και στα δύο μετρούμενα κλάσματα, ενώ τα δεδομένα για το πείραμα του 2005 στο σταθμό *Π3* είναι τόσο κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου (από 22/02/2005 μέχρι 02/03/2005) για τα $PM_{2.5}$ όσο και της θερμής περιόδου (από 30/08/2005 μέχρι 08/09/2005) για το μικρότερο κλάσμα των PM_1 .

5.1.1 Συγκεντρώσεις

Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στο παρόν πείραμα βρέθηκαν αυξημένα σε ποσοστό πάνω από 10% (αγγίζοντας μέχρι και το 46.8%) σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας και μετρούμενο κλάσμα σε σχέση με τις μελέτες των προηγούμενων ετών τόσο στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.1 α) όσο και των PM_1 (Σχήμα 5.1 β). Πιο συγκεκριμένα η παρατηρούμενη αύξηση είναι 18.77% στο σταθμό *Π1*, 19.71% και 10.70% στο σταθμό *Π2* στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα και 18.47% και 46.81% στο σταθμό *Π3* στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Σε κάθε ένα από τα προηγούμενα σχήματα, η λέξη "ΠΡΙΝ" αναφέρεται στη δειγματοληπτική περίοδο του 2011-2012, 2008 και 2005 για τους σταθμούς *Π1*, *Π2* και *Π3* αντίστοιχα.

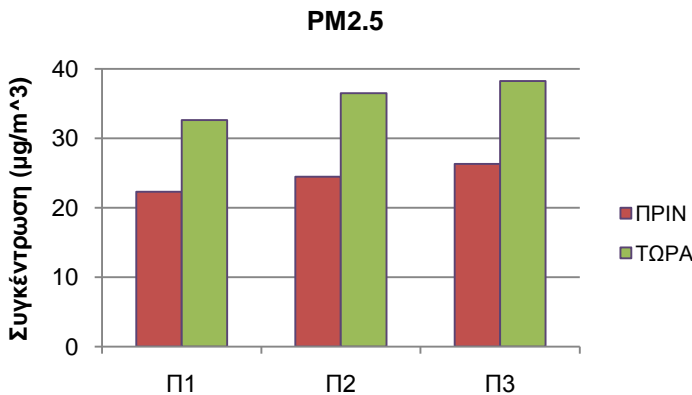
Στο σταθμό *Π2*, όπου η βάση δεδομένων μας είναι πιο πλήρης, παρατηρούμε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων της μάζας των σωματιδίων είναι αυξημένη στην παρούσα μελέτη τόσο στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου όσο και κατά τη διάρκεια των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων (Σχήματα 5.2 α, 5.2 β) αναδεικνύοντας την αρνητική διαχρονική εξέλιξη σχετικά με τη σωματιδιακή ρύπανση. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το κλάσμα των PM_1 αναφορικά με τα Σαββατοκύριακα. Οι συγκεντρώσεις των μετρούμενων αερολυμάτων υπερέρχουν κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων σε σχέση με τις Καθημερινές στο πείραμα του 2008 και για τα δύο κλάσματα. Το συγκεκριμένο δείχνει την ήδη επιβαρυσμένη κατάσταση της σωματιδιακής ρύπανσης στον κεντρικό σταθμό δειγματοληψίας. Η μάζα των δύο διαφορετικών κλασμάτων εμφανίζεται υψηλά συσχετισμένη και στις δύο πειραματικές περιόδους ($R=0.95$ για το 2008 και $R=0.94$ για το 2013).

Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ εμφανίζεται πιο αυξημένος κατά τη διάρκεια του παλαιότερου πειράματος (Σχήμα 5.3) στο σταθμό *Π2*. Σε κάθε περίπτωση, παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 0.60 τονίζοντας την υπερίσχυση της γέννησης μικρότερου κλάσματος αερολυμάτων σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Για άλλη μια φορά επαληθεύεται η ήδη επιβαρυσμένη από πλευράς σωματιδιακής ρύπανσης κατάσταση στον κεντρικό σταθμό *Π2*. Σε μια προσπάθεια σύγκρισης της συνεισφοράς του μικρότερου κλάσματος στο μεγαλύτερο ($PM_1/PM_{2.5}$) στο σταθμό *Π3*, συγκρίναμε τη διακύμανση του κατά τη διάρκεια της

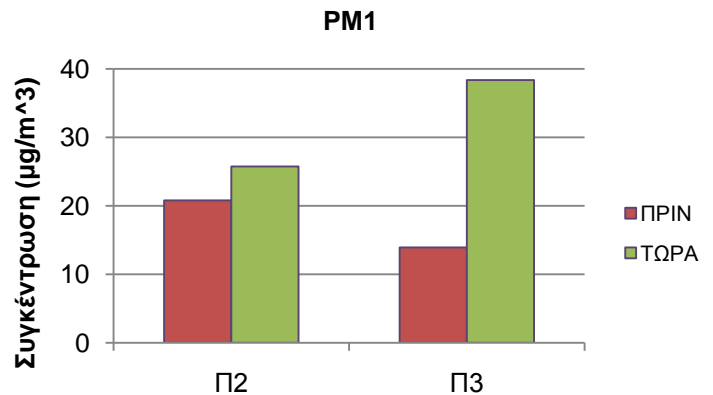
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

θερμής περιόδου του 2005 με τη συνολική διακύμανση του στο τωρινό πείραμα. Κατά τη διάρκεια του παλαιότερου πειράματος, η συνεισφορά των PM_1 στα $PM_{2.5}$ κυμαίνεται από 0.63 μέχρι 0.91 με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται τη θερμή περίοδο, ενώ η μέση τιμή του είναι 0.82 στο παρόν πείραμα. Παρόλο που δεν μπορούν να γίνουν ασφαλείς συγκρίσεις καθώς βρισκόμαστε σε διαφορετική περίοδο, τα λεπτότερα σωματίδια υπερισχύουν της παραγωγής των $PM_{2.5}$ και στα δύο πειράματα.

Σχετικά με τις συγκεντρώσεις στο κάθε κλάσμα (για τον Π2) και τις διακυμάνσεις τους καθώς και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, παρατηρούμε όχι μόνο αύξηση της μέσης τιμής και στα δύο κλάσματα αλλά συνολικά αυξημένες συγκεντρώσεις με την ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης του τωρινού πειράματος να βρίσκεται σταθερά πάνω από τις τιμές του 2008. Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες τιμές.

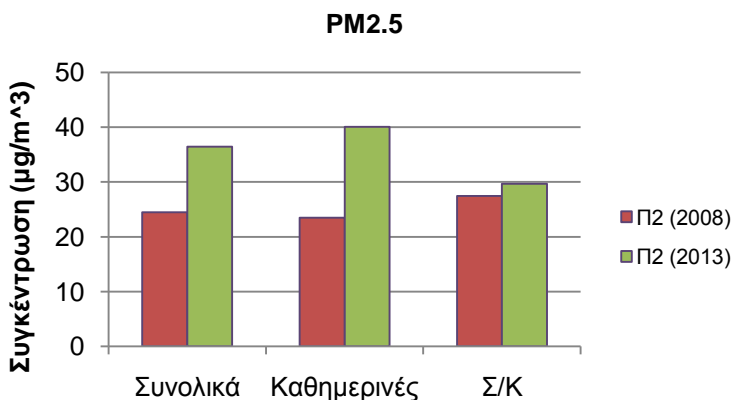


Σχήμα 5.1 α)

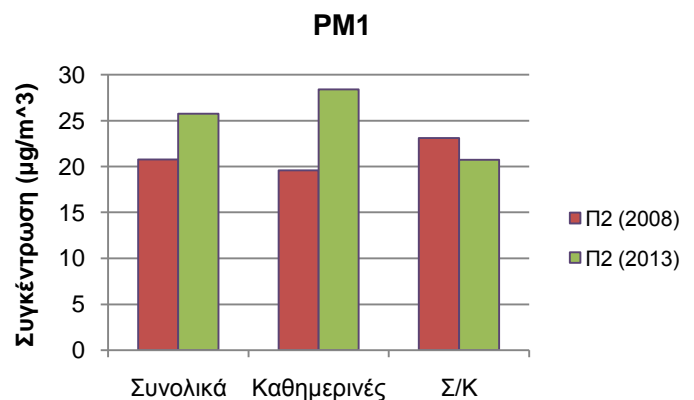


Σχήμα 5.1 β)

Σχήμα 5.1: Διαχρονική Εξέλιξη των Συγκεντρώσεων στους Σταθμούς Δειγματοληψίας σε Σχέση με Παλαιότερες Μελέτες στην Ίδια Περιοχή στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.1 α) και PM_1 (Σχήμα 5.1 β)

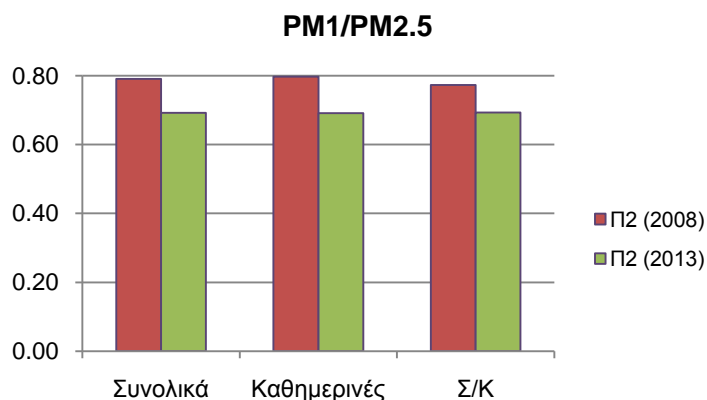


Σχήμα 5.2 α)



Σχήμα 5.2 β)

Σχήμα 5.2: Διαχρονική Εξέλιξη των Συγκεντρώσεων της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2 για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.2 α) και PM_1 (Σχήμα 5.2 β)



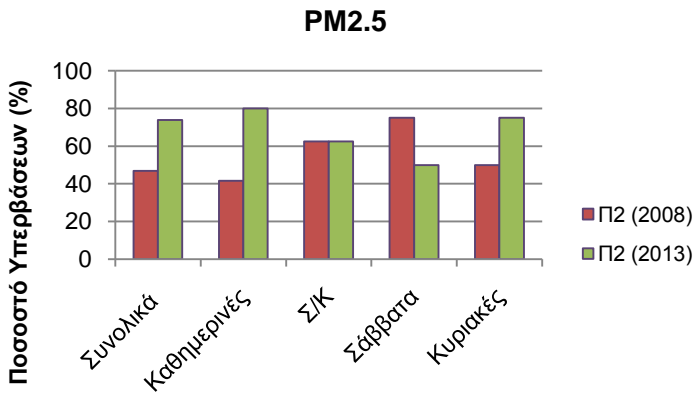
Σχήμα 5.3: Διακύμανση του Λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2

Πίνακας 5.1: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων (Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση, Μέγιστη Τιμή, Ελάχιστη Τιμή, Εύρος Τιμών) Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2 για τα Κλάσματα PM_1 και $PM_{2.5}$ καθώς και το λόγο $PM_1/PM_{2.5}$.

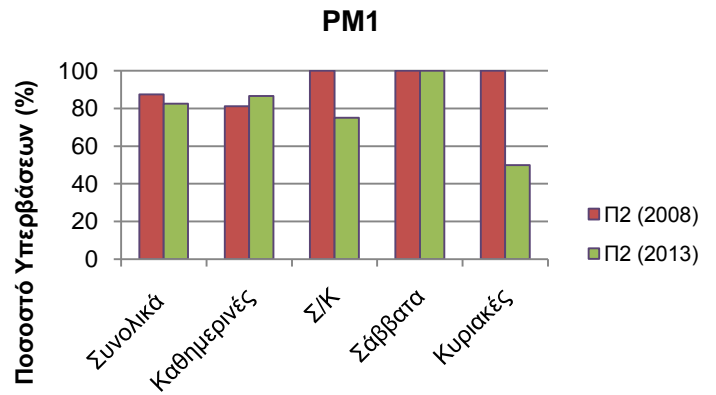
	PM2.5		PM1		PM ₁ /PM _{2.5}	
	Π2 (2008)	Π2 (2013)	Π2 (2008)	Π2 (2013)	Π2 (2008)	Π2 (2013)
Μέση Τιμή	24.47	36.48	20.76	25.73	0.79	0.69
STDEV	9.05	15.94	6.47	13.95	0.09	0.17
MAX	44.26	73.51	31.20	54.92	0.97	0.98
MIN	11.06	16.97	8.06	8.95	0.67	0.33
Range	33.20	56.54	23.14	45.97	0.31	0.66

Υπολογίστηκε το ποσοστό των υπερβάσεων (για το σταθμό Π2) πάνω από τα θεσμοθετημένα από την Ευρωπαϊκή Ένωση όρια (οδηγία 2008/50/EC) για το κλάσμα των $PM_{2.5}$ ($> 25 \mu g/m^3$) και πάνω από το μισό της προηγούμενης τιμής ($> 12.5 \mu g/m^3$) για το μικρότερο κλάσμα των PM_1 . Στο μεγαλύτερο κλάσμα των $PM_{2.5}$ η εικόνα είναι λιγότερο πολύπλοκη (Σχήμα 5.4 α). Εκτός των μετρούμενων Σαββάτων οι υπερβάσεις στο πείραμα του 2013 παρουσιάζουν αύξηση από 25% κατά τη διάρκεια των Κυριακών μέχρι και 38.3% αναφορικά με τις ημέρες των Καθημερινών σε σχέση με το πείραμα του 2008. Παρατηρούμε ότι στο μικρότερο κλάσμα (PM_1), τόσο στο επίπεδο των συγκεντρώσεων όσο και υπερβάσεων (Σχήμα 5.4 β) εξακολουθεί να είναι υψηλότερο στο πείραμα του 2008. Τόσο στο συνολικό ποσοστό με διαφορά 4.89%, όσο και σε αυτό του συνόλου των Σαββατοκύριακων και Κυριακών με ποσοστά 25% και 50% αντίστοιχα, οι υπερβάσεις παρουσιάζουν αύξηση στα δεδομένα του 2008. Αναφορικά με το ποσοστό των υπερβάσεων πάνω από τα όρια της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S.E.P.A.) που είναι στα $35 \mu g/m^3$ για το κλάσμα των $PM_{2.5}$, φαίνεται ξεκάθαρα η επιβάρυνση της σωματιδιακής ρύπανσης κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων (Σχήμα 5.5). Η διαφορά στις μετρούμενες υπερβάσεις ξεκινάει από τα 25% για τις ημέρες του Σαββατοκύριακου και αγγίζει το 40.8% για τις ημέρες των Καθημερινών, πάντα πιο αυξημένη κατά τη διάρκεια του πειράματος του 2013.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

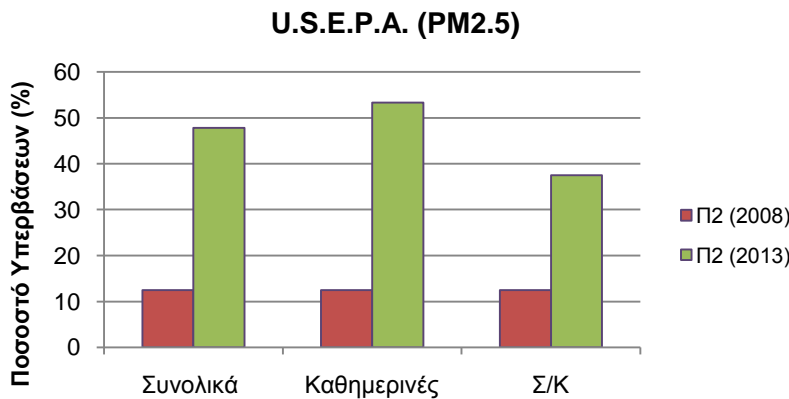


Σχήμα 5.4 α)



Σχήμα 5.4 β)

Σχήμα 5.4: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Όρια της για το Κλάσμα των PM_{2.5} (Σχήμα 5.4 α) και των PM₁ (Σχήμα 5.4 β) Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2



Σχήμα 5.5: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των PM_{2.5} Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2

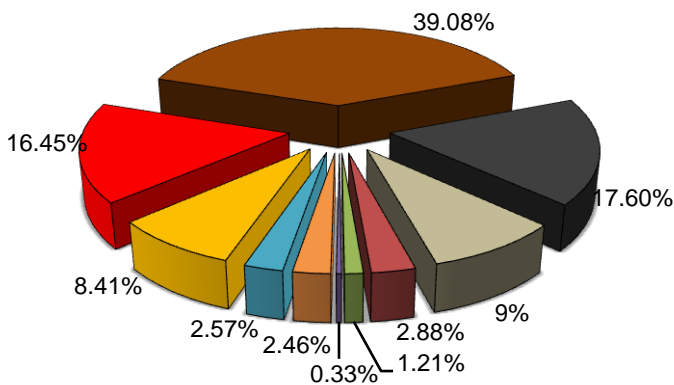
Σχετικά με το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου για το κλάσμα των PM_{2.5} το 2005 και 2013 στο σταθμό Π3, το ποσοστό των υπερβάσεων παρουσιάζει διαφορά της τάξης του 33.33% ανάμεσα στα δύο έτη καθώς βρίσκεται στο 44.44% και 77.78% για τα έτη 2005 και 2013 αντίστοιχα. Η μεγάλη αύξηση αναδεικνύει την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας σε σωματιδιακές συγκεντρώσεις πάνω από τα όρια, γεγονός ανησυχητικό για την ανθρώπινη υγεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, αναφορικά με το 2005, οι υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Το γεγονός μπορεί να οφείλεται στις ενισχυμένες πηγές εκπομπής κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπως η αυξημένη κίνηση των οχημάτων, η οικιακή θέρμανση, η κρύα εκκίνηση (cold start) των κινητήρων σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Tsitouridou et al. 2003; Grivas et al. 2004).

5.1.2 Χημική Σύσταση

Λόγω έλλειψης στοιχείων και δεδομένων για το σταθμό Π1, η μοναδική σύγκριση που γίνεται να κάνουμε είναι αναφορικά με τα επίπεδα του μετρούμενου άνθρακα. Η μέγιστη μετρούμενη τιμή για τον οργανικό άνθρακα παρουσιάζετε αυξημένη κατά 19.06% κατά τη διάρκεια του πειράματος το 2011-2012 ενώ την ίδια τάση ακολουθεί και ο πρωτογενώς παραγόμενος στοιχειακός άνθρακας με διαφορά της τάξης του 14.11%. Ο λόγος OC/EC διαμορφώνεται στην τιμή 6.66 στην παλαιότερη μελέτη με σαφή εικόνα για τάση δευτερογενούς σχηματισμού οργανικών ενώσεων ενώ η μέση του τιμή είναι στο 5.61 για το πρόσφατο πείραμα, οριακά κάτω από την τιμή 0.6.

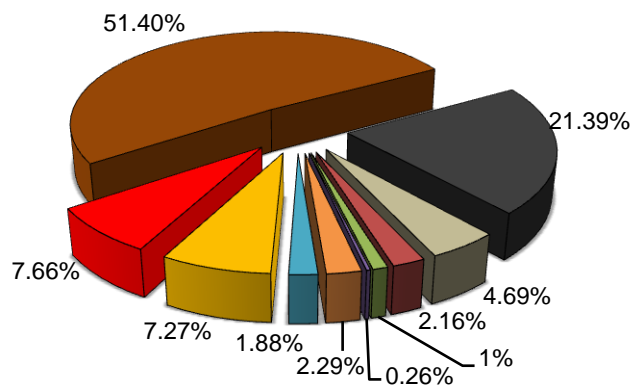
Σχετικά τις χημικές ενώσεις στο σταθμό Π2, σε κάθε περίπτωση ο πρώτος σε συγκέντρωση ρύπος είναι ο οργανικός άνθρακας ακολουθούμενος από τα θειικά ιόντα. Στο πείραμα του 2008, την τρίτη θέση καταλαμβάνει ο στοιχειακός άνθρακας, ακολουθούμενος από τα νιτρικά ιόντα ενώ στην παρούσα δειγματοληψίας παρατηρούμε την αντίστροφη εικόνα (Σχήμα 5.6). Στην τελευταία θέση εμφανίζεται το Mg^{2+} . Πολύπλοκη εικόνα σχετικά με τις υπόλοιπες χημικές ενώσεις. Στο κλάσμα των $PM_{2.5}$, μόνο ο οργανικός άνθρακας (OC) εμφανίζεται αυξημένος στο πρόσφατο πείραμα, τόσο σε μέση συγκέντρωση όσο και στο ποσοστό συμμετοχής του στη μάζα του αερολύματος. Ο στοιχειακός άνθρακας (EC) και τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) είναι πιο αυξημένα στο πείραμα του 2008 τόσο σε απόλυτες μέσες συγκεντρώσεις όσο και στο ποσοστό συμμετοχής τους στη συνολική μάζα των σωματιδίων ενώ τα εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , το θαλασσινής προέλευσης Cl^- και το ενδεικτικό της κίνησης οχημάτων NO_3^- , εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στα αερολύματα του παλαιότερου πειράματος. Το ίδιο ισχύει και για το NH_4^+ . Στο κλάσμα των PM_{10} , ο OC , τα εδαφικής προέλευσης K^+ και Ca^{2+} καθώς και το NO_3^- εμφανίζονται αυξημένα στο πείραμα του 2013, τόσο σε ποσοστά όσο και σε συγκεντρώσεις. Αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζουν όλες οι υπόλοιπες χημικές ενώσεις που κυριαρχούν στο παλαιότερο πείραμα. Σε κάθε περίπτωση, το έλλειμμα για να συμπληρωθεί το 100% της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μικρότερο το 2008.

■ OC ■ EC ■ NH4 ■ K ■ Mg ■ Ca ■ Cl ■ NO3 ■ SO4 ■ Έλλειμμα



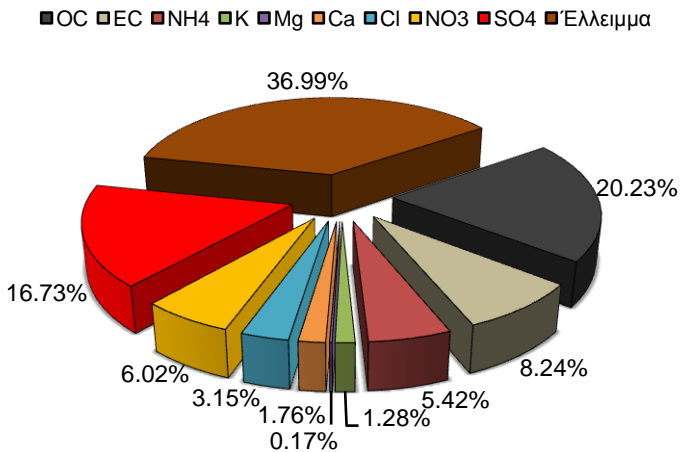
Σχήμα 5.6 α)

■ OC ■ EC ■ NH4 ■ K ■ Mg ■ Ca ■ Cl ■ NO3 ■ SO4 ■ Έλλειμμα

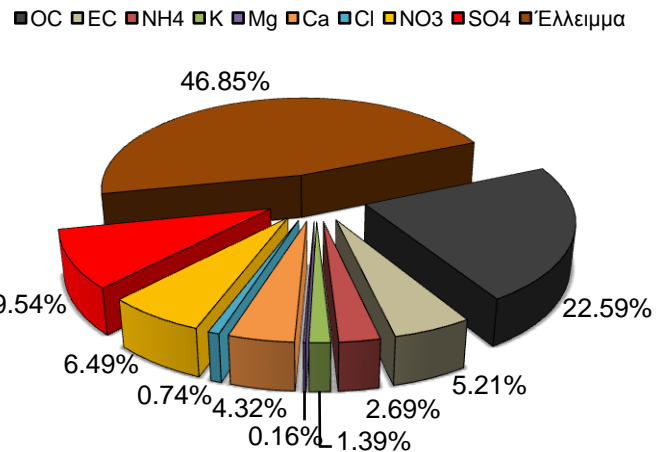


Σχήμα 5.6 β)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



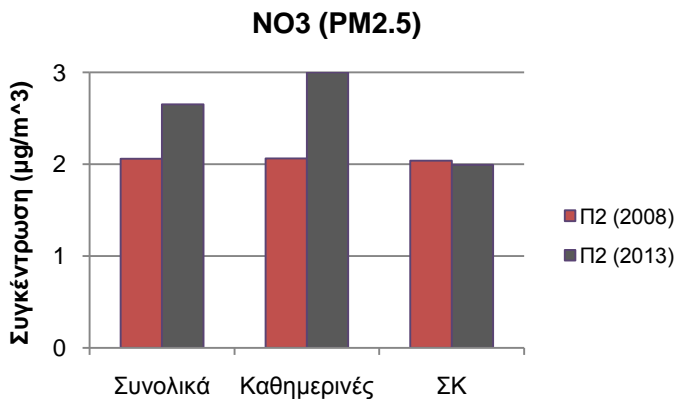
Σχήμα 5.6 γ)



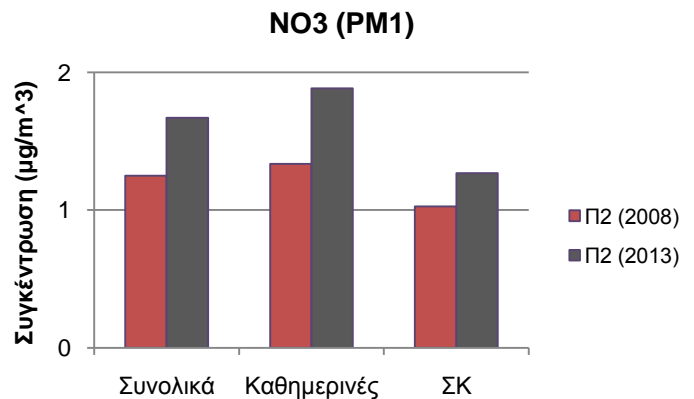
Σχήμα 5.6 δ)

Σχήμα 5.6: Συγκριτικά Κυκλικά Διαγράμματα της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) (Σχήμα 5.6 α) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.6 β) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) (Σχήμα 5.6 γ) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.6 δ)

Σε μια προσπάθεια κατανόησης της διακύμανσης των επικίνδυνων ανόργανων ρύπων που αυξάνουν την οξύτητα των σωματιδίων έγινε το συγκριτικό διάγραμμα των συγκεντρώσεων των νιτρικών και θειικών ιόντων κατά τη διάρκεια των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων για το σταθμό Π2. Παρατηρούμε ότι τα νιτρικά ιόντα, ενδεικτικά της κίνησης των οχημάτων, είναι πιο αυξημένα τις καθημερινές και στα δύο πειράματα όπως είναι αναμενόμενο με μεγαλύτερες τιμές στο πιο πρόσφατο (Σχήμα 5.7). Οι μεγαλύτερες διαφορές στην παραπάνω τάση παρουσιάζονται στη σύγκριση των καθημερινών με διαφορά της τάξης του 18.51% και 17.04 για τα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Ελάχιστη αύξηση παρουσιάζεται στις τιμές των νιτρικών κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων το 2008. Τα ανθρωπογενή θειικά ιόντα από την άλλη, εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση πιο αυξημένα στο παλαιότερο πείραμα (Σχήμα 5.8), με μεγαλύτερη διαφορά να κυμαίνεται στο 24.51% κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου στα $PM_{2.5}$ και στα 18.27% για τα PM_1 κατά τη διάρκεια των Καθημερινών.

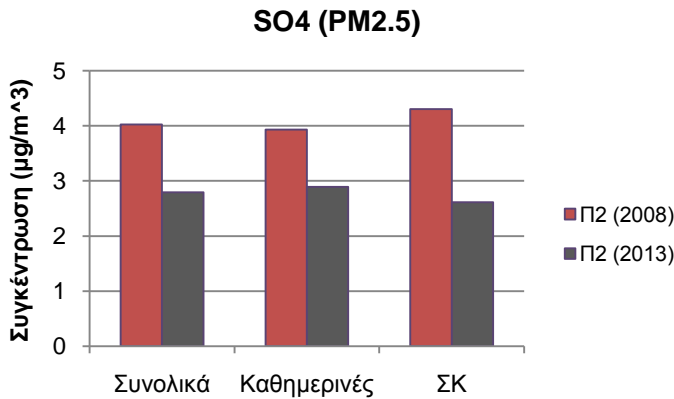


Σχήμα 5.7 α)

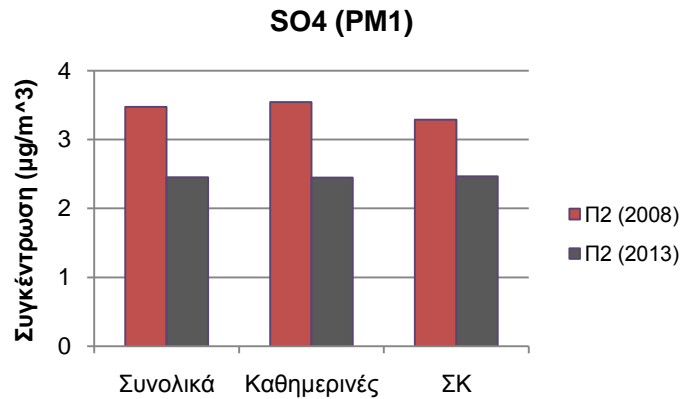


Σχήμα 5.7 β)

Σχήμα 5.7: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης των Νιτρικών Ιόντων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.7 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.7 β)



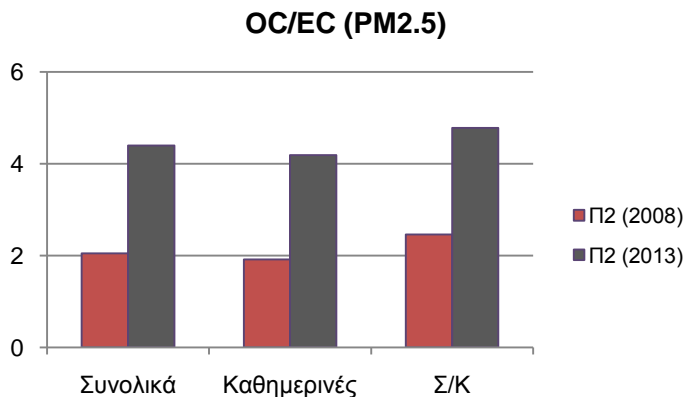
Σχήμα 5.8 α)



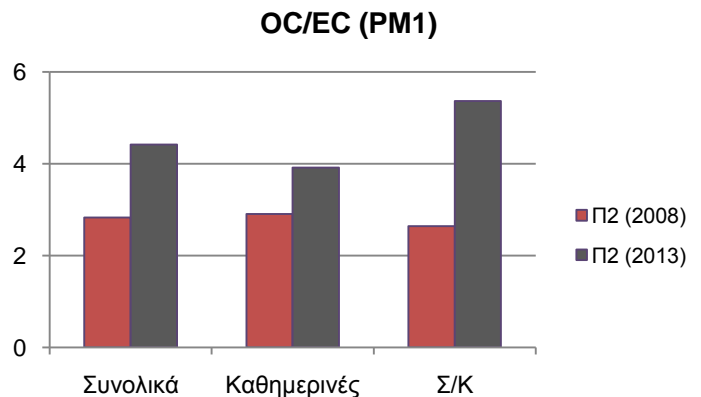
Σχήμα 5.8 β)

Σχήμα 5.8: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης των Θεικών Ιόντων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.8 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.8 β)

Ο οργανικός άνθρακας εκπεμπόμενος κυρίως μέσω της διαδικασίας της καύσης (βιομηχανική, οικιακή, εξατμίσεις των αυτοκινήτων) αλλά και από δευτερογενή οργανικά αερολύματα είναι και αυτός ένας δείκτης της αύξησης της ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Ακόμα αυξάνει με τη σειρά του τα επίπεδα οξύτητας των αερολυμάτων κάνοντας τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Ο λόγος OC/EC (Σχήμα 5.9) είναι πάντα μεγαλύτερος από την τιμή 2 για την περίπτωση του παρόντος πειράματος υποδεικνύοντας το σχηματισμό δευτερογενών οργανικών ενώσεων. Στην περίπτωση των $PM_{2.5}$ τα επίπεδα του λόγου είναι πολύ καλύτερα για το πείραμα του 2008 καθώς ο λόγος βρίσκεται οριακά πάνω από την τιμή 2 για τα σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου και τα Σαββατοκύριακα ενώ είναι κάτω από αυτή την τιμή για τις επιβαρυμένες από την κίνηση Καθημερινές. Σαν μαύρο άνθρακα (black carbon) ορίσαμε στην §2.3.2 το άθροισμα $OC + EC$. Η συνεισφορά του οργανικού άνθρακα στον μαύρο άνθρακα (Σχήμα 5.10) είναι πάντα πιο αυξημένη στο παρών πείραμα με μεγαλύτερες διαφορές της τάξης των 10.21% για τις Καθημερινές στα $PM_{2.5}$ και 7.87% για τα Σαββατοκύριακα στα PM_1 .

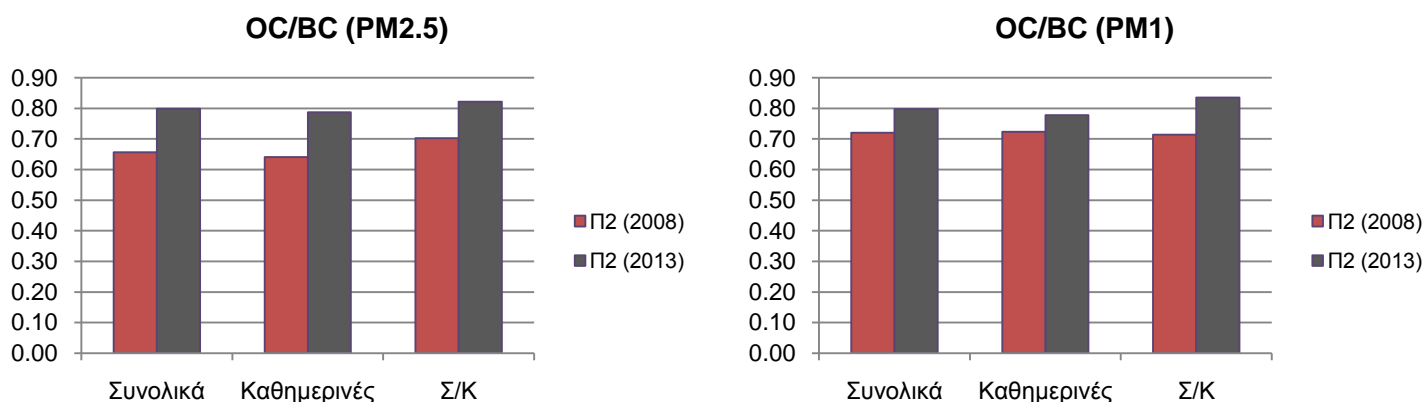


Σχήμα 5.9 α)



Σχήμα 5.9 β)

Σχήμα 5.9: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης του Λόγου OC/EC για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.9 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.9 β)



Σχήμα 5.10 α)

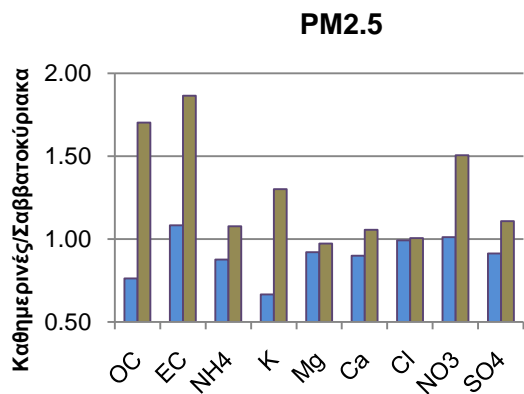
Σχήμα 5.10 β)

Σχήμα 5.10: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης του Λόγου OC/BC για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.10 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.10 β)

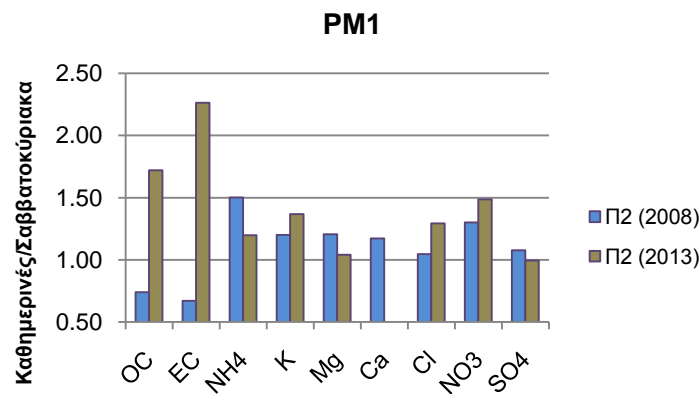
Για την κατανόηση της διακύμανσης των χημικών ενώσεων ανάμεσα στις εργάσιμες ημέρες (Καθημερινές) και τα Σαββατοκύριακα και δεδομένου ότι οι τάξεις μεγέθους της διαφοράς μεταξύ μερικών χημικών ενώσεων είναι αρκετά μεγάλες, υπολογίστηκε ο λόγος Καθημερινών/Σαββατοκύριακα και έγινε το συγκριτικό διάγραμμα διακύμανσης του κάθε ρύπου (Σχήμα 5.11). Αναφορικά με τα $PM_{2.5}$, παρατηρούμε μεγάλη διαφοροποίηση στην διαχρονική εικόνα του συγκεκριμένου σταθμού. Στο πείραμα του 2008, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων στην πλειονότητα των ρύπων, εκτός της οριακής επικράτησης των εκπομπών των Καθημερινών σχετικά με το EC και NO_3^- . Στο τωρινό πείραμα παρατηρούμε την καθοριστική συνεισφορά, στον κυκλοφοριακό σταθμό Π2, των εργάσιμων Καθημερινών τόσο στις οργανικές ενώσεις όσο και στους ανόργανους ρύπους. Μοναδική εξαίρεση παρουσιάζουν το εδαφικής προέλευσης Mg^{2+} . Όσο μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων η εικόνα γίνεται πιο σύνθετη καθώς παίζουν παραπάνω παράγοντες ρόλο στη συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων. Παρατηρούμε ότι όλοι οι ανόργανοι ρύποι και στις δύο περιπτώσεις εμφανίζονται πιο αυξημένοι τις καθημερινές. Διαφοροποιημένη εικόνα για τις οργανικές ενώσεις του παλαιότερου πειράματος που εμφανίζονται πολύ πιο αυξημένες κατά τις ημέρες του Σαββατοκύριακου και για τα θειικά ιόντα του παρόντος πειράματος.

Η στατιστική ανάλυση για το σταθμό Π2, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2, ενισχύει τις υποψίες για αύξηση του επιπέδου της σωματιδιακής ρύπανσης με την πάροδο του χρόνου. Η μάζα των αερολυμάτων, ειδικά στις οργανικές ενώσεις (OC , EC) και στους επικίνδυνους για την υγεία ανόργανους ρύπους (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) παρουσιάζει μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης (R) στην τωρινή μελέτη και στα δύο κλάσματα. Έτσι αναδεικνύεται η σημασία των τοπικών πηγών σε σχέση με φαινόμενα μεταφοράς καθώς τα αερολύματα και οι ρύποι έχουν κοινή πηγή. Μοναδική εξαίρεση τα θειικά ιόντα, όπου εμφανίζεται ελαφρώς πιο αυξημένος ο συντελεστής για το παλαιότερο πείραμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



Σχήμα 5.11 α)



Σχήμα 5.11 β)

Σχήμα 5.11: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.11 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.11 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

Πίνακας 5.2: Συγκριτικός Πίνακας Συντελεστών Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.

PM _{2.5}	2008	2013	PM ₁	2008	2013
OC - PM _x	0.80	0.91		0.51	0.89
EC - PM _x	0.56	0.81		0.51	0.78
NH ₄ ⁺ - PM _x	0.67	0.83		0.57	0.83
K ⁺ - PM _x	0.56	0.77		0.49	0.88
Mg ²⁺ - PM _x	0.13	-0.19		-0.27	-0.04
Ca ²⁺ - PM _x	0.48	0.36		-0.18	
Cl ⁻ - PM _x	-0.01	0.09		0.34	0.83
NO ₃ ⁻ - PM _x	0.75	0.79		0.57	0.90
SO ₄ ²⁻ - PM _x	0.77	0.62		0.67	0.63
OC - EC	0.57	0.78		0.88	0.78

Σχετικά με τη χημική ανάλυση στο σταθμό Π3 και τη σύγκριση των συγκεντρώσεων του 2005 με το 2013 αξίζει να σημειώσουμε ότι τα δεδομένα για το 2005 είναι από ολόκληρη τη δειγματοληπτική περίοδο (ψυχρή και θερμή). Σε μια προσπάθεια σύγκρισης των μετρούμενων συγκεντρώσεων (Σχήμα 5.12), παρατηρούμε ότι τα επίπεδα του Na⁺ είναι πολύ πιο αυξημένα κατά τη διάρκεια του παλαιότερου πειράματος. Γνωρίζοντας ότι η οριζόντια μεταφορά θαλασσινού αλατιού διευκολύνεται το καλοκαίρι μέσω του φαινομένου της θαλάσσιας αύρας, το συγκεκριμένο είναι λογικό καθώς στα

δεδομένα του 2005 περιλαμβάνεται και η θερμή περίοδος. Επίσης ιδιαίτερα αυξημένα τα επίπεδα των θειικών ιόντων, η αύξηση των ιόντων είναι συνεπής με το φωτοχημικό χαρακτήρα των SO_4^{2-} . Τα εδαφικής προέλευσης Mg^{2+} και Ca^{2+} είναι σε κάθε περίπτωση πιο αυξημένα στην παλαιότερη μελέτη, ενώ αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζει το K^+ . Το NO_3^- είναι και στα δύο κλάσματα πιο αυξημένη στην πιο πρόσφατη μελέτη, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην πιο αυξημένη κίνηση των οχημάτων ή στην εύνοια του συγκεκριμένου ρύπου από τις χαμηλότερες θερμοκρασίες καθότι γνωρίζουμε ότι όσο μειώνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η συμμετοχή των νιτρικών ιόντων στη μάζα των αερολυμάτων.

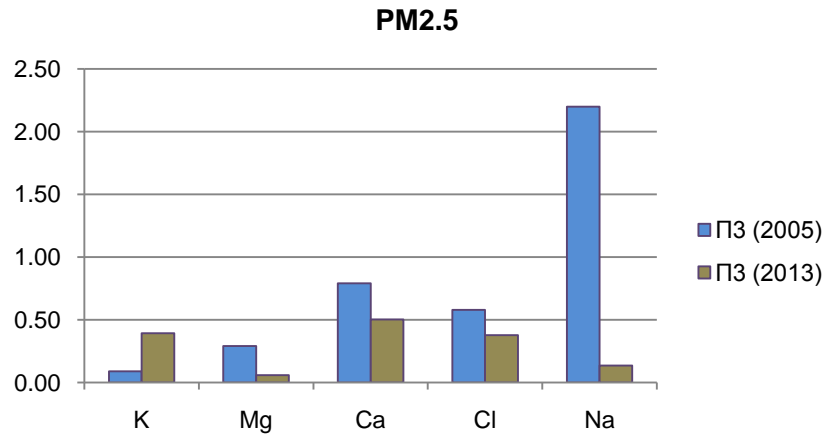
5.2 Αιωρούμενα Σωματίδια και Μετεωρολογία

Η μελέτη της χωροχρονικής διακύμανσης τόσο των συγκεντρώσεων όσο και της χημικής σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων κλείνει τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της σωματιδιακής ρύπανσης. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι η ταχύτητα του ανέμου (WS), η θερμοκρασία (T), η σχετική υγρασία (RH) και τέλος οι επιφανειακοί άνεμοι που επικρατούν, όπως χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες παραγράφους. Η κατηγοριοποίηση των μετεωρολογικών παραμέτρων είναι όπως παρουσιάστηκε στον Πίνακα 3.10.

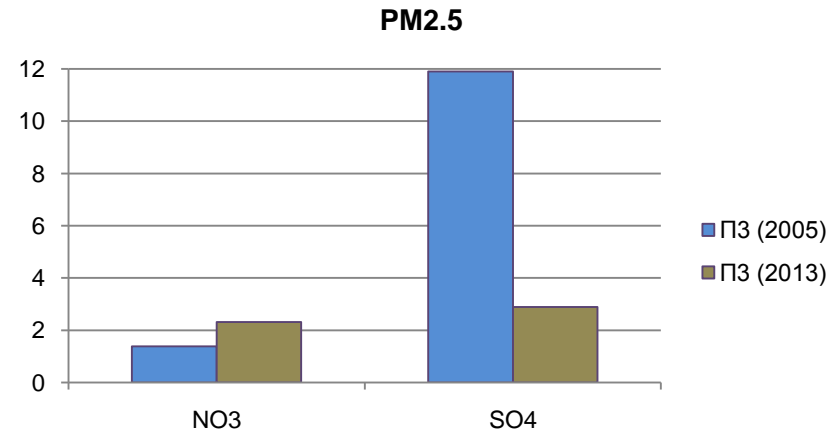
5.2.1 Συγκεντρώσεις

Η μελέτη της χωροχρονικής διακύμανσης των συγκεντρώσεων στο σταθμό Π2 σχετικά με τη μετεωρολογική παράμετρο της ταχύτητας του ανέμου (WS), δείχνει για άλλη μια φορά την επιβάρυνση του συγκεκριμένου σταθμού (Σχήμα 5.13). Οι συγκεντρώσεις στο παλαιότερο πείραμα του 2008, εμφανίζονται σε κάθε κατηγορία ανέμου κοντά στη μέση συγκέντρωση του σταθμού και στα δύο κλάσματα. Η μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με τη μέση συγκέντρωση του σταθμού στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ παρουσιάζεται για τις μικρότερες ταχύτητες $1.34 m/s < WS \leq 2.19 m/s$ και είναι της τάξης του 7.6%, ενώ για το κλάσμα των PM_1 παρουσιάζεται για ανέμους $2.19 m/s < WS \leq 3.04 m/s$ και είναι της τάξης του 8.2%. Υπάρχει μια γενικότερη τάση μείωσης των συγκεντρώσεων με την αύξηση της παραμέτρου της ταχύτητας του ανέμου στην παλαιότερη μελέτη. Σχετικά με το τωρινό πείραμα, όπως αναφέρθηκε στην §4.2.1, η εικόνα παρουσιάζεται ιδιαίτερα σύνθετη με τιμές πάνω από τη μέση συγκέντρωση του σταθμού σε κάθε περίπτωση (με εξαίρεση ταχύτητες $3.04 m/s < WS \leq 3.89 m/s$) και με τη συγκεκριμένη παράμετρο να μη φαίνεται να επηρεάζει τις συγκεντρώσεις στο σταθμό δειγματοληψίας. Άρα η ταχύτητα του ανέμου φαίνεται να επηρεάζει τη μάζα των αερολυμάτων στο πείραμα του 2008, αλλά όχι του 2013. Η εικόνα του ποσοστού των υπερβάσεων (Σχήμα 5.14) αναδεικνύει την ύπαρξη κοινής τάσης στις υψηλότερες υπερβάσεις. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται υψηλότερες υπερβάσεις για ταχύτητες $1.34 m/s < WS \leq 3.04 m/s$ (2^{ης} και 3^{ης} κατηγορίας) σε κάθε περίπτωση. Υψηλότερο ποσοστό υπερβάσεων εμφανίζεται στις περισσότερες των περιπτώσεων στην παλαιότερη μελέτη του 2008.

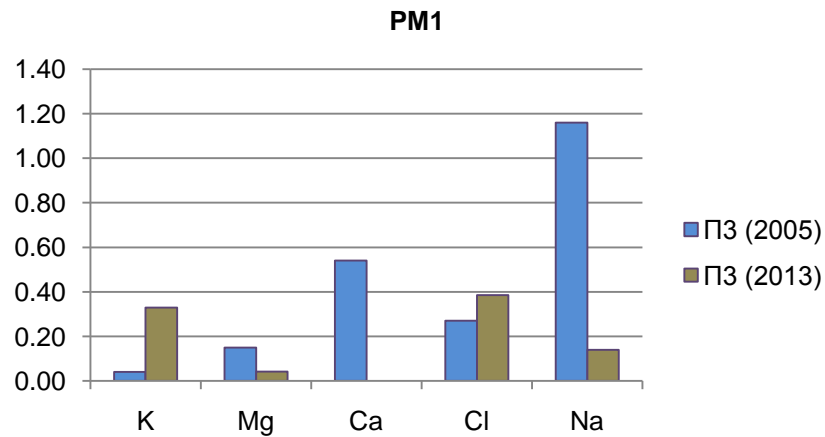
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



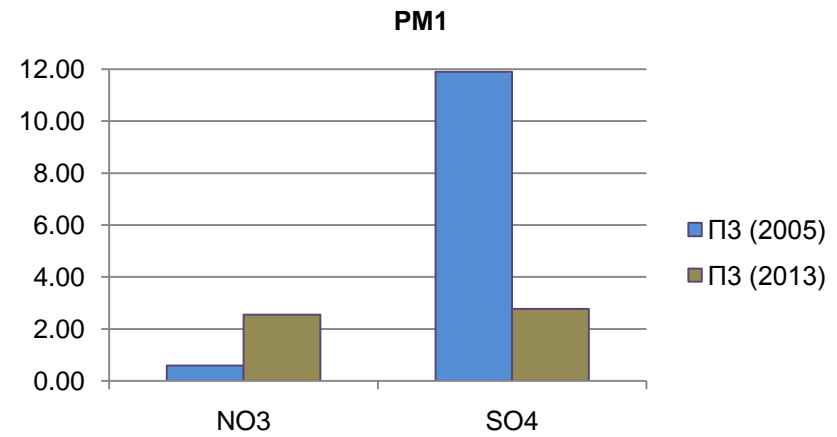
Σχήμα 5.12 α)



Σχήμα 5.12 β)



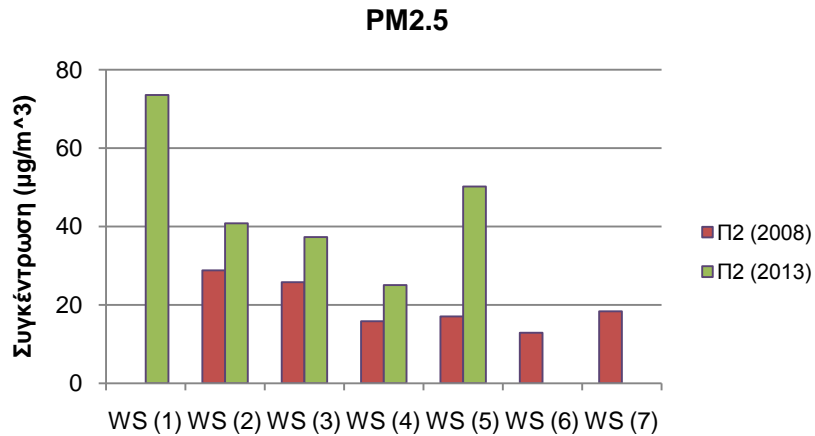
Σχήμα 5.12 γ)



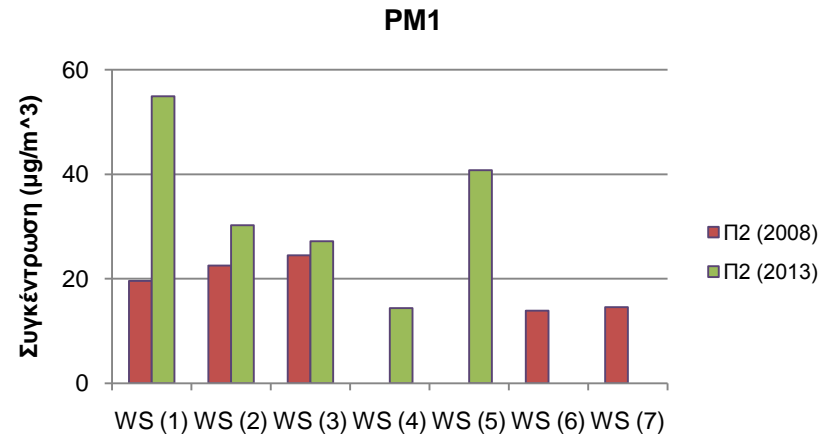
Σχήμα 5.12 δ)

Σχήμα 5.12: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.12 α, β) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.12 γ, δ) Μεταξύ του Σταθμού Π3 (2005) και Π3 (2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

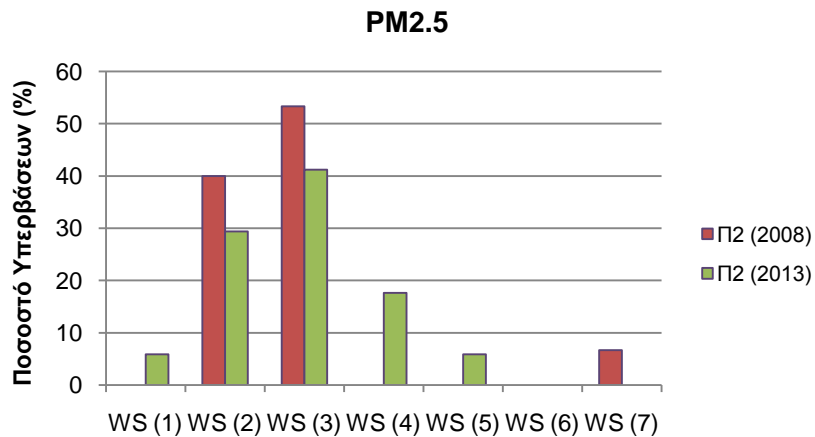


Σχήμα 5.13 α)

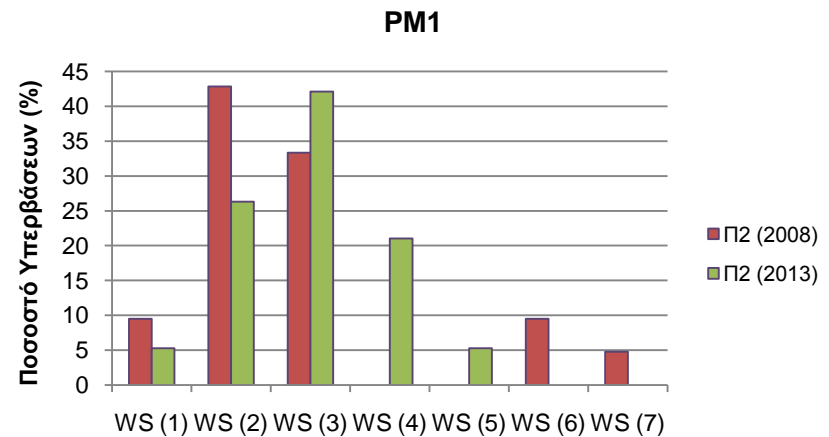


Σχήμα 5.13 β)

Σχήμα 5.13: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.13 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.13 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)



Σχήμα 5.14 α)



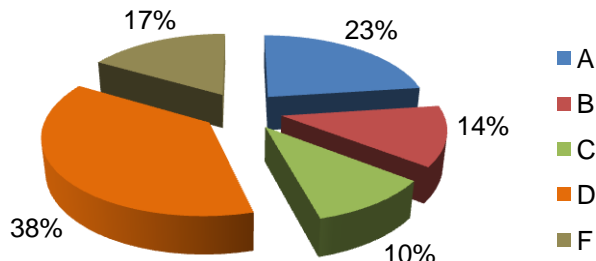
Σχήμα 5.14 β)

Σχήμα 5.14: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.14 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.14 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

Σχετικά με τη θερμοκρασία (T), στη μελέτη του 2008, οι συγκεντρώσεις φαίνεται να αυξάνονται στο μεγαλύτερο κλάσμα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία (Σχήμα 5.15). Το παραπάνω είναι συνεπές με τη θεωρία καθώς γνωρίζουμε ότι λόγω και της έντονης φωτοχημείας και των μετασχηματισμών των αιωρούμενων σωματιδίων (που αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από θειικά ιόντα) ευνοείται η αύξηση της συγκέντρωσης τους κατά τις πιο θερμές ημέρες. Η μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με τη μέση συγκέντρωση του σταθμού, για τα $PM_{2.5}$ είναι της τάξης του 12.72% για θερμοκρασίες $16^{\circ}C < T \leq 17.5^{\circ}C$. Αντίθετη εικόνα παρουσιάζεται στην τωρινή μελέτη όπου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των χαμηλότερων θερμοκρασιών ($T < 10^{\circ}C$). Στο μικρότερο κλάσμα των PM_1 , η εικόνα δε μας επιτρέπει να βγάλουμε κάποιο συμπέρασμα για την προηγούμενη μελέτη. Για μία ακόμη φορά φαίνεται ότι στην μελέτη του 2008 τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, στο μεγαλύτερο κλάσμα, έχουν άμεση εξάρτηση από τις μετεωρολογικές συνθήκες, γεγονός το οποίο δεν επαληθεύεται το 2013. Η εικόνα του ποσοστού των υπερβάσεων (Σχήμα 5.16) είναι πιο πολύπλοκη σε κάθε περίπτωση καθώς δεν εμφανίζεται κάποια συγκεκριμένη τάση. Σε κάθε περίπτωση, το ποσοστό των υπερβάσεων είναι πιο αυξημένο στο πείραμα του 2008.

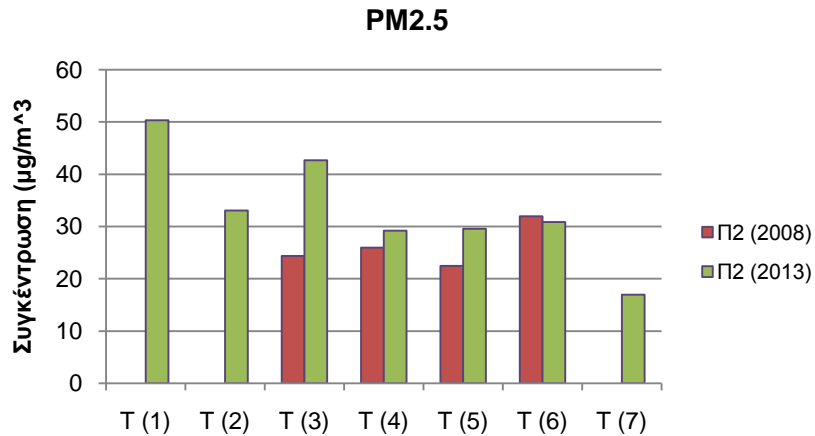
Η σχετική υγρασία φαίνεται να είναι η μετεωρολογική παράμετρος που επηρεάζει και τα δύο κλάσματα και στις δύο μελέτες (Σχήμα 5.17). Η αύξηση των τιμών της συγκεκριμένης παραμέτρου οδηγεί και σε αύξηση των τιμών των συγκεντρώσεων. Μοναδική εξαίρεση η 3^η κατηγορία ($46\% < RH \leq 56\%$) για το πείραμα του 2013 που παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο μεγαλύτερο κλάσμα. Η μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με τη μέση συγκέντρωση, για την παλαιότερη μελέτη, παρουσιάζονται για $RH > 86\%$ και είναι της τάξης του 16.40% και 10.04% για το κλάσμα των $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Κοινή τάση σχετικά με το ποσοστό των υπερβάσεων στις δύο μελέτες (Σχήμα 5.18). Οι υψηλότερες υπερβάσεις εμφανίζονται στην 4^η κατηγορία ($56\% < RH \leq 66\%$) σε κάθε περίπτωση και εμφανίζουν πτωτική τάση όσο αυξάνει η σχετική υγρασία.

Η συχνότητα εμφάνισης του διαφορετικού τύπου των επιφανειακών ανέμων (Σχήμα 5.19) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης για τους ανέμους τύπου D. Σε σχέση με το ποσοστό εμφάνισης των ίδιων ανέμων κατά τη διάρκεια του πρόσφατου πειράματος το 2013 (Σχήμα 4.38) παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης στους ανέμους τύπου A, D και F. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι Νότιοι άνεμοι μεταφέρουν ρυπασμένες αέριες μάζες από τις περιοχές του Πειραιά και του Σαρωνικού κόλπου και είναι άμεσα συνυφασμένοι με θερμοκρασιακές αναστροφές καθώς μεταφέρουν θερμότερες αέριες μάζες από τα Νοτιότερα μέρη της Μεσογείου, άρα ευθύνονται για υψηλότερες συγκεντρώσεις (Kassomenos et al. 1995; Pateraki et al. 2013b). Επίσης, οι Δυτικοί άνεμοι είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά αερίων μαζών από το ρυπασμένο Θριάσιο πεδίο και ενισχύουν τη μάζα των αερολυμάτων.

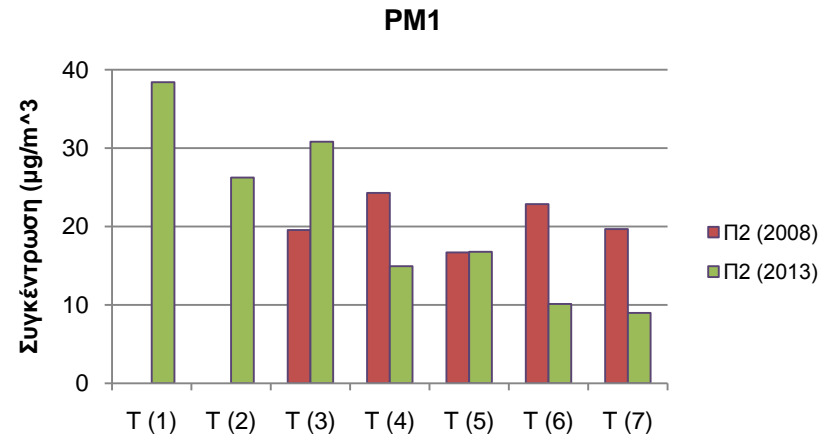


Σχήμα 5.19: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Επιφανειακών Ανέμων στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας του Πειράματος του 2008 για το Σταθμό Π2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

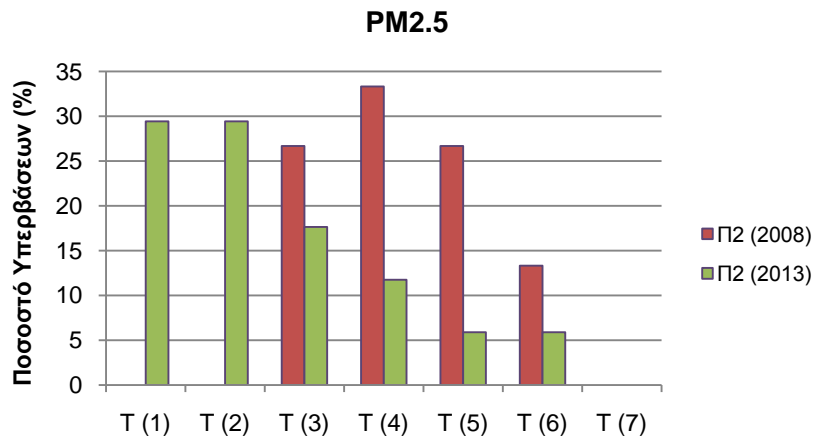


Σχήμα 5.15 α)

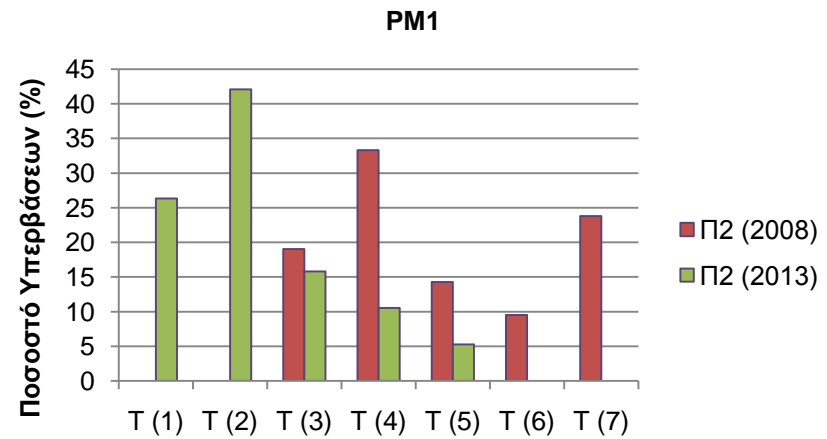


Σχήμα 5.15 β)

Σχήμα 5.15: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.15 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.15 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)



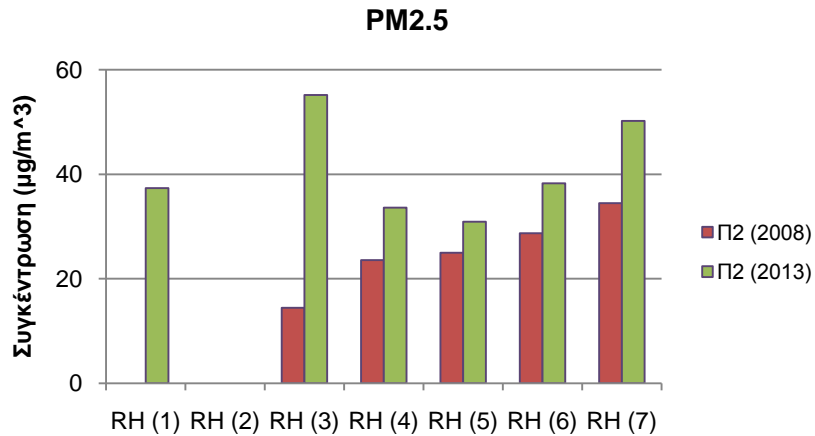
Σχήμα 5.15 α)



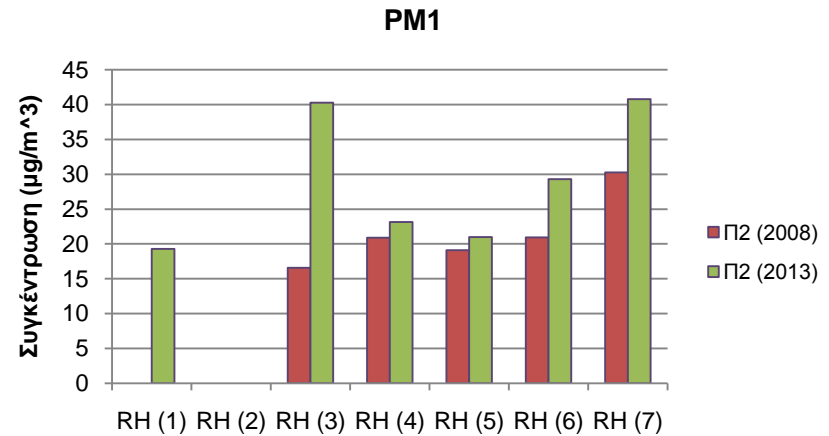
Σχήμα 5.15 β)

Σχήμα 5.16: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.16 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.16 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

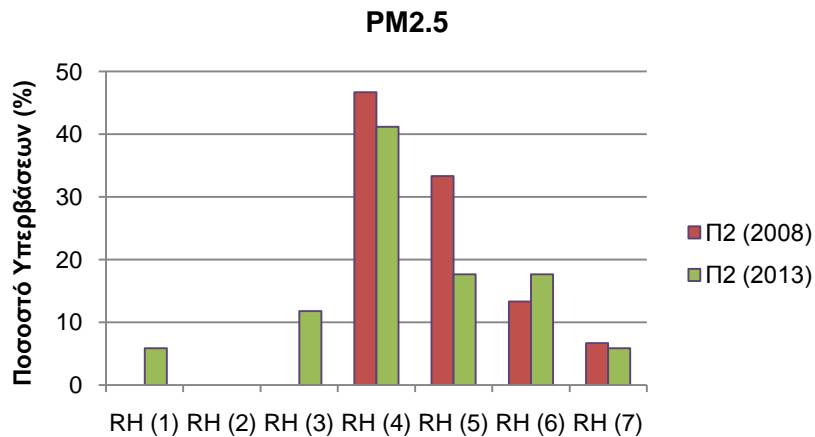


Σχήμα 5.17 α)

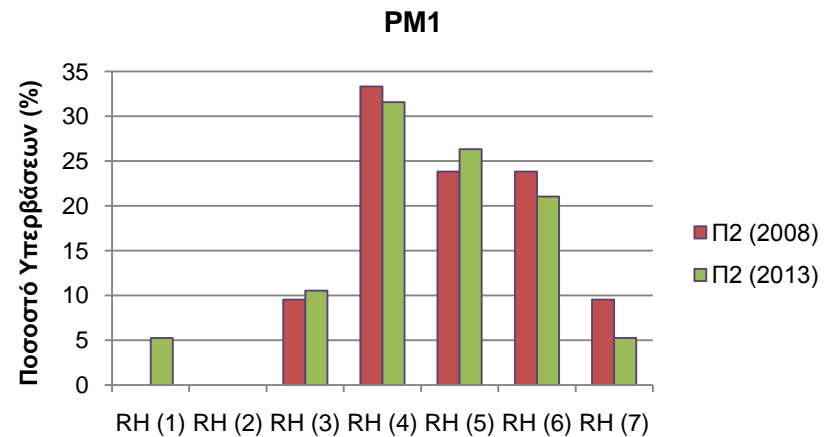


Σχήμα 5.17 β)

Σχήμα 5.17: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.17 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.17 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)



Σχήμα 5.18 α)



Σχήμα 5.18 β)

Σχήμα 5.18: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.18 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.18 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

Οι συγκεντρώσεις (Σχήμα 5.20) εμφανίζουν διαφορετική εικόνα στο κάθε πείραμα. Στο παλαιότερο πείραμα του 2008, στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τη μέση συγκέντρωση εμφανίζονται μόνο στους ανέμους τύπου Β (2.43% διαφορά) και D (4.08% διαφορά) ενώ στο πιο πρόσφατο πείραμα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σχετίζονται με ανέμους τύπου C (10.55% διαφορά) και F (10.21% διαφορά). Στο κλάσμα των PM_1 δεν παρατηρούμε κάποια κοινή τάση (Σχήμα 5.20 β). Οι συγκεντρώσεις του πειράματος του 2008 εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διαφορά κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Α (5.55%) ακολουθούμενοι από ανέμους τύπου Β και D. Στο τωρινό πείραμα οι υψηλότερες συγκεντρώσεις φαίνεται να ευνοούνται από ανέμους τύπου C (12.8% διαφορά) ακολουθούμενοι από ανέμους τύπου F και Β. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.20 γ) εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Β και στα δύο πειράματα. Για ακόμη μια φορά τα ποσοστά των υπερβάσεων εμφανίζονται πιο αυξημένα στο παλαιότερο πείραμα (Σχήμα 5.21). Στο μεγαλύτερο κλάσμα (Σχήμα 5.21 α) φαίνεται να ευνοούνται οι υψηλότερες υπερβάσεις κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου Α και D για το 2008 ενώ η στο μικρότερο κλάσμα η εικόνα είναι πιο σύνθετη. Στην τωρινή μελέτη οι υπερβάσεις ευνοούνται μόνο από ανέμους τύπου Β.

Οι συντελεστές συσχέτισης τόσο σχετικά με τη χωροχρονική διακύμανση του σταθμού Π2 (Πίνακας 5.3) όσο και του σταθμού Π3 (Πίνακας 5.4) αναδεικνύουν αυτά που ήδη παρατηρήσαμε.

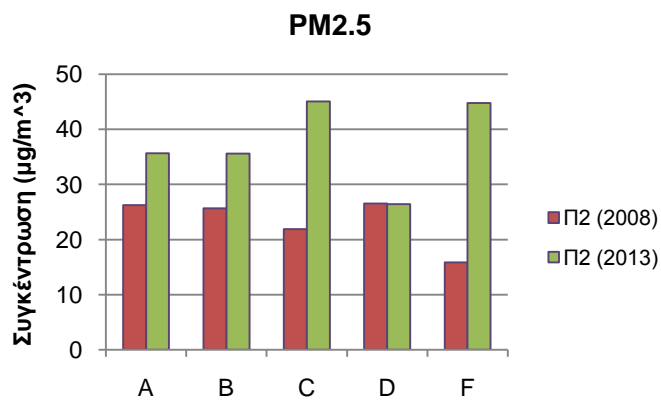
Πίνακας 5.3: Συντελεστές Συσχέτισης Μεταξύ της Μάζας των Αερολυμάτων και των Βασικών Μετεωρολογικών Παραμέτρων Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.

	PM2.5		PM1	
	Π2 (2008)	Π2 (2013)	Π2 (2008)	Π2 (2013)
WS - PM	-0.52	-0.38	-0.54	-0.42
T - PM	0.01	-0.33	-0.11	-0.61
RH - PM	0.23	0.25	0.29	0.30

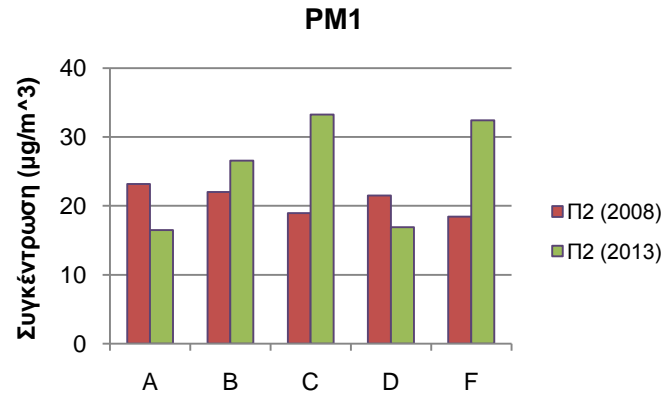
Πίνακας 5.4: Συντελεστές Συσχέτισης Μεταξύ της Μάζας των Αερολυμάτων και των Βασικών Μετεωρολογικών Παραμέτρων Σχετικά με το Πείραμα του 2005 και 2013 στο Σταθμό Π3.

	PM2.5		PM1	
	Π3 (2005)	Π3 (2013)	Π3 (2005)	Π3 (2013)
WS - PM	-0.1	-0.3	-0.27	-0.4
T - PM	0.3	-0.03	0.41	-0.5
RH - PM	-0.32	-0.3	0.26	0.54

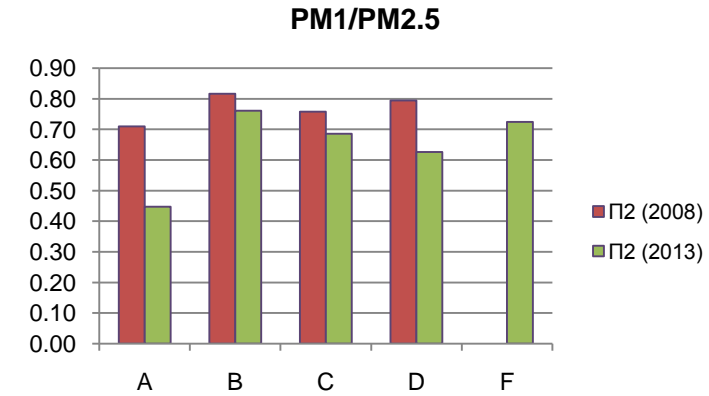
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



Σχήμα 5.20 α)

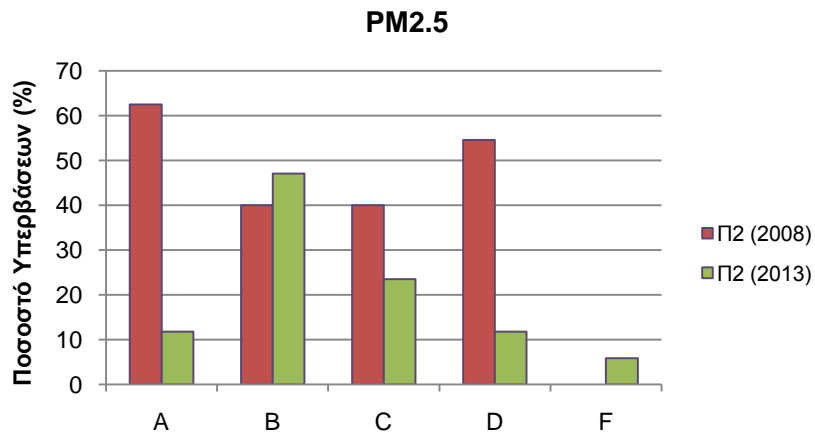


Σχήμα 5.20 β)

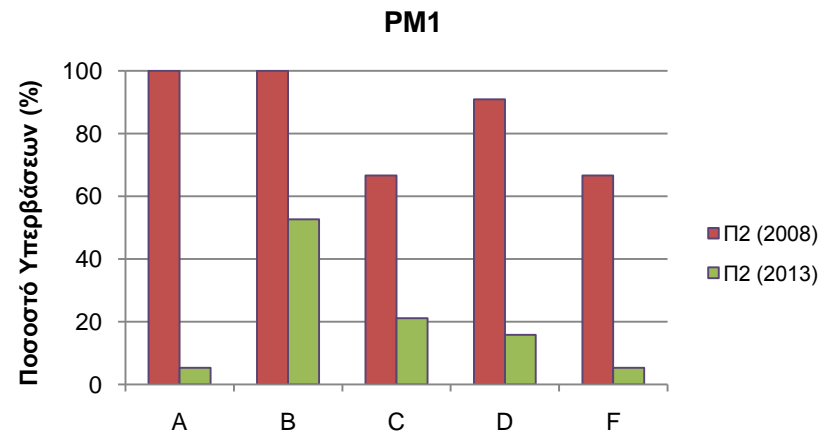


Σχήμα 5.20 γ)

Σχήμα 5.20: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.20 α) στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.20 β) και στο Λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.20 γ) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)



Σχήμα 5.21 α)



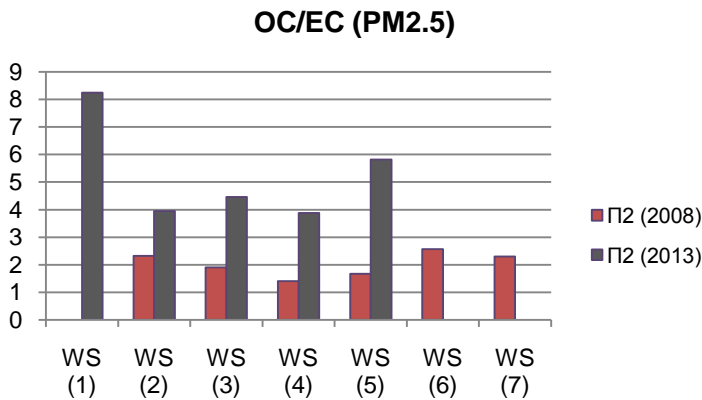
Σχήμα 5.21 β)

Σχήμα 5.21: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.21 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.21 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

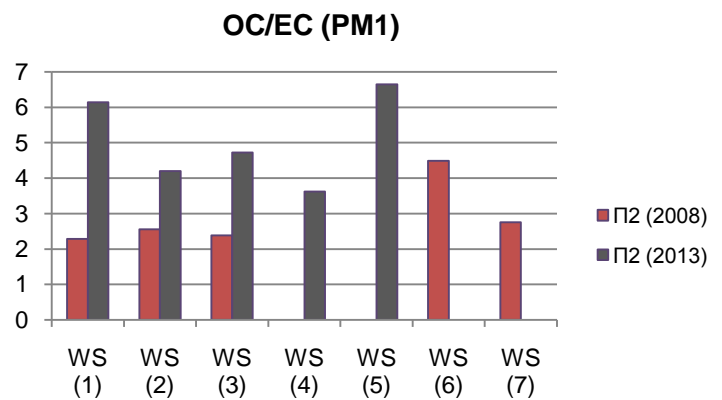
5.2.2 Χημική Σύσταση

Η μελέτη της χωροχρονικής διακύμανσης των χημικών ενώσεων κατά τη διάρκεια των παλαιότερων μελετών και της τωρινής εξετάζει τόσο τη σύσταση των σωματιδίων σε οργανικές ενώσεις και την επιρροή σε αυτές των παραπάνω μετεωρολογικών παραμέτρων, όσο και σε ανόργανους ρύπους.

Στη μελέτη του 2013 λόγος OC/EC παίρνει τιμές σταθερά πάνω από την οριακή τιμή 2 αναφορικά με τη διαφορετική κατηγοριοποίηση της ταχύτητας του ανέμου (Σχήμα 5.22) δείχνοντας να ευνοείται από τις μικρότερες και από τις μεγαλύτερες ταχύτητες σχετικά με τα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα. Η παρατηρούμενη κατάσταση της παλαιότερης μελέτης είναι πολύ καλύτερη καθώς ο λόγος βρίσκεται κάτω από την τιμή 2 για ταχύτητες ($2.19m/s < WS \leq 3.74m/s$) ενώ οριακά πάνω από αυτή την τιμή για τις άλλες κατηγορίες. Η διακύμανση της χημικής σύστασης των αερολυμάτων αναφορικά με τη ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 5.23) μας πληροφορεί για την αυξημένη συμμετοχή των σωματιδίων σε θειικά ιόντα και στοιχειακό άνθρακα κατά τη διάρκεια του πειράματος του 2008 ενώ στην παρούσα μελέτη υπάρχει αυξημένη η παρουσία του οργανικού άνθρακα. Δεν παρατηρείται κάποια τάση στις χημικές ενώσεις.



Σχήμα 5.22 α)

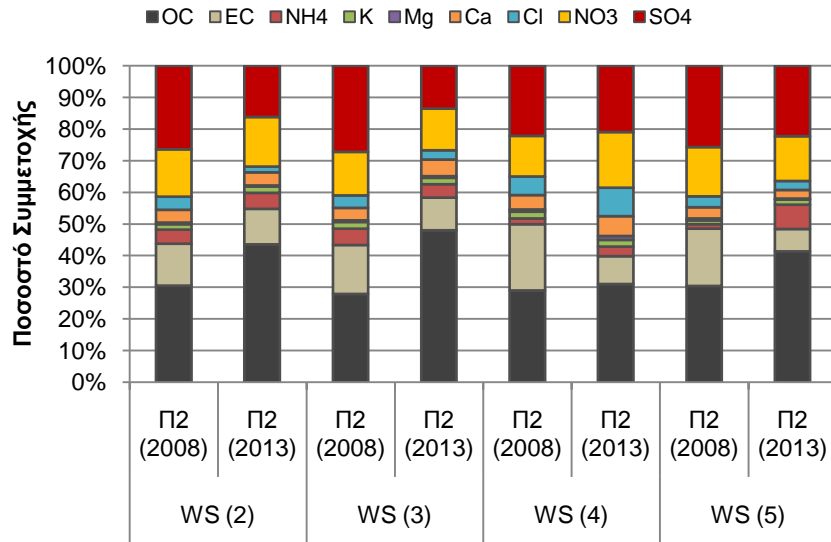


Σχήμα 5.22 β)

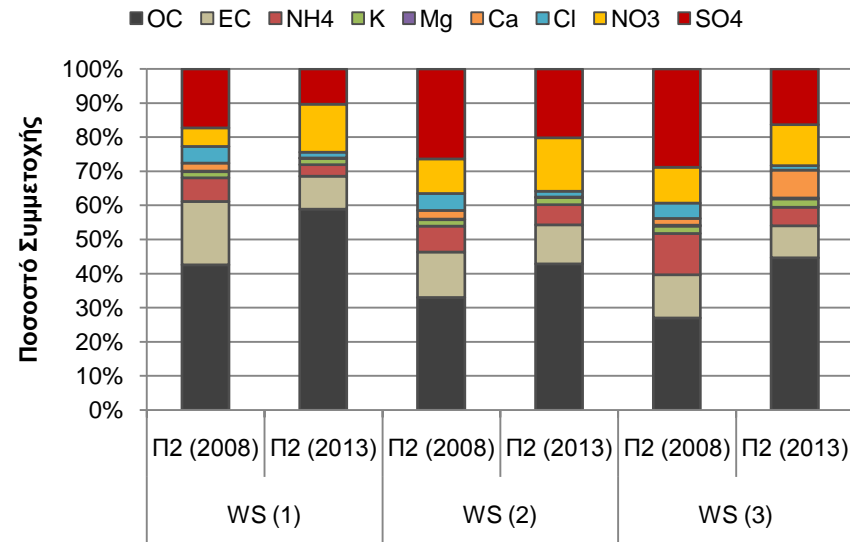
Σχήμα 5.22: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.22 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.22 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

Σχετικά με το λόγο OC/EC αναφορικά με τη θερμοκρασία (Σχήμα 5.24) παρουσιάζει μια μικρή τάση μείωσης μέχρι τους $17.5^{\circ}C$ (6^η κατηγορία) και μία έντονη αύξηση για θερμοκρασίες πάνω από τους $17.5^{\circ}C$. Ο λόγος είναι σταθερά πάνω από τη τιμή 2 στην τωρινή μελέτη υποδεικνύοντας το σχηματισμό δευτερογενών οργανικών ενώσεων ενώ παρουσιάζει καλύτερη εικόνα στην παλαιότερη μελέτη. Η χωροχρονική διακύμανση της χημικής σύστασης των αερολυμάτων σχετικά με τη θερμοκρασία (Σχήμα 5.25) δεν παρουσιάζει κάποια συγκεκριμένη τάση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



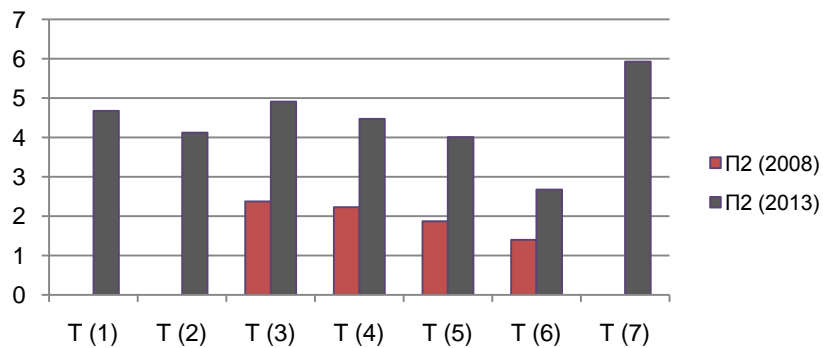
Σχήμα 5.23 α)



Σχήμα 5.23 β)

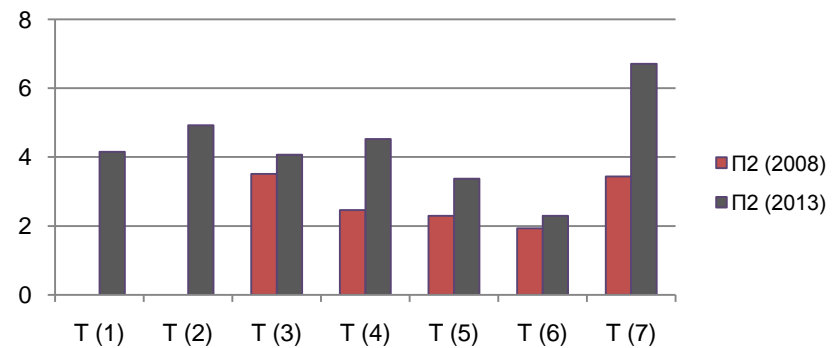
Σχήμα 5.23: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.23 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.23 β) Μεταξύ του Σταθμού P2 (2008) και P2 (2013)

OC/EC ($PM_{2.5}$)



Σχήμα 5.24 α)

OC/EC (PM_1)



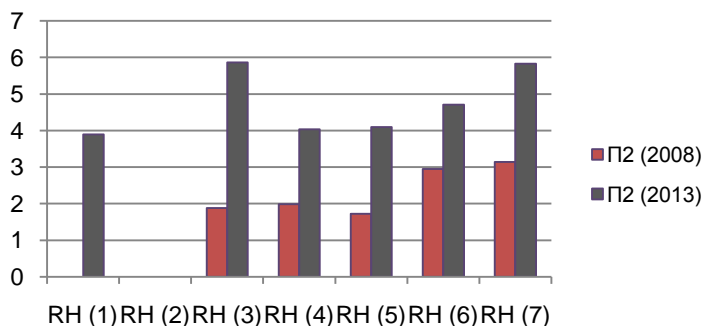
Σχήμα 5.24 β)

Σχήμα 5.24: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.24 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.24 β) Μεταξύ του Σταθμού P2 (2008) και P2 (2013)

Οι τιμές του λόγου OC/EC σχετικά με τη μετεωρολογική παράμετρο της σχετικής υγρασίας (Σχήμα 5.26) και την παρούσα μελέτη παρουσιάζονται σταθερά πάνω από την τιμή 2 με μέγιστες τιμές κατά τη διάρκεια της 3^{ης} (46% < $RH \leq 56\%$) και 7^{ης} κατηγορίας ($RH > 86\%$). Στην παλαιότερη μελέτη ο λόγος παίρνει τιμές πάνω από την τιμή 2 για υγρασία $RH > 76\%$ στο μεγαλύτερο κλάσμα ενώ είναι σταθερά πάνω από αυτή την τιμή στο κλάσμα των PM_{10} . Παρατηρείται μικρή τάση αύξησης του λόγου για υγρασία από 56% και πάνω και στα δύο πειράματα. Δεν παρατηρείται καμία συγκεκριμένη τάση σχετικά με τη διακύμανση των χημικών ενώσεων αναφορικά με τις κατηγορίες της σχετικής υγρασίας (Σχήμα 5.27).

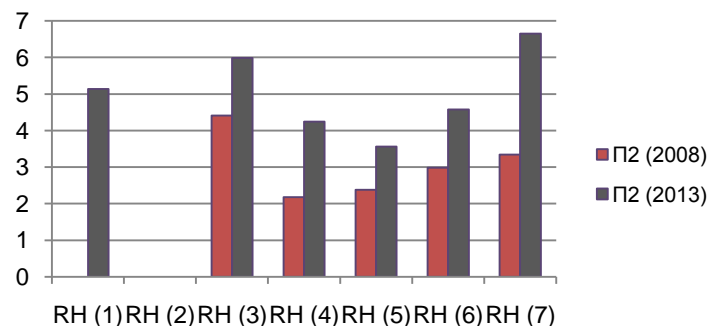
Η περιοχή Π2 εμφανίζεται για άλλη μια φορά πιο επιβαρυνμένη από δευτερογενείς οργανικές ενώσεις στην πιο πρόσφατη μελέτη και στην κατηγοριοποίηση σχετικά με τους επιφανειακούς ανέμους (Σχήμα 5.28). Στην παρούσα μελέτη φαίνεται να ευνοείται η αύξηση του λόγου από ανέμους τύπου C, ενώ για την παλαιότερη μελέτη δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη τάση με τη μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B και F σχετικά με τα $PM_{2.5}$ και PM_{10} αντίστοιχα. Καμία συγκεκριμένη τάση δεν παρατηρούμε στη σύγκριση της διακύμανσης των χημικών ενώσεων των αερολυμάτων σχετικά με την κατηγοριοποίηση του επιφανειακού ανέμου (Σχήμα 5.29).

OC/EC (PM_{2.5})



Σχήμα 5.26 α)

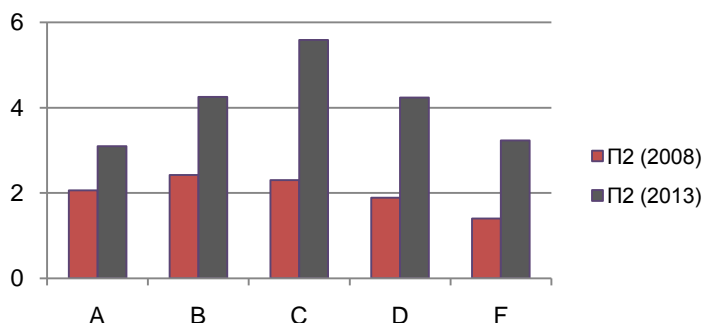
OC/EC (PM₁₀)



Σχήμα 5.26 β)

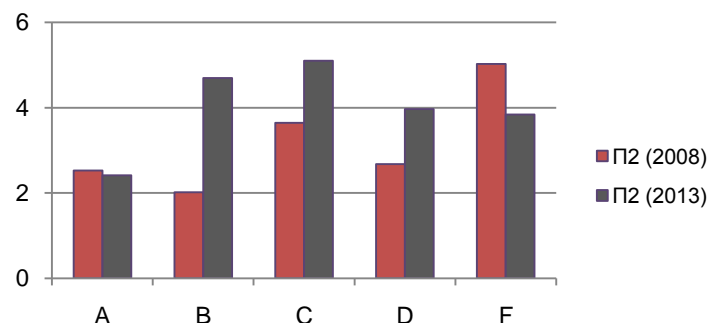
Σχήμα 5.26: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.26 α) και στο Κλάσμα PM_{10} (Σχήμα 5.26 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

OC/EC (PM_{2.5})



Σχήμα 5.28 α)

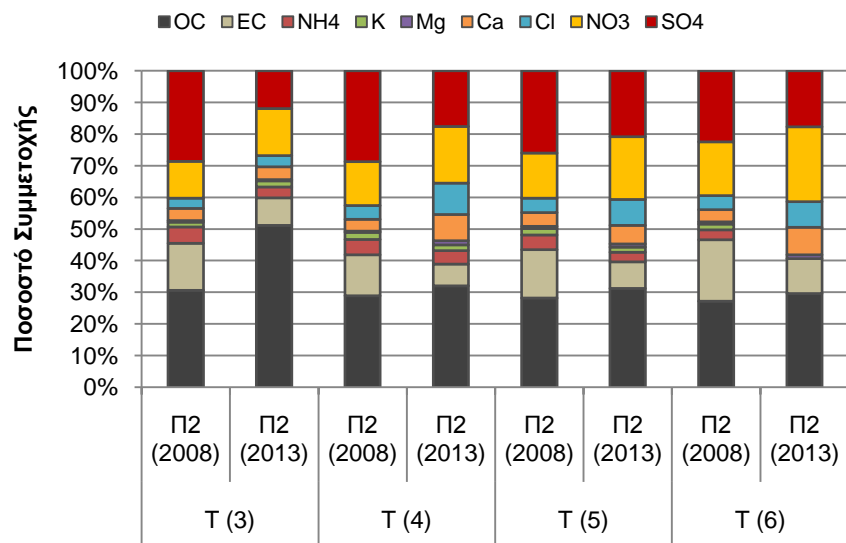
OC/EC (PM₁₀)



Σχήμα 5.28 β)

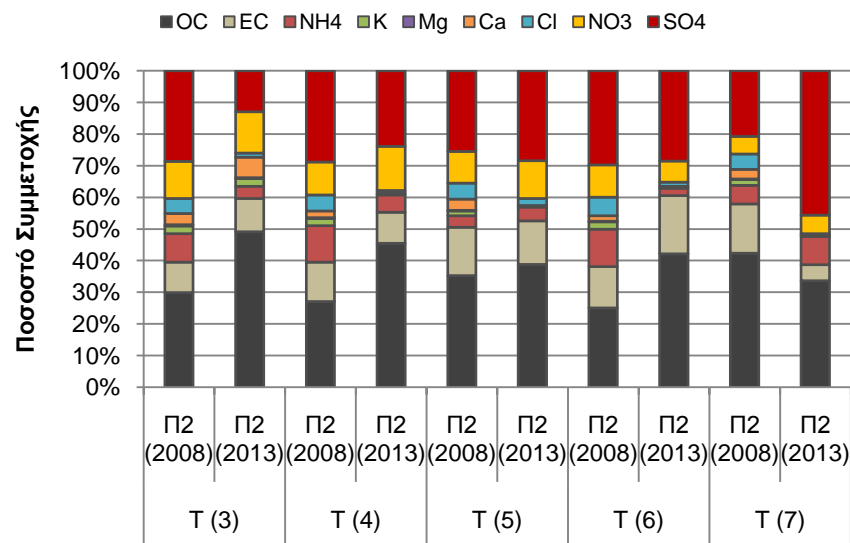
Σχήμα 5.28: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου των Επιφανειακών Ανέμων στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.28 α) και στο Κλάσμα PM_{10} (Σχήμα 5.28 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

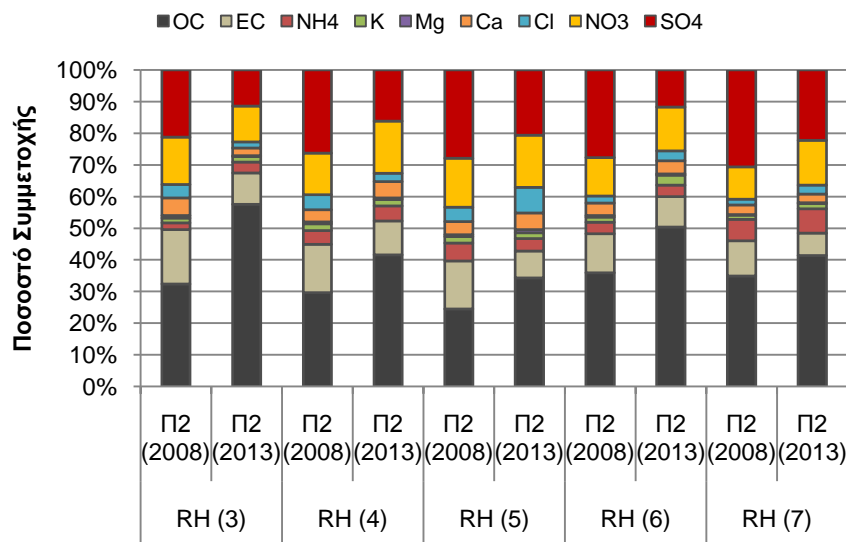


Σχήμα 5.25 α)

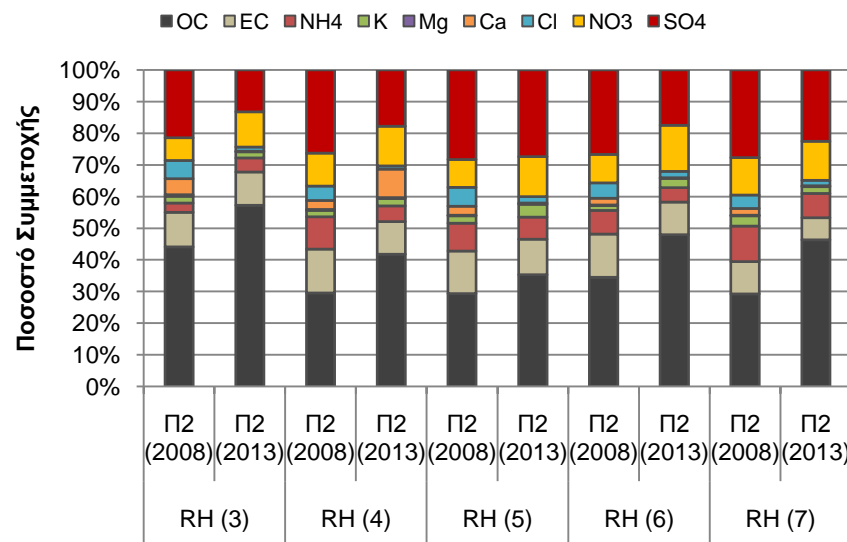
Σχήμα 5.25: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.25 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.25 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)



Σχήμα 5.25 β)



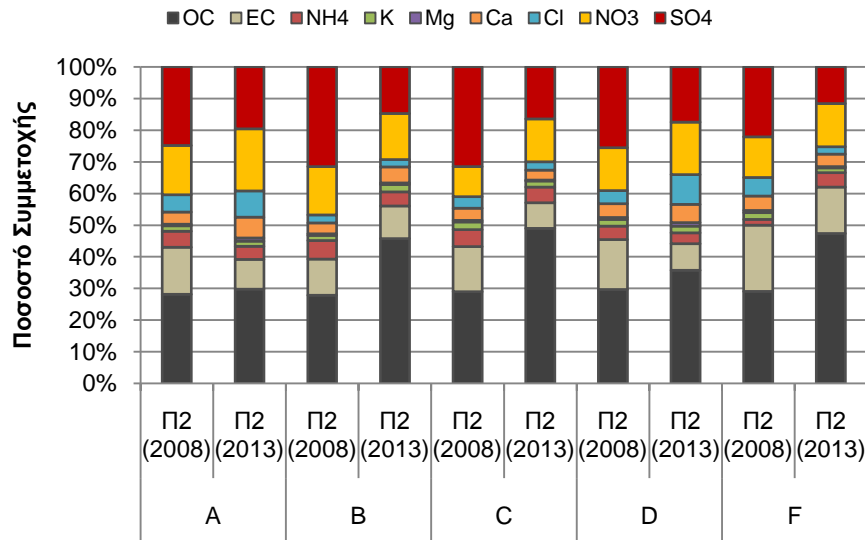
Σχήμα 5.27 α)



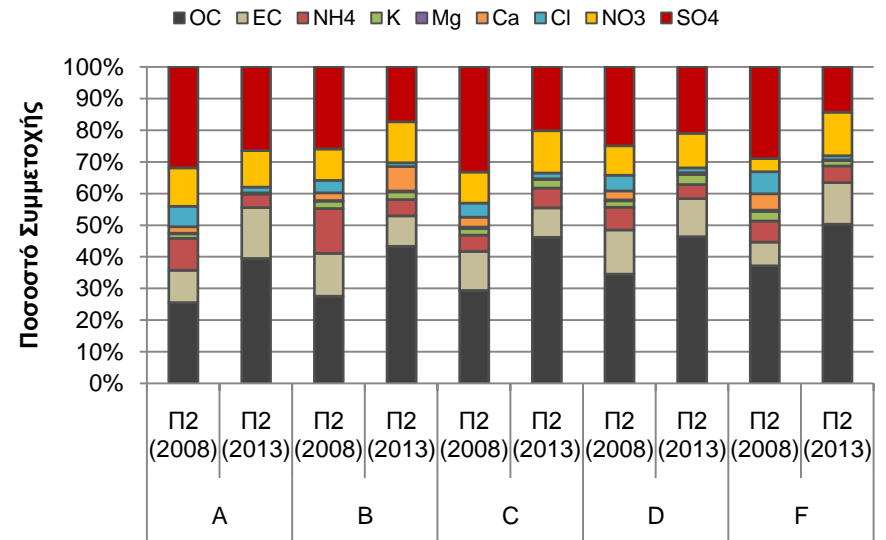
Σχήμα 5.27 β)

Σχήμα 5.27: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα PM_{2.5} (Σχήμα 5.27 α) και στο Κλάσμα PM₁ (Σχήμα 5.27 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



Σχήμα 5.29 α)



Σχήμα 5.29 β)

Σχήμα 5.29: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.29 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.29 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)

5.3 Συμπεράσματα

1. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στο παρόν πείραμα βρέθηκαν αυξημένα σε ποσοστό πάνω από 10% (αγγίζοντας μέχρι και το 46.8%) σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας και μετρούμενο κλάσμα σε σχέση με τις μελέτες των προηγούμενων ετών τόσο στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ όσο και των PM_1
2. Παρατηρούμενη αύξηση των συγκεντρώσεων στο τωρινό πείραμα στα 18.77% στο σταθμό Π1, 19.71% και 10.70% στο σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα και 18.47% και 46.81% στο σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα
3. Στο σταθμό Π2 παρατηρούμε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων της μάζας των σωματιδίων είναι αυξημένη στην παρούσα μελέτη τόσο στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου όσο και κατά τη διάρκεια των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων αναδεικνύοντας την αρνητική διαχρονική εξέλιξη σχετικά με τη σωματιδιακή ρύπανση. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το κλάσμα των PM_1 αναφορικά με τα Σαββατοκύριακα
4. Η μάζα των δύο διαφορετικών κλασμάτων εμφανίζεται υψηλά συσχετισμένη και στις δύο πειραματικές περιόδους αναδεικνύοντας κοινές πηγές σε κάθε περίπτωση
5. Ο λόγος $PM_1/PM_{2.5}$ εμφανίζεται πιο αυξημένος κατά τη διάρκεια του παλαιότερου πειράματος στο σταθμό Π2 (σε κάθε περίπτωση πάνω από 0.6)
6. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις στο κάθε κλάσμα (για τον Π2) και τις διακυμάνσεις τους καθώς και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ παρατηρούμε όχι μόνο αύξηση της μέσης τιμής και στα δύο κλάσματα αλλά συνολικά αυξημένες συγκεντρώσεις με την ελάχιστη τιμή της συγκέντρωσης του τωρινού πειράματος να βρίσκεται σταθερά πάνω από τις τιμές του 2008. Το ίδιο ισχύει και για τις μέγιστες τιμές.
7. Στο Π2, εκτός των μετρούμενων Σαββάτων, οι υπερβάσεις στο πείραμα του 2013 παρουσιάζουν αύξηση από 25% κατά τη διάρκεια των Κυριακών μέχρι και 38.3% αναφορικά με τις ημέρες των Καθημερινών σε σχέση με το πείραμα του 2008.
8. Στο μικρότερο κλάσμα (PM_1), τόσο στο επίπεδο των συγκεντρώσεων όσο και υπερβάσεων εξακολουθεί να είναι υψηλότερο στο πείραμα του 2008 στον Π2.
9. Αναφορικά με το ποσοστό των υπερβάσεων πάνω από τα όρια της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S.E.P.A.), φαίνεται ξεκάθαρα η επιβάρυνση της σωματιδιακής ρύπανσης κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων
10. Σχετικά με το σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου για το κλάσμα των $PM_{2.5}$ το 2005 και 2013 στο σταθμό Π3, το ποσοστό των υπερβάσεων παρουσιάζει διαφορά της τάξης του 33.33% ανάμεσα στα δύο έτη καθώς βρίσκεται στο 44.44% και 77.78% για τα έτη 2005 και 2013 αντίστοιχα. Η μεγάλη αύξηση αναδεικνύει την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας σε σωματιδιακές συγκεντρώσεις πάνω από τα όρια.
11. Στο σταθμό Π3, αναφορικά με το 2005, οι υψηλότερες μετρούμενες συγκεντρώσεις παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Το γεγονός μπορεί να οφείλεται

στις ενισχυμένες πηγές εκπομπής κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπως η αυξημένη κίνηση των οχημάτων, η οικιακή θέρμανση, η κρύα εκκίνηση (cold start) των κινητήρων σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες.

12. Σχετικά τις χημικές ενώσεις στο σταθμό Π2, σε κάθε περίπτωση ο πρώτος σε συγκέντρωση ρύπος είναι ο οργανικός άνθρακας ακολουθούμενος από τα θειικά ιόντα.
13. Στο κλάσμα των $PM_{2.5}$, μόνο ο οργανικός άνθρακας (OC) εμφανίζεται αυξημένος στο πρόσφατο πείραμα, τόσο σε μέση συγκέντρωση όσο και στο ποσοστό συμμετοχής του στη μάζα του αερολύματος. Ο στοιχειακός άνθρακας (EC) και τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) είναι πιο αυξημένα στο πείραμα του 2008 τόσο σε απόλυτες μέσες συγκεντρώσεις όσο και στο ποσοστό συμμετοχής τους στη συνολική μάζα των σωματιδίων ενώ τα εδαφικής προέλευσης Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , το θαλασσίνης προέλευσης Cl^- και το ενδεικτικό της κίνησης οχημάτων NO_3^- , εμφανίζουν μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στα αερολύματα του παλαιότερου πειράματος.
14. Στο κλάσμα των PM_1 , ο OC , τα εδαφικής προέλευσης K^+ και Ca^{2+} καθώς και το NO_3^- εμφανίζονται αυξημένα στο πείραμα του 2013, τόσο σε ποσοστά όσο και σε συγκεντρώσεις. Αντίθετη συμπεριφορά παρουσιάζουν όλες οι υπόλοιπες χημικές ενώσεις που κυριαρχούν στο παλαιότερο πείραμα
15. Σχετικά με τον Π2, τα νιτρικά ιόντα, ενδεικτικά της κίνησης των οχημάτων, είναι πιο αυξημένα τις καθημερινές και στα δύο πειράματα όπως είναι αναμενόμενο με μεγαλύτερες τιμές στο πιο πρόσφατο ενώ Τα ανθρωπογενή θειικά ιόντα εμφανίζονται σε κάθε περίπτωση πιο αυξημένα στο παλαιότερο πείραμα
16. Αναφορικά με τα $PM_{2.5}$, παρατηρούμε μεγάλη διαφοροποίηση στην διαχρονική εικόνα του συγκεκριμένου σταθμού. Στο πείραμα του 2008, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά τη διάρκεια των Σαββατοκύριακων στην πλειονότητα των ρύπων, εκτός της οριακής επικράτησης των εκπομπών των Καθημερινών σχετικά με το EC και NO_3^- . Στο τωρινό πείραμα παρατηρούμε την καθοριστική συνεισφορά, στον κυκλοφοριακό σταθμό Π2, των εργασιμων Καθημερινών τόσο στις οργανικές ενώσεις όσο και στους ανόργανους ρύπους. Μοναδική εξαίρεση παρουσιάζουν το εδαφικής προέλευσης Mg^{2+}
17. Όσο μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων η εικόνα γίνεται πιο σύνθετη ανάμεσα στις χωροχρονικές διακυμάνσεις καθώς παίζουν παραπάνω παράγοντες ρόλο στη συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων.
18. Η μάζα των αερολυμάτων, ειδικά στις οργανικές ενώσεις (OC , EC) και στους ανόργανους ρύπους (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) παρουσιάζει μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης (R) στην τωρινή μελέτη και στα δύο κλάσματα. Έτσι αναδεικνύεται η σημασία των τοπικών πηγών σε σχέση με φαινόμενα μεταφοράς καθώς τα αερολύματα και οι ρύποι έχουν κοινή πηγή. Μοναδική εξαίρεση τα θειικά ιόντα, όπου εμφανίζεται ελαφρώς πιο αυξημένος ο συντελεστής για το παλαιότερο πείραμα.

19. Σχετικά με τη θερμοκρασία (T), στη μελέτη του 2008 στον Π2, οι συγκεντρώσεις φαίνεται να αυξάνονται στο μεγαλύτερο κλάσμα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Αντίθετη εικόνα παρουσιάζεται στην τωρινή μελέτη.
20. Φαίνεται ότι στην μελέτη του 2008 τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, στο μεγαλύτερο κλάσμα, έχουν άμεση εξάρτηση από τις μετεωρολογικές συνθήκες, γεγονός το οποίο δεν επαληθεύεται το 2013.
21. Στο παλαιότερο πείραμα του 2008, στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τη μέση συγκέντρωση εμφανίζονται μόνο στους ανέμους τύπου B (2.43% διαφορά) και D (4.08% διαφορά) ενώ στο πιο πρόσφατο πείραμα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σχετίζονται με ανέμους τύπου C (10.55% διαφορά) και F (10.21% διαφορά).
22. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, η παρατηρούμενη κατάσταση της παλαιότερης μελέτης είναι πολύ καλύτερη καθώς ο λόγος βρίσκεται κάτω από την τιμή 2 για ταχύτητες ($2.19 m/s < WS \leq 3.74 m/s$) ενώ οριακά πάνω από αυτή την τιμή για τις άλλες κατηγορίες σε αντίθεση με την τωρινή μελέτη που παρουσιάζεται σταθερά πάνω από την τιμή 2.
23. Παρατηρείται μικρή τάση αύξησης του λόγου OC/EC για υγρασία από 56% και πάνω και στα δύο πειράματα
24. Η περιοχή Π2 εμφανίζεται για άλλη μια φορά πιο επιβαρυσμένη από δευτερογενείς οργανικές ενώσεις στην πιο πρόσφατη μελέτη και στην κατηγοριοποίηση σχετικά με τους επιφανειακούς ανέμους
25. Στην παρούσα μελέτη φαίνεται να ευνοείται η αύξηση του λόγου OC/EC από ανέμους τύπου C, ενώ για την παλαιότερη μελέτη δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη τάση με τη μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ανέμων τύπου B και F σχετικά με τα $PM_{2.5}$ και PM_1 αντίστοιχα
26. Καμία συγκεκριμένη τάση δεν παρατηρούμε στη σύγκριση της διακύμανσης των χημικών ενώσεων των αερολυμάτων σχετικά με την κατηγοριοποίηση του επιφανειακού ανέμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Γενικά Συμπεράσματα

Έχουμε ήδη αναδείξει το σύνθετο και πολύπλοκο χαρακτήρα των αερολυμάτων και της σωματιδιακής ρύπανσης. Σε μια προσπάθεια ανάδειξης των παραγόντων που επηρεάζουν τον κάθε σταθμό ξεχωριστά, τα παρακάτω συμπεράσματα αναφέρονται στις ημέρες που δεν επηρεάστηκαν από φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα.

1. Επιβεβαιώνεται η παρατήρηση ότι τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις των αερολυμάτων με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κυρίως κατά τις περιόδους της άνοιξης.
2. Λόγω απουσίας δειγμάτων τη θερμή περίοδο που έχουμε έντονη φωτοχημική δραστηριότητα δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εποχική συμπεριφορά των αερολυμάτων.
3. Η ομοιογένεια μεταξύ δύο σταθμών (χαμηλή τιμή του συντελεστή COD) δε συνεπάγεται ομοιομορφία (υψηλή θετική τιμή του συντελεστή συσχέτισης R) και το αντίστροφο.
4. Παρατηρούμε όμως ότι καθώς μειώνεται η αεροδυναμική διάμετρος των αερολυμάτων, παρατηρείται μικρή ενίσχυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας.
5. Τόσο τα φαινόμενα μεταφοράς αλλά και οι τοπικές πηγές συνεισφέρουν στην επιβάρυνση της σωματιδιακής ρύπανσης.
6. Οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι πιο αυξημένες από τις αντίστοιχες σε προηγούμενες μελέτες σε Ελλάδα και Ιταλία
7. Παρατηρείται αλληλεπίδραση μεταξύ σταθμών εντός του λεκανοπέδιου, πιθανολογώντας την ανταλλαγή αερίων μαζών στου συγκεκριμένους σταθμούς.
8. Οι αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια των ημερών χωρίς την επιρροή φαινομένων μεταφοράς σκόνης ενισχύει τον ισχυρισμό μας για αύξηση των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης στην περιοχή του λεκανοπεδίου.
9. Σε κάθε περίπτωση αναδεικνύεται ο σύνθετος χαρακτήρας της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης.
10. Τα αερολύματα βρέθηκαν σε κάθε περίπτωση να αποτελούνται από επικίνδυνες ανθρωπογενείς χημικές ενώσεις.
11. Επιβεβαιώνεται ο σχηματισμός δευτερογενώς παραγόμενου οργανικού άνθρακα σε κάθε περιοχή, στο μεγαλύτερο ποσοστό των ημερών.
12. Παρατηρούμε επικράτηση των σταθερών έναντι των κινητών πηγών.
13. Σχετικά με τη διάρκεια επεισοδίων μεταφορά σκόνης, πιθανολογούμε τόσο την εκπομπή από τοπικές πηγές αλλά και την επιβάρυνση της σωματιδιακής μάζας από φαινόμενα μεταφοράς κατά τη διάρκεια των συγκεκριμένων επεισοδίων.

14. Ο όξινος χαρακτήρας κυριαρχεί κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης σε σχέση με τις ανεπηρέαστες ημέρες.
15. Δε φαίνεται να ευνοείται ο σχηματισμός λεπτότερων σωματιδίων από την αύξηση των θερμοκρασιών.
16. Τόσο η αλληλεπίδραση της θαλάσσιας αύρας σε συνδυασμό με βόρειο συνοπτικό άνεμο όσο και ο Βόρειος άνεμος αυτός καθαυτός επηρεάζουν τα αυξημένα ποσοστά υπερβάσεων.
17. Σα γενική τάση παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η επικράτηση των σταθερών σημειακών πηγών έναντι των κινητών.
18. Ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια S ανέμων.
19. Αναδεικνύονται οι κοινές πηγές μεταξύ των δύο διαφορετικών κλασμάτων.

6.2 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων

1. Επιβεβαιώνεται ο ισχυρισμός ότι οι συγκεντρώσεις είναι πιο μειωμένες κατά τη διάρκεια των Καθημερινών σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα σε όλους του σταθμούς και στα δύο κλάσματα.
2. Οι συγκεντρώσεις στο σταθμό υποβάθρου (Π1) είναι πιο μειωμένες σε σχέση με τους υπόλοιπους δύο σταθμούς.
3. Στο σταθμό υποβάθρου, οι αυξημένες συγκεντρώσεις και το ποσοστό των υπερβάσεων οφείλεται τόσο σε φαινόμενα μεταφοράς από γειτονικές περιοχές όσο και στην επιρροή της εκάστοτε μετεωρολογίας.
4. Φαίνεται να ευνοούνται οι υψηλότερες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεις με την επικράτηση των ρυπασμένων Νότιων ανέμων.
5. Οι συγκεντρώσεις είναι πιο αυξημένες κατά τη διάρκεια των Καθημερινών σε σχέση με τα Σαββατοκύριακα σε όλους του σταθμούς και στα δύο κλάσματα.
6. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται κατά την ημέρα της Κυριακής σε σχέση με το Σάββατο.
7. Το μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται στον κεντρικό σταθμό Π2.
8. Αύξηση του ποσοστού των υπερβάσεων συνεπάγεται και αύξηση των μέσων συγκεντρώσεων των μετρούμενων σωματιδίων γεγονός που ενισχύει το παραπάνω συμπέρασμα καθώς δεν μπορεί να αποδοθεί σε τυχαία μεμονωμένα περιστατικά
9. Οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων παρουσιάζονται πάντα αυξημένες κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων του ανέμου.

10. Δεν επιβεβαιώνεται η αναμενόμενη εικόνα με τις μεγαλύτερες υπερβάσεις για τις ελάχιστες ταχύτητες.
11. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια μικρών ταχυτήτων σε συνεπάγεται και αυξημένο ποσοστό υπερβάσεων
12. Μεγαλύτερο ποσοστό υπερβάσεων παρατηρείται όταν επικρατούν ΒΒΑ άνεμοι ακολουθούμενοι από Νότιους ανέμους.
13. Η επικρατέστερη διεύθυνση ανέμου δεν ταυτίζεται με τη διεύθυνση που εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά υπερβάσεων.
14. Σε κάθε περίπτωση όμως φαίνεται να ευνοούνται οι υψηλότερες πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεις με την επικράτηση των ρυπασμένων Νότιων ανέμων.
15. Στο σταθμό Π1 οι συγκεντρώσεις αυξάνονται καθώς αυξάνεται η σχετική υγρασία.
16. Οι συγκεντρώσεις των χημικών ενώσεων δεν ευνοούνται από την αύξηση της θερμοκρασίας, ειδικά πάνω από τους 14.5°C και πάνω.

6.3 Χημική Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων

1. Σε κάθε περιοχή και κλάσμα, σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα αερολύματα βρέθηκαν να αποτελούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό από OC ακολουθούμενο από SO_4^{2-} και στη συνέχεια από NO_3^- ενώ το Mg^{2+} βρίσκεται σταθερά τελευταίο.
2. Το ποσοστό συμμετοχής της κάθε χημικής ένωσης στη σύσταση των σωματιδίων έχει την ίδια τάξη μεγέθους και στα δύο μετρούμενα κλάσματα.
3. Οι τιμές των συγκεντρώσεων των χημικών ενώσεων στο σταθμό υποβάθρου Π1 εμφανίζονται στα ίδια επίπεδα με τους άλλους σταθμούς.
4. Η μάζα των αερολυμάτων είναι ισχυρά συσχετισμένη με τον OC για όλα τα κλάσματα και τις περιοχές δειγματοληψίας. Άρα η μάζα των αερολυμάτων αποτελείται από υψηλά ποσοστά οργανικού άνθρακα εκπεμπόμενη από την πηγή και δε διαμορφώνεται στην πορεία από φαινόμενα μεταφοράς.
5. Τα επίπεδα συγκέντρωσης των θειικών και νιτρικών ιόντων στο σταθμό Π1, παρουσιάζονται αυξημένα σε σχέση με τους άλλους σταθμούς. Το παραπάνω οφείλεται σε φαινόμενα μεταφοράς από τον κεντρικό σταθμό Π2 και σε επιβάρυνση από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες.
6. Οι τιμές του λόγου OC/EC μειώνονται στον κεντρικό σταθμό Π2 σε σχέση με του δύο άλλους σταθμούς.

7. Ο μη καθοριστικός ρόλος της μετεωρολογίας στη διαφοροποίηση της χημικής σύστασης των σωματιδίων αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο των τοπικών πηγών στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης, με αρνητικές για την ανθρώπινη υγεία συνέπειες.
8. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, παρατηρείται συγκεκριμένη τάση στο σταθμό Π1 αφού η συγκέντρωση των χημικών ενώσεων μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου.
9. Τα εδαφικής προέλευσης K^+ και Mg^{2+} παρουσιάζουν μείωση με την αύξηση των τιμών της παραμέτρου της ταχύτητας του ανέμου.
10. Ο στοιχειακός άνθρακας φαίνεται να αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.
11. Η τιμή του λόγου OC/EC φαίνεται να ευνοείται η αύξηση του κατά τη διάρκεια ελαχίστων ταχυτήτων ανέμου.
12. Ο όξινος χαρακτήρας των αερολυμάτων ενισχύεται κατά τη διάρκεια S ανέμων.
13. Σχετικά με την ιοντική ισορροπία, η αλληλεπίδραση της θαλάσσιας αύρας με το Βόρειο συνοπτικό άνεμο, φαίνεται να επιφέρει αύξηση του όξινου χαρακτήρα των αερολυμάτων.
14. Αυξάνει η συμμετοχή (%) των θειικών ιόντων στη μάζα των αερολυμάτων με τη αύξηση της τιμής της θερμοκρασίας λόγω του φωτοχημικού χαρακτήρα του συγκεκριμένου ρύπου.

6.4 Μελλοντική Έρευνα

Η πολυπλοκότητα της μελέτης της σωματιδιακής ρύπανσης λόγω των πολλών και διαφορετικών παραγόντων που την επηρεάζουν έχει αναδειχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Ακόμα είναι σαφής η επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων τόσο στο περιβάλλον όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό με αρνητικές συνέπειες. Σε κάθε περίπτωση κρίνεται αναγκαία η δημιουργία μιας μεγαλύτερης και πιο πλήρους βάσης δεδομένων των εκπομπών εντός του λεκανοπεδίου. Η συγκεκριμένη βάση θα πρέπει να ανανεώνεται διαρκώς για τη μελέτη και της χρονικής διακύμανσης του επιπέδου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Βάσει της σημαντικότητας του συγκεκριμένου ερευνητικού τομέα προτείνονται ορισμένες περαιτέρω μελέτες.

1. Σε κάθε περίπτωση κρίνεται αναγκαία η ταυτόχρονη δειγματοληψία σε περισσότερα κλάσματα των αερολυμάτων και η δημιουργία μιας πληρέστερης βάσης δεδομένων. Εκτός της βαρυμετρικής μεθόδου θα πρέπει να διεξαχθεί πείραμα με τη χρήση αυτόματων μεθόδων για την κατανόηση της ημερήσιας διακύμανσης των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης. Η ημερήσια διακύμανση των ρύπων σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα θα μας βοηθήσει να ποσοτικοποιήσουμε καλύτερα το είδος των εκπομπών μέσα στο 24ωρο αλλά και τη συνεισφορά των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε αυτές μέσω της χημικής ανάλυσης και μελέτης. Η δειγματοληψία σε περισσότερους σταθμούς θα μας έδινε μια καλύτερη εικόνα της χωρικής διακύμανσης των επιπέδων της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επίσης κρίνεται αναγκαία και η δειγματοληψία κατά τη θερμή περίοδο, δημιουργώντας μία μεγαλύτερη βάση δεδομένων, για τη μελέτη της

εποχικής διακύμανσης τόσο των συγκεντρώσεων όσο και των βασικών χημικών ενώσεων που περιέχουν τα αερολύματα.

2. Ο καλύτερος συνδυασμός της δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων των εκπομπών με παροχή τους σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και ενός συστήματος γεωγραφικής αποτύπωσης τους μέσω ενός συστήματος ανοιχτού λογισμικού θα έπρεπε να δημιουργηθεί. Θα βοηθούσε τόσο στην καλύτερη αποτύπωση και ποσοτικοποίηση της χωρικής διακύμανσης των επιπέδων της σωματιδιακής ρύπανσης, στην ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των χρηστών όσο και στην βελτιστοποίηση του συγκεκριμένου κώδικα. Ο συνδυασμός δεδομένων θα γινόταν τόσο από το Υ.Π.Ε.Κ.Α. όσο και από τις ερευνητικές ομάδες που δειγματοληπτούν τη συγκεκριμένη περίοδο. Τα δεδομένα εισόδου θα έμπαιναν στη βάση δεδομένων σε καθημερινή βάση από το δίκτυο του Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ανάλογα με τη δειγματοληπτική μέθοδο (αυτόματη ή βαρυμετρική) θα παρέχονταν και τα αντίστοιχα δεδομένα από τα ερευνητικά ιδρύματα στον αντίστοιχο χρόνο.
3. Σε μια προσπάθεια ποσοτικοποίησης και καλύτερης μελέτης των εκπομπών από τις καύσεις κατά την ψυχρή περίοδο, θα έπρεπε να γίνει μία ταυτόχρονη πειραματική μελέτη σε οικιακές καμινάδες. Η ποσοτικοποίηση των σημειακών πηγών και η συνεισφορά τους στα επίπεδα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι πολύ σημαντική. Με μία οργανολογία που θα περιέχει ένα ανεμιστήρα σταθερής ροής και ένα φίλτρο στην έξοδο της καμινάδας θα μπορούσαμε να μετρήσουμε και να αναλύσουμε το επίπεδο των οικιακών εκπομπών και τη χημική τους σύσταση. Το παραπάνω πείραμα θα έπρεπε να διεξαχθεί με ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των οικιών. Τα κριτήρια θα πρέπει να είναι εκτός από το είδος της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούν οι οικίες και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά των οικιών (αν είναι πολυκατοικία ή μονοκατοικία).

Επίσης θα μπορούσε να διεξαχθεί ένα πείραμα που να μετράει τις εκπομπές στην έξοδο των απορροφητήρων κατοικιών για να μελετηθεί τόσο η συνεισφορά του μαγειρέματος στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όσο και οι εκπομπές συναρτήσει του τρόπου μαγειρέματος.

4. Γνωρίζοντας ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι πολυπαραγοντική κρίνεται αναγκαία η χρήση ενός φωτοχημικού μοντέλου για την μελέτη τόσο της χωρικής διακύμανσης όσο και της χρονικής πρόβλεψης του επιπέδου των ρύπων και της ποιότητας του αέρα.
5. Σε μια προσπάθεια μελέτης της διακύμανσης καθ' ύψος τόσο των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων αλλά και των χημικών στοιχείων από τα οποία αποτελούνται θα είχε ενδιαφέρον η δειγματοληψία σε διαφορετικά ύψη στον κάθε σταθμό. Με κατάλληλη επιλογή των σταθμών θα μπορούσαμε να μελετήσουμε τα επίπεδα των συγκεντρώσεων καθ' ύψος πάνω από βασικούς οδικούς άξονες σε κατοικημένες περιοχές εντός του λεκανοπεδίου ή το πόσο επηρεάζουν τα ακινητοποιημένα ή σταθμευμένα οχήματα τις συγκεκριμένες συγκεντρώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aherne J, Shaw DP. Impacts of sulphur and nitrogen deposition in western Canada. *J Limnol.* 2010;69(SUPPL. 1):1–3.
- Akyüz M, Cabuk H. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey. *Sci Total Environ* [Internet]. 2008 Nov 1 [cited 2014 Nov 14];405(1-3):62–70. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18725164>
- Akyüz M, Çabuk H. Meteorological variations of PM2.5/PM10 concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey. *J Hazard Mater* [Internet]. 2009 Oct 15 [cited 2014 Nov 6];170(1):13–21. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19523758>
- Ayers G., Keywood M., Gras J. TEOM vs. manual gravimetric methods for determination of PM2.5 aerosol mass concentrations. *Atmos Environ* [Internet]. 1999 Sep;33(22):3717–21. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231099001259>
- Bardouki H, Liakakou H, Economou C, Sciare J, Smolík J, Ždímal V, et al. Chemical composition of size-resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter. *Atmos Environ.* 2003;37(2):195–208.
- Benner CL, Bayona JM, Caka FM, Tang H, Lewis L, Crawford J, et al. Chemical Composition of Environmental Tobacco Smoke . 2 . Particulate-Phase Compounds. 1989;23(6):688–99.
- Bernardoni V, Calzolari G, Chiari M, Fedi M, Lucarelli F, Nava S, et al. Radiocarbon analysis on organic and elemental carbon in aerosol samples and source apportionment at an urban site in Northern Italy. *J Aerosol Sci* [Internet]. Elsevier; 2013 Feb [cited 2014 Nov 14];56:88–99. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002185021200105X>
- Beuning JD, Pattey E, Edwards G, Van Heyst BJ. Improved temporal resolution in process-based modelling of agricultural soil ammonia emissions. *Atmos Environ* [Internet]. 2008 May [cited 2014 Nov 14];42(14):3253–65. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231007004311>
- Beyn F, Matthias V, Dähnke K. Changes in atmospheric nitrate deposition in Germany - An isotopic perspective. *Environ Pollut* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014 Nov [cited 2014 Nov 12];194(x):1–10. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25078659>
- Cabada JC, Rees S, Takahama S, Khlystov A, Pandis SN, Davidson CI, et al. Mass size distributions and size resolved chemical composition of fine particulate matter at the Pittsburgh supersite. *Atmos Environ* [Internet]. 2004 Jun [cited 2014 Nov 14];38(20):3127–41. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100400192X>
- Caggiano R, Macchiato M, Trippetta S. Levels, chemical composition and sources of fine aerosol particles (PM1) in an area of the Mediterranean basin. *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V.; 2010 Jan 15 [cited 2014 Nov 14];408(4):884–95. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19914683>
- Cao J., Lee S., Ho K., Zou S., Fung K, Li Y, et al. Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China. *Atmos Environ* [Internet]. 2004

- Sep [cited 2014 Nov 14];38(27):4447–56. Available from:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004004923>
- Cao JJ, Chow JC, Lee SC, Li Y, Chen SW, An ZS, et al. Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China. *Atmos Chem Phys Discuss*. 2005;5(3):3561–93.
- Castro LM, Pio C a., Harrison RM, Smith DJT. Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: Estimation of secondary organic carbon concentrations. *Atmos Environ*. 1999;33(17):2771–81.
- Chaloulakou a., Kassomenos P, Grivas G, Spyrellis N. Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece. *Environ Int* [Internet]. 2005 Jul [cited 2014 Nov 14];31(5):651–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15910961>
- Chaloulakou A, Kassomenos P. Measurements of PM 10 and PM 2.5 particle concentrations in Athens, Greece. *Atmos ...* [Internet]. 2003 [cited 2014 Nov 15];37(2003):649–60. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231002008981>
- Chameides WL, Yu H, Liu SC, Bergin M, Zhou X, Mearns L, et al. Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: an opportunity to enhance crop yields in China through emission controls? *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1999;96(24):13626–33.
- Charron, A., Harrison RM, Moorcroft S, Booker J. Quantitative interpretation of divergence between PM10 and PM2.5 mass measurement by TEOM and gravimetric (Partisol) instruments. *Atmos Environ* [Internet]. 2004 Jan [cited 2014 Nov 14];38(3):415–23. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231003008616>
- Cheng Y, Lee SC, Ho KF, Chow JC, Watson JG, Louie PKK, et al. Chemically-specified on-road PM2.5 motor vehicle emission factors in Hong Kong. *Sci Total Environ* [Internet]. 2010 Mar 1 [cited 2014 Nov 14];408(7):1621–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20036415>
- Chow JC, Watson JG, Lu Z, Lowenthal DH, Frazier C a., Solomon P a., et al. Descriptive analysis of PM2.5 and PM10 at regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX. *Atmos Environ*. 1996;30(12):2079–112.
- Clements AL, Buzcu-Guven B, Fraser MP, Kulkarni P, Chellam S. Role of particulate metals in heterogeneous secondary sulfate formation. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 Aug [cited 2014 Nov 14];75:233–40. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231013002926>
- Colbeck I. Particle Emission from Outdoor and Indoor Sources, *The Handbook of Environmental Chemistry: Airborne Particulate Matter*, vol. 4 / 4 D (pp 1-33). Springer 1995
- Colbeck I, Chung M, Eleftheriadis K. Formation and transport of atmospheric aerosol over Athens, Greece. 2002;223–35.
- Cuevas E, Gonza Y, Rodrı S, Querol X, Miguel P. Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM1, PM2.5 and PM2.5–10 concentrations in a coastal city. 2008;42:6523–34.

- Dallarosa J, Calessio Teixeira E, Meira L, Wiegand F. Study of the chemical elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particles of PM10 and PM2.5 in the urban and rural areas of South Brazil. *Atmos Res* [Internet]. 2008 Jul [cited 2014 Nov 14];89(1-2):76–92. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809508000021>
- Dallarosa JB, Teixeira EC, Pires M, Fachel J. Study of the profile of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particles (PM10) using multivariate methods. *Atmos Environ* [Internet]. 2005 Nov [cited 2014 Nov 14];39(35):6587–96. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231005006539>
- Deng WJ, Louie PKK, Liu WK, Bi XH, Fu JM, Wong MH. Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site in southeast China. *Atmos Environ* [Internet]. 2006 Nov [cited 2014 Oct 27];40(36):6945–55. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231006006674>
- Eatough DJ, Benner CL, Bayona JM, Richards G, Lamb JD, Lee ML, et al. Chemical Composition of Environmental Tobacco Smoke. 1 Gas-Phase Acids and Bases. 1989;23(68):679–87.
- Eleftheriadis K, Balis D, Ziomas IC, Colbeck I, Manalis N. Atmospheric aerosol and gaseous species in Athens, Greece. *Atmos Environ*. 1998;32(12):2183–91.
- Eleftheriadis K, Ochsenkuhn KM, Lympelopoulou T, Karanasiou A, Razos P, Ochsenkuhn-Petropoulou M. Influence of local and regional sources on the observed spatial and temporal variability of size resolved atmospheric aerosol mass concentrations and water-soluble species in the Athens metropolitan area. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014 Nov [cited 2014 Nov 15];97:252–61. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231014006074>
- Erisman JW, Bleeker a., Galloway J, Sutton MS. Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environ Pollut* [Internet]. 2007 Nov [cited 2014 Nov 14];150(1):140–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17920175>
- Fang GC, Chang CN, Wu YS, Fu PPC, Chang KF, Yang DG. The characteristic study of TSP, PM(2.5~10) and PM2.5 in the rural site of central Taiwan. *Sci Total Environ*. 1999;232(3):177–84.
- Feng Y, Chen Y, Guo H, Zhi G, Xiong S, Li J, et al. Characteristics of organic and elemental carbon in PM2.5 samples in Shanghai, China. *Atmos Res* [Internet]. Elsevier B.V.; 2009 Jun [cited 2014 Nov 14];92(4):434–42. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809509000040>
- Finlayson-Pitts B.J. & Pitts J.N. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere Theory, Experiments, And Applications*. Academic Press 2000
- Flocas H a., Assimakopoulos VD, Helmis CG. An experimental study of aerosol distribution over a Mediterranean urban area. *Sci Total Environ* [Internet]. 2006 Aug 31 [cited 2014 Nov 14];367(2-3):872–87. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16504248>
- Flocas, H A, Assimakopoulos, V. D., Helmis C. VOC and O₃ Distributions over the Densely Populated Area of Greater Athens , Greece. 2003;1799–810.
- Galindo N, Gil-Moltó J, Varea M, Chofre C, Yubero E. Seasonal and interannual trends in PM levels and associated inorganic ions in southeastern Spain. *Microchem J* [Internet]. Elsevier B.V.; 2013 Sep [cited 2014 Nov 15];110(3):81–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X13000337>

- Galindo N, Yubero E, Nicolás J. Water-soluble ions measured in fine particulate matter next to cement works. *Atmos ...* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011 Apr [cited 2014 Nov 15];45(12):2043–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231011001002>
- Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, et al. The Nitrogen Cascade. *Bioscience*. 2003;53(4):341.
- Gehrig R, Hueglin C, Schwarzenbach B, Seitz T, Buchmann B. A new method to link PM10 concentrations from automatic monitors to the manual gravimetric reference method according to EN12341. *Atmos Environ* [Internet]. 2005 Apr [cited 2014 Oct 31];39(12):2213–23. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231005000518>
- Gerasopoulos E, Amiridis V, Kazadzis S, Kokkalis P, Eleftheratos K, Andreae MO, et al. Three-year ground based measurements of aerosol optical depth over the Eastern Mediterranean: the urban environment of Athens. *Atmos Chem Phys* [Internet]. 2011 Mar 10 [cited 2014 Nov 14];11(5):2145–59. Available from: <http://www.atmos-chem-phys.net/11/2145/2011/>
- Gerasopoulos E, Koulouri E, Kalivitis N, Kouvarakis G, Saarikoski S, Mäkelä T, et al. Size-segregated mass distributions of aerosols over Eastern Mediterranean: seasonal variability and comparison with AERONET columnar size-distributions. *Atmos Chem Phys Discuss*. 2007;7(1):469–97.
- Giugliano M, Lonati G, Butelli P, Romele L, Tardivo R, Grosso M. Fine particulate (PM2.5-PM1) at urban sites with different traffic exposure. *Atmos Environ* [Internet]. 2005 Apr [cited 2014 Nov 8];39(13):2421–31. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231005000725>
- Glavas SD, Nikolakis P, Ambatzoglou D, Mihalopoulos N. Factors affecting the seasonal variation of mass and ionic composition of PM2.5 at a central Mediterranean coastal site. *Atmos Environ* [Internet]. 2008 Jul [cited 2014 Nov 14];42(21):5365–73. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231008002082>
- Green D, Fuller G. The implications of tapered element oscillating microbalance (TEOM) software configuration on particulate matter measurements in the UK and Europe. *Atmos Environ* [Internet]. 2006 Sep [cited 2014 Oct 30];40(29):5608–16. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231006004432>
- Grivas G, Chaloulakou a., Kassomenos P. An overview of the PM10 pollution problem, in the Metropolitan Area of Athens, Greece. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport. *Sci Total Environ* [Internet]. 2008 Jan 15 [cited 2014 Oct 30];389(1):165–77. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17900663>
- Grivas G, Chaloulakou A, Samara C, Spyrellis N. Spatial and temporal variation of PM10 mass concentrations within the greater area of Athens, Greece. *Water, air, Soil ...* [Internet]. 2004 [cited 2014 Nov 15];2005(January 2005):357–71. Available from: <http://link.springer.com/article/10.1023/B:WATE.0000044859.84066.09>
- Grivas G, Cheristanidis S, Chaloulakou a. Elemental and organic carbon in the urban environment of Athens. Seasonal and diurnal variations and estimates of secondary organic carbon. *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V.; 2012 Jan 1 [cited 2014 Nov 14];414:535–45. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22119032>

- Guieu C, Loÿe-Pilot MD, Ridame C, Thomas C. Chemical characterization of the Saharan dust end-member: Some biogeochemical implications for the western Mediterranean Sea. *J Geophys Res Atmos*. 2002;107(15).
- Gundel L a., Guyot-Sionnest NS, Novakov T. A Study of the Interaction of NO₂ with Carbon Particles. *Aerosol Sci Technol* [Internet]. 1989 Jan [cited 2014 Nov 14];10(2):343–51. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02786828908959271>
- Hand JL, Gebhart K a., Schichtel B a., Malm WC. Increasing trends in wintertime particulate sulfate and nitrate ion concentrations in the Great Plains of the United States (2000-2010). *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 Aug [cited 2014 Nov 14];55:107–10. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231012002919>
- Hansen J. Efficacy of climate forcings. *J Geophys Res* [Internet]. 2005 [cited 2014 Jul 21];110(D18):D18104. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1029/2005JD005776>
- Harrison RM, Yin J. Sources and processes affecting carbonaceous aerosol in central England. *Atmos Environ* [Internet]. 2008 Mar [cited 2014 Nov 6];42(7):1413–23. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100701028X>
- Hauck H, Berner a, Frischer T, Gomiscek B, Kundi M, Neuberger M, et al. AUPHEP—Austrian Project on Health Effects of Particulates—general overview. *Atmos Environ* [Internet]. 2004a Aug [cited 2014 Nov 13];38(24):3905–15. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004002985>
- Hauck H, Berner A, Gomiscek B, Stopper S, Puxbaum H, Kundi M, et al. On the equivalence of gravimetric PM data with TEOM and beta-attenuation measurements. *J Aerosol Sci* [Internet]. 2004b Sep [cited 2014 Oct 20];35(9):1135–49. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021850204000667>
- He K, Yang F, Ma Y, Zhang Q, Yao X, Chan CK, et al. The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China. 2001;35:4959–70.
- Helmis CG, Asimakopoulos DN, Papadopoulos KH, Kassomenos P, Kalogiros J a., Papageorgas PG, et al. Air mass exchange between the Athens Basin and the Messogia Plain of Attika, Greece. *Atmos Environ*. Elsevier Science Ltd; 1997;31(22):3833–49.
- Hinds W.C. *Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*. John Wiley & Sons 1999
- Hueglin C, Gehrig R, Baltensperger U, Gysel M, Monn C, Vonmont H. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmos Environ* [Internet]. 2005 Feb [cited 2014 Nov 8];39(4):637–51. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004010131>
- Ito K, Mathes R, Ross Z, Nádas A, Thurston G, Matte T. Fine Particulate Matter Constituents Associated with Cardiovascular Hospitalizations and Mortality in New York City. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2010 Dec 17 [cited 2014 Nov 11];119(4):467–73. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21169128>
- Ito K, Xue N, Thurston G. Spatial variation of PM_{2.5} chemical species and source-apportioned mass concentrations in New York City. *Atmos Environ* [Internet]. 2004 Oct [cited 2014 Nov 14];38(31):5269–82. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004005655>

- Jacobson MZ. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*. 2001;409(6821):695–7.
- Jinhuan Q, Liquan Y. Variation characteristics of atmospheric aerosol optical depths and visibility in North China during 1980 } 1994. 2000;34:603–9.
- Kallos G, Kassomenos P, Pielke RA. Synoptic and mesoscale weather conditions during air pollution episodes in Athens, Greece. 1993;(1):163–84.
- Karageorgos ET, Rapsomanikis S. and Physics Chemical characterization of the inorganic fraction of aerosols and mechanisms of the neutralization of atmospheric acidity in Athens, Greece. 2007;3015–33.
- Karthikeyan S, Balasubramanian R. Determination of water-soluble inorganic and organic species in atmospheric fine particulate matter. *Microchem J* [Internet]. 2006 Jan [cited 2014 Nov 14];82(1):49–55. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X0500086X>
- Kassomenos P a., Vardoulakis S, Chaloulakou a., Paschalidou a. K, Grivas G, Borge R, et al. Study of PM10 and PM2.5 levels in three European cities: Analysis of intra and inter urban variations. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014 Apr [cited 2014 Nov 14];87:153–63. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231014000132>
- Kassomenos P, Kotroni V, Kallos G. Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area. *Atmos Environ* [Internet]. 1995 [cited 2014 Nov 15];29(24):3671–88. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223109400358R>
- Kassomenos P, Vardoulakis S, Chaloulakou a., Grivas G, Borge R, Lumbreras J. Levels, sources and seasonality of coarse particles (PM 10-PM 2.5) in three European capitals - Implications for particulate pollution control. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012 Jul [cited 2014 Nov 14];54:337–47. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231012001665>
- Khoder MI, Hassan SK. Weekday/weekend differences in ambient aerosol level and chemical characteristics of water-soluble components in the city centre. *Atmos Environ* [Internet]. 2008 Oct [cited 2014 Nov 15];42(32):7483–93. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231008005785>
- Kim KH, Mishra VK, Kang CH, Choi KC, Kim YJ, Kim DS. The ionic compositions of fine and coarse particle fractions in the two urban areas of Korea. *J Environ Manage* [Internet]. 2006 Jan [cited 2014 Nov 14];78(2):170–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16112800>
- Koçak M, Mihalopoulos N, Kubilay N. Chemical composition of the fine and coarse fraction of aerosols in the northeastern Mediterranean. *Atmos Environ* [Internet]. 2007 Nov [cited 2014 Nov 14];41(34):7351–68. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231007004438>
- Kondratyev K.Y., Ivlev L.S., Krapivin V.F., Varotsos C.A. *Atmospheric Aerosol Properties, Formation, Processes and Impacts*, Springer 2006
- Kouimtzis T, Samara C, Voutsas D, Balafoutis C, Müller L. PCDD/Fs and PCBs in airborne particulate matter of the greater Thessaloniki area, N. Greece. *Chemosphere* [Internet]. 2002 Apr;47(2):193–205. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653501002910>

- Koulouri E, Grivas G, Gerasopoulos E, Chaloulakou A, Mihalopoulos N, Spyrellis N. Study of size-segregated particle (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) concentrations over Greece. *Glob NEST* ... [Internet]. 2008a [cited 2014 Nov 15];10(2):132–9. Available from: http://library.certh.gr/libfiles/PDF/PAPYR-2805-A-STUDY-OF-by-CHALOULAKOU-A-in-PROC-10TH-INT-CONF-ON-EST-KOS-ISLAND-5-7-SEP-2007-V-A-PP-730-737_oral.pdf
- Koulouri E, Saarikoski S, Theodosi C, Markaki Z, Gerasopoulos E, Kouvarakis G, et al. Chemical composition and sources of fine and coarse aerosol particles in the Eastern Mediterranean. *Atmos Environ* [Internet]. 2008b Aug [cited 2014 Nov 8];42(26):6542–50. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231008004469>
- Kouvarakis G, Mihalopoulos N. Seasonal variation of dimethylsulfide in the gas phase and of methanesulfonate and non-sea-salt sulfate in the aerosols phase in the Eastern Mediterranean atmosphere. *Atmos Environ*. 2002;36(6):929–38.
- Kumar P, Morawska L, Birmili W, Paasonen P, Hu M, Kulmala M, et al. Ultrafine particles in cities. 2014;66:1–10.
- Lei H, Wuebbles DJ. Chemical competition in nitrate and sulfate formations and its effect on air quality. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 Dec [cited 2014 Nov 14];80:472–7. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231013006456>
- Li H, Feng J, Sheng G, Lü S, Fu J, Peng P, et al. The PCDD/F and PBDD/F pollution in the ambient atmosphere of Shanghai, China. *Chemosphere* [Internet]. 2008 Jan [cited 2014 Nov 14];70(4):576–83. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17720219>
- Lodovici M, Venturini M, Marini E, Grechi D, Dolara P. Polycyclic aromatic hydrocarbons air levels in Florence, Italy, and their correlation with other air pollutants. *Chemosphere* [Internet]. 2003 Jan;50(3):377–82. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653502004046>
- Mandalakis M, Tsapakis M, Tsoga A, Stephanou EG. Gas – particle concentrations and distribution of aliphatic hydrocarbons , PAHs , PCBs and PCDD / Fs in the atmosphere of Athens (Greece). 2002;36:4023–35.
- Manoli E, Voutsas D, Samara C. Chemical characterization and source identification / apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki , Greece. 2002;36:949–61.
- Mantas E, Remoundaki E, Halari I, Kassomenos P, Theodosi C, Hatzikioseyan a., et al. Mass closure and source apportionment of PM_{2.5} by Positive Matrix Factorization analysis in urban Mediterranean environment. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2014 Sep [cited 2014 Nov 14];94:154–63. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231014003495>
- Mantis J, Chaloulakou a., Samara C. PM₁₀-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Greater Area of Athens, Greece. *Chemosphere* [Internet]. 2005 Apr [cited 2014 Nov 14];59(5):593–604. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15792657>
- Mazzei F, D'Alessandro a., Lucarelli F, Nava S, Prati P, Valli G, et al. Characterization of particulate matter sources in an urban environment. *Sci Total Environ* [Internet]. 2008 Aug 15 [cited 2014 Nov 14];401(1-3):81–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18486189>

- McGouldrick K, Toon OB, Grinspoon DH. Sulfuric acid aerosols in the atmospheres of the terrestrial planets. *Planet Space Sci* [Internet]. Elsevier; 2011 Aug [cited 2014 Nov 14];59(10):934–41. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0032063310001583>
- Meng ZY, Jiang XM, Yan P, Lin WL, Zhang HD, Wang Y. Characteristics and sources of PM_{2.5} and carbonaceous species during winter in Taiyuan, China. *Atmos Environ* [Internet]. 2007 Oct [cited 2014 Nov 14];41(32):6901–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231007006802>
- Miguel AH, Eiguren-Fernandez A, Jaques P a., Froines JR, Grant BL, Mayo PR, et al. Seasonal variation of the particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and of major aerosol species in Claremont, California. *Atmos Environ* [Internet]. 2004 Jun [cited 2014 Nov 14];38(20):3241–51. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004001967>
- Mihalopoulos N, Kerminen VM, Kanakidou M, Berresheim H, Sciare J. Formation of particulate sulfur species (sulfate and methanesulfonate) during summer over the Eastern Mediterranean: A modelling approach. *Atmos Environ* [Internet]. 2007 Oct [cited 2014 Nov 14];41(32):6860–71. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231007003822>
- Minoura H, Takahashi K, Chow JC, Watson JG. Multi-year trend in fine and coarse particle mass, carbon, and ions in downtown Tokyo, Japan. *Atmos Environ* [Internet]. 2006 May [cited 2014 Nov 14];40(14):2478–87. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100600015X>
- Mugica V, Ortiz E, Molina L, Nebot A, Quintana R, Aguilar J, et al. PM composition and source reconciliation in Mexico City. 2009;43:5068–74.
- Naumova YY, Offenberg JH, Eisenreich SJ, Meng Q, Polidori A, Turpin BJ, et al. Gas / particle distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in coupled outdoor / indoor atmospheres. 2003;37:703–19.
- Ostro B, Feng W-Y, Broadwin R, Green S, Lipsett M. The Effects of Components of Fine Particulate Air Pollution on Mortality in California: Results from CALFINE. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2006 Aug 29 [cited 2014 Nov 14];115(1):13–9. Available from: <http://www.ehponline.org/ambra-doi-resolver/10.1289/ehp.9281>
- Pakkanen TA, Kerminen V, Loukkola K, Koskentalo T, Maenhaut W, Hillamo E. Size distributions of mass and chemical components in street-level and rooftop PM₁ particles in Helsinki. 2003;37:1673–90.
- Pateraki S, Asimakopoulos DN, Bougiatioti A, Maggos T, Vasilakos C, Mihalopoulos N. Assessment of PM_{2.5} and PM₁ chemical profile in a multiple-impacted Mediterranean urban area: Origin, sources and meteorological dependence. *Sci Total ...* [Internet]. Elsevier B.V.; 2014 [cited 2014 Nov 15];479-480(1):210–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.008>
- Pateraki S, Asimakopoulos DN, Flocas HA, Maggos T, Vasilakos C. The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{2.5-10}). *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V.; 2012a [cited 2014 Nov 15];419:124–35. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.064>
- Pateraki S, Asimakopoulos DN, Maggos T, Vasilakos C. Particulate matter levels in a suburban Mediterranean area : Analysis of a 53-month long experimental campaign. *J Hazard Mater* [Internet]. Elsevier B.V.; 2010;182(1-3):801–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.108>

- Pateraki S, Assimakopoulos VD, Bougiatioti A, Kouvarakis G, Mihalopoulos N, Vasilakos C. Carbonaceous and ionic compositional patterns of fine particles over an urban Mediterranean area. *Sci Total Environ*. 2012b;424:251–63.
- Pateraki S, Assimakopoulos VD, Maggos T, Fameli KM, Kotroni V, Vasilakos C. Particulate matter pollution over a Mediterranean urban area. *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V.; 2013a;463-464:508–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.076>
- Pateraki S, Assimakopoulos VD, Maggos T, Fameli KM, Kotroni V, Vasilakos C. Particulate matter pollution over a Mediterranean urban area. *Sci Total Environ*. 2013b;463-464:508–24.
- Pateraki S, Maggos T, Michopoulos J, Flocas HA, Assimakopoulos DN, Vasilakos C. Chemosphere ions species size distribution in particulate matter associated with VOCs and meteorological conditions over an urban region. 2008;72:496–503.
- Perez N, Pey J, Querol X, Alastuey A, Lo JM, Viana M, et al. Partitioning of major and trace components in PM₁₀-PM_{2.5}-PM₁ at an urban site in Southern Europe. 2008;42:1677–91.
- Perrone M, Becagli S, Orza JG. The impact of long-range-transport on PM₁ and PM_{2.5} at a Central Mediterranean site. *Atmos ...* [Internet]. Elsevier Ltd; 2013 [cited 2014 Nov 15];71(2013):176–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.006>
- Perrone MR, Piazzalunga A, Prato M, Carofalo I. Composition of fine and coarse particles in a coastal site of the central Mediterranean: Carbonaceous species contributions. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011;45(39):7470–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.030>
- Petters MD, Carrico CM, Kreidenweis SM, Prenni AJ, Demott PJ, Jr JLC, et al. Cloud condensation nucleation activity of biomass burning aerosol. 2009;114:1–16.
- Piazzalunga A, Anzano M, Collina E, Lasagni M, Lollobrigida F, Pannocchia A, et al. Contribution of wood combustion to PAH and PCDD/F concentrations in two urban sites in Northern Italy. *J Aerosol Sci* [Internet]. Elsevier; 2013 Feb [cited 2014 Nov 14];56:30–40. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021850212001309>
- Plaza J, Pujadas M, Gómez-moreno FJ, Sánchez M, Artíñano B. Mass size distributions of soluble sulfate, nitrate and ammonium in the Madrid urban aerosol. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2011;45(28):4966–76. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.075>
- Pope III CA, Dockery DW. 2006 Critical Review: Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect. *J Air Waste Manag Assoc* [Internet]. 2006;56(6):709–42. Available from: http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=20772646 <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&hid=111&sid=7dcd51dc-b458-4e0e-a3a1-02c4140ae95c@sessionmgr110>
- Proemse BC, Mayer B, Chow JC, Watson JG. Isotopic characterization of nitrate, ammonium and sulfate in stack PM_{2.5} emissions in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2012;60(2):555–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.046>
- Putaud J, Dingenen R Van, Alastuey A, Bauer H, Birmili W, Cyrys J, et al. A European aerosol phenomenology 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. 2010;44:1308–20.

- Putaud J, Raes F, Dingenen R Van, Br E, Facchini M, Decesari S, et al. ARTICLE IN PRESS A European aerosol phenomenology — 2 : chemical characteristics of particulate matter at kerbside , urban , rural and background sites in Europe b. 2004;38:2579–95.
- Querol X, Alastuey A. Variability of carbonaceous aerosols in remote, rural, urban and industrial environments in Spain: implications for air quality policy. *Atmos ...* [Internet]. 2013 [cited 2014 Nov 15];13(13):6185–206. Available from: <http://www.atmos-chem-phys.net/13/6185/2013/acp-13-6185-2013.html>
- Querol X, Alastuey A, Moreno T, Viana MM, Castillo S, Pey J, et al. Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) across Spain 1999-2005. *Atmos Environ.* 2008;42(17):3964–79.
- Querol X, Alastuey A, Pey J, Cusack M. and Physics Variability in regional background aerosols within the Mediterranean. 2009a;:4575–91.
- Querol X, Alastuey A, Pey J, Cusack M, Pérez N, Mihalopoulos N, et al. Variability in regional background aerosols within the Mediterranean. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2009b. p. 10153–92.
- Querol X, Alastuey A, Viana MM, Rodriguez S, Arti B. Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in Spain. 2004;35:1151–72.
- Remoundaki E, Bourliva A. PM₁₀ composition during an intense Saharan dust transport event over Athens (Greece). *Sci Total ...* [Internet]. Elsevier B.V.; 2011 [cited 2014 Nov 15];409(20):4361–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.026>
- Remoundaki E, Kassomenos P, Mantas E, Mihalopoulos N, Tsezos M. Composition and Mass Closure of PM_{2.5} in Urban Environment (Athens , Greece). 2013;72–82.
- Robinson AL, Donahue NM, Shrivastava MK, Weitkamp EA, Sage AM, Grieshop AP, et al. Rethinking Organic Aerosols : Semivolatile Emissions and. 2009;1259(2007).
- Saliba NA, Kouyoumdjian H, Roumié M. Effect of local and long-range transport emissions on the elemental composition of PM_{10-2.5} and PM_{2.5} in Beirut. *Atmos Environ.* 2007;41(31):6497–509.
- Salma I, Chi X, Maenhaut W. ARTICLE IN PRESS Elemental and organic carbon in urban canyon and background environments in Budapest , Hungary. 2004;38:27–36.
- Salminen K, Karlsson V. Comparability of low-volume PM₁₀ sampler with β -attenuation monitor in background air. *Atmos Environ* [Internet]. 2003 Aug [cited 2014 Oct 31];37(26):3707–12. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231003004485>
- Samara C, Voutsas D. Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. 2005;59:1197–206.
- Samara C, Voutsas D. Organic and elemental carbon associated to PM₁₀ and PM_{2.5} at urban sites of northern Greece. 2014;1769–85.
- Sardar SB, Fine PM, Mayo PR, Sioutas C. Size-fractionated measurements of ambient ultrafine particle chemical composition in Los Angeles using the NanoMOUDI. *Environ Sci Technol.* 2005;39(4):932–44.

- Schauer JJ, Rogge WF, Hildemann LM, Mazurek MA, Cass GR, Simoneit BRT. Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. *Atmos Environ.* 1996;30(22):3837–55.
- Schleicher N, Norra S, Chen Y, Chai F, Wang S. Science of the Total Environment Efficiency of mitigation measures to reduce particulate air pollution — A case study during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, China. *Sci Total Environ* [Internet]. Elsevier B.V.; 2012;427-428:146–58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.004>
- Schwarz J, Chi X, Maenhaut W, Civiš M, Hovorka J, Smolík J. Elemental and organic carbon in atmospheric aerosols at downtown and suburban sites in Prague. *Atmos Res* [Internet]. 2008 Nov [cited 2014 Nov 14];90(2-4):287–302. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809508001245>
- Sciare J, Cachier H, Oikonomou K, Ausset P. and Physics Characterization of carbonaceous aerosols during the MINOS campaign in Crete, July – August 2001: a multi-analytical approach. 2003;1743–57.
- Sciare J, Oikonomou K, Cachier H, Mihalopoulos N, Andreae MO, Maenhaut W. and Physics Aerosol mass closure and reconstruction of the light scattering coefficient over the Eastern Mediterranean Sea during the MINOS campaign. 2005;2253–65.
- Seinfeld JH, Pandis SN. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* [Internet]. Atmos. Chem. Phys. John Wiley & Sons, Inc.; 2006. p. 1203. Available from: <http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?BookID=2126>
- Sillanpa M, Pennanen A, Makkonen U, Spolnik Z, Branis M, Brunekreef B, et al. Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe. 2006;40:212–23.
- Simoneit BR. Biomass burning — a review of organic tracers for smoke from incomplete combustion [Internet]. *Appl. Geochemistry.* 2002. p. 129–62. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0883292701000610>
- Slezakova K, Pereira MC, Alvim-Ferraz MC. Influence of tobacco smoke on the elemental composition of indoor particles of different sizes. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd; 2009 Jan [cited 2014 Nov 14];43(3):486–93. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100800976X>
- Smith ML, Claire MW, Catling DC, Zahnle KJ. The formation of sulfate, nitrate and perchlorate salts in the martian atmosphere. *Icarus* [Internet]. Elsevier Inc.; 2014;231:51–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2013.11.031>
- Spyrou C, Mitsakou C, Kallos G, Louka P, Vlastou G. An improved limited area model for describing the dust cycle in the atmosphere. 2010;115(September):1–19.
- Sun Y, Zhuang G, Wang Y, Han L, Guo J. The air-borne particulate pollution in Beijing—concentration, composition, distribution and sources. *Atmos ...* [Internet]. 2004 [cited 2014 Nov 15];38:5991–6004. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231004006934>
- Takahashi K, Minoura H, Sakamoto K. Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter. *Atmos Environ* [Internet]. 2008 Jul [cited 2014 Oct 31];42(21):5232–40. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231008002379>

- Taylor P, Watson JG. Visibility : Science and Regulation REVIEW Visibility : Science and Regulation. 2011;(August 2014):37–41.
- Theodosi C, Grivas G, Zarnpas P, Chaloulakou A, Mihalopoulos N. Mass and chemical composition of size-segregated aerosols (PM 1, PM 2.5, PM 10) over Athens, Greece: local versus regional sources. ... Chem ... [Internet]. 2011 [cited 2014 Nov 15];11895–911. Available from: <http://www.atmos-chem-phys.net/11/11895/2011/acp-11-11895-2011.pdf>
- Theodosi C, Im U, Bougiatioti A. Aerosol chemical composition over Istanbul. Sci Total ... [Internet]. Elsevier B.V.; 2010 [cited 2014 Nov 15];408(12):2482–91. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.039>
- Tsai J, Chen S, Huang K, Lin Y, Lee W, Lin C, et al. PM , carbon , and PAH emissions from a diesel generator fuelled with soy-biodiesel blends. J Hazard Mater [Internet]. Elsevier B.V.; 2010;179(1-3):237–43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.085>
- Tsitouridou R, Samara C. First results of acidic and alkaline constituents determination in air particulates of Thessaloniki, Greece. Atmos Environ Part B Urban ... [Internet]. 1993 [cited 2014 Nov 15];27(3). Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0957127293900263>
- Tsitouridou R, Voutsas D, Kouimtzis T. Ionic composition of PM10 in the area of Thessaloniki, Greece. Chemosphere. 2003;52(5):883–91.
- Turpin B, Huntzicker J. Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS. Atmos Environ [Internet]. 1995 [cited 2014 Nov 15];29(23):3527–44. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/135223109400276Q>
- Vardoulakis S, Kassomenos P. Sources and factors affecting PM 10 levels in two European cities : Implications for local air quality management. 2008;42:3949–63.
- Vassilakos C, Saraga D. Temporal variations of PM2.5 in the ambient air of a suburban site in Athens, Greece. Sci Total ... [Internet]. 2005 [cited 2014 Nov 15];349:223–31. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896970500046X>
- Vecchi R, Chiari M, Alessandro AD, Fermo P, Lucarelli F, Mazzei F. A mass closure and PMF source apportionment study on the sub-micron sized aerosol fraction at urban sites in Italy. 2008;42:2240–53.
- Watson JG, Chow JC, Houck JE. PM 2 : 5 chemical source profiles for vehicle exhaust , vegetative burning , geological material , and coal burning in Northwestern Colorado during 1995. 2001;43.
- Watson JG, Chow JC, Lowenthal DH, Pritchett LC, Frazier CA, Neuroth GR, et al. Differences in the carbon composition of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles. Atmos Environ. Pergamon Press Inc; 1994;28(15):2493–505
- Watson, J.G., 2002. Critical review-visibility: science and regulation. J. Air Waste Manag. Assoc. 52, 628-713
- Wilson JG, Kingham S, Pearce J, Sturman AP. A review of intraurban variations in particulate air pollution : Implications for epidemiological research. 2005;39:6444–62.

- Yu L, Mai B, Meng X, Bi X, Sheng G, Fu J, et al. Particle-bound polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the atmosphere of Guangzhou, China. *Atmos Environ* [Internet]. 2006 Jan [cited 2014 Nov 14];40(1):96–108. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231005008423>
- Yuan-xun Z, Min S, Yuan-hangl Z, Li-min Z, Ling-yan HE, Bin ZHU, et al. Source profiles of particulate organic matters emitted from cereal straw burnings. 2007;
- Zhang F, Zhao J, Chen J, Xu Y, Xu L. Pollution characteristics of organic and elemental carbon. 2011;23(8):1342–9.
- Ασημακόπουλος Δ.Ν. Σημειώσεις στο Μάθημα Μέθοδοι και Όργανα Περιβαλλοντικών Μετρήσεων
- Βαρώτσος Κ. Ειδικά Κεφάλαια Ατμοσφαιρικής Φυσικής & Χημείας, Εφαρμογές στο Κλιματικό Σύστημα.
Εκδόσεις Συμμετρία. 2011
- Ιακωβίδης Κ.Π. ΡΥΠΑΝΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Επιπτώσεις των Αερίων Ρύπων στη Βιόσφαιρα και Ανθρώπινη Υγεία – Απόβλητα. 2009
- Μελάς Δ. Φυσική Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ,
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ, Σ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, 2007
- Μπεργελές Γ. Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, 2006
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε.-Κ., Κράνης Χ. Δανάμος Γ. ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΩ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004, 816-825
- Ρεμουντάκη Ε. Μηχανισμοί κινητικότητας ρύπων (μετάλλων). Βοηθητικές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ, 2012
- Σκούλλος Μ., Σίσκος Π. Χημεία Περιβάλλοντος 2^η Έκδοση , Εκδόσεις Συμμετρία, 2010
- Φυτιανός Κ., Σαμαρά- Κωνσταντίνου Κ. Χημεία Περιβάλλοντος. UNIVERSITY STUDIO PRESS, 2009

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Οριακές Τιμές Συγκέντρωσης Αιωρούμενων Σωματιδίων

Π1.1: Οριακή Τιμή Συγκέντρωσης του Κλάσματος των PM_{2.5} Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση

Περίοδος Μέσου Όρου	Οριακή Τιμή	Περιθώριο Ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1 Ημερολογιακό Έτος	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 % στις 11 Ιουνίου 2008, μειούμενο έως την 1 ^η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0 % έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 ⁽¹⁾ Ημερολογιακό Έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1η Ιανουαρίου 2020

(1) Στάδιο 2 — Ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικώς εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.

Π1.2: Οριακή Τιμή Συγκέντρωσης του Κλάσματος των PM_{2.5} Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής

Μετρούμενος Ρύπος	Πηγή Εκπομπής	Διάρκεια Κατά Μέσο Όρο	Μέση Συγκέντρωση	Τρόπος
PM _{2.5}	Πρωτογενής	Ετήσια	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση Τιμή Ετήσιων Συγκεντρώσεων σε Διάστημα 3 Χρόνων
	Δευτερογενής	Ετήσια	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση Τιμή Ετήσιων Συγκεντρώσεων σε Διάστημα 3 Χρόνων
	Πρωτογενής και Δευτερογενής	24ωρη	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Η μέση τιμή σε Διάστημα 3 Χρόνων του 98% των ημερήσιων συγκεντρώσεων δεν Πρέπει να το Υπερβαίνει

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Συγκέντρωση, Χημική Σύσταση και Λόγοι Αερολυμάτων στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Π2.1: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με το Ευρύτερο Λεκανοπέδιο

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM ₁₀ ± STDEV	PM _{2.5} ± STDEV	PM _{10-2.5} ± STDEV
(Chaloulakou et al. 2005)	Αριστοτέλους	Αστική Κυκλοφορίας	1999 – 2001	75.0 ± 31.0	40.0 ± 18.0	36.0 ± 17.0
(Grivas et al. 2004)	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2001 - 2002 (n= 55)	73.8 ± 41.4		
	Αριστοτέλους	Αστική Κυκλοφορίας	2001 - 2002 (n= 59)	83.2 ± 35.1		
	Θρακομακεδόνες	Περισστική Υποβάθρου	2001 - 2002 (n= 26)	32.9 ± 15.9		
	Ελευσίνα	Αστική Βιομηχανική	2001 - 2002 (n= 33)	54.9 ± 28.3		
	Αγ. Παρασκευή	Περισστική Υποβάθρου		40.5 ± 22.5		
(Grivas et al. 2008)	Αριστοτέλους	Αστική Κυκλοφορίας	2001 - 2004	55.7 ± 23.0		
	Γουδί	Αστική Κυκλοφορίας		39.8 ± 22.5		
	Λυκόβρυση	Περισστική Κυκλοφορίας		60.9 ± 26.4		
	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας		48.2 ± 28.7		
	Πειραιάς	Αστική Κυκλοφορίας		58.8 ± 20.8		
	Θρακομακεδόνες	Περισστική Υποβάθρου		32.8 ± 19.5		
	Ζωγράφου	Περισστική Υποβάθρου		34.5 ± 17.3		
(Karageorgos and Rapsomanikis 2007)	Αθηνάς	Αστική Κυκλοφορίας	2003	56.0		
	Αθηνάς	Αστική Κυκλοφορίας	2004	92.0 ± 33.0	40.5	80.0
	Χαλκοκονδύλη	Αστική Κυκλοφορίας		86.0	32.0	55.0
(Sillanpaa et al. 2006)		Κυκλοφορίας	2003		25.3	28.7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.2: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με το Ευρύτερο Λεκανοπέδιο

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM ₁₀ ± STDEV	PM _{2.5} ± STDEV	PM ₁ ± STDEV
Kassomenos et al. 2012, 2014)	Πειραιάς	Αστική Κυκλοφορίας	2007	48.3	35.9	
	Αγ. Παρασκευή	Περιαστική Υποβάθρου		28.1	19.1	
(Koulouri et al. 2008a)	Λυκόβρυση	Περιαστική Κυκλοφορίας	2005 - 2006	51.3 ± 24.5	23.7 ± 10.7	18.5 ± 8.8
	Γουδί	Αστική Κυκλοφορίας		52.2 ± 29.1	29.3 ± 10.4	20.1 ± 7.4
(Mantas et al. 2014)	Ζωγράφου	Περιαστική Υποβάθρου	2010 - 2013		20.0	
(Vardoulakis and Kassomenos 2008)	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2001	55.62		
	Αγ. Παρασκευή	Περιαστική Υποβάθρου		48.29		
	Λυκόβρυση	Περιαστική Κυκλοφορίας		60.73		
	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2002	63.42		
	Αγ. Παρασκευή	Περιαστική Υποβάθρου		37.63		
	Λυκόβρυση	Περιαστική Κυκλοφορίας	2003	60.95		
	Αγ. Παρασκευή	Περιαστική Υποβάθρου		36.81		
	Λυκόβρυση	Περιαστική Κυκλοφορίας		59.29		
(Vassilakos et al. 2005)	Αγ. Παρασκευή	Περιαστική Υποβάθρου	2003 (n= 122)		21.1 ± 7.75	
(Remoundaki et al. 2011)	Ζωγράφου	Περιαστική Υποβάθρου	2009 (n= 8)	35.62		
(Remoundaki et al. 2013)	Ζωγράφου	Περιαστική Υποβάθρου	2010 (n= 116)		20.0	
(Theodosi et al. (2011)	Λυκόβρυση	Περιαστική Κυκλοφορίας	2005 - 2006	59.0 ± 28.4	23.5 ± 10.8	18.6 ± 9.1
	Γουδί	Αστική Κυκλοφορίας		53.6 ± 29.6	29.4 ± 10.3	20.2 ± 7.4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.3: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με το Ευρύτερο Λεκανοπέδιο

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM ₁₀ ± STDEV	PM _{2.5} ± STDEV	PM ₁ ± STDEV	PM _{10-2.5} ± STDEV
(Pateraki et al. 2008)	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2005	44.1	17.6 - 26.3	13.9	
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου		37.6	19.2 - 22.3	16.8	
(Pateraki et al. 2010)	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2003 - 2008	34.8 ± 23.4	18 ± 7.25		23.8 ± 22.3
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2003	44.7 ± 11.9	22.2 ± 6.17		22.5 ± 7.43
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2004	43.8 ± 26	20.1 ± 8.68		22.8 ± 18.6
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2005	40.6 ± 21.4	17.8 ± 6.68		23.5 ± 18.2
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2006	33.4 ± 33.6	17.6 ± 8.16		15.1 ± 27.6
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2007	29.3 ± 12.7	17.9 ± 6.61		11.4 ± 9.70
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2008	30.6 ± 24.4	16.9 ± 6.26		13.5 ± 23.1
(Pateraki et al 2012b, 2013)	Πειραιάς	Αστική Βιομηχανική	2008	33.8 ± 20.4	21.1 ± 8.06		
	Βοτανικός	Αστική Βιομηχανική			24.7 ± 8.77	19.3 ± 6.51	
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου			33.2 ± 22.5	17.7 ± 6.45	
	Πεντέλη	Αγροτική Υποβάθρου			37.4 ± 17.2	26.7 ± 9.52	
	Μάνδρα	Περισσική Βιομηχανική			61.7 ± 20.6		
	Ασπρόπυργος	Περισσική Βιομηχανική			86.6 ± 35.9		
	Μαρκόπουλο	Περισσική Υποβάθρου			55.8 ± 26.6		
	Κορωπί	Περισσική Υποβάθρου			52.8 ± 25.3		
	Σπάτα	Περισσική Υποβάθρου			35.5 ± 15.9		
	Γλυκά Νερά	Περισσική Υποβάθρου			40.1 ± 22.9		
Παλλήνη	Περισσική Υποβάθρου		34.1 ± 17.7				

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.4: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με το Ευρύτερο Λεκανοπέδιο

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Χρόνος Δειγματοληψίας	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM ₁₀ ± STDEV	PM _{2.5} ± STDEV	PM ₁ ± STDEV	PM _{10-2.5} ± STDEV
(Chaloulakou et al. 2005)	Αριστοτέλους	Αστική Κυκλοφορίας	1999 – 2001	Ψυχρή Περίοδος:	77.0 ± 34.0	42.0 ± 21.0		35.0 ± 20.0
				Θερμή Περίοδος:	72.0 ± 27.0	37.0 ± 14.0		35.0 ± 15.0
(Kassomenos et al. 2012, 2014)	Πειραιάς	Αστική Κυκλοφορίας	2007	Ψυχρή Περίοδος:	44.13	32.47		
				Θερμή Περίοδος:	51.22	38.48		
	Αγ. Παρασκευή	Περισιατική Υποβάθρου	2007	Ψυχρή Περίοδος:	22.69	14.66		
				Θερμή Περίοδος:	32.55	22.73		
(Pateraki et al. 2008)	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2005	Ψυχρή Περίοδος:	44.1	26.3		
				Θερμή Περίοδος:		17.6	13.9	
	Αγ. Παρασκευή	Περισιατική Υποβάθρου	2005	Ψυχρή Περίοδος:	37.6	19.2		
				Θερμή Περίοδος:		22.3	16.8	
(Pateraki et al. 2010)	Αγ. Παρασκευή	Περισιατική Υποβάθρου	2003	Θερμή Περίοδος:	44.7	22.2		22.5
				Ψυχρή Περίοδος:	39.2	18.7		20.5
			2004	Θερμή Περίοδος:	46.0	21.0		24.3
				Ψυχρή Περίοδος:	35.8	16.8		18.7
			2005	Θερμή Περίοδος:	46.3	18.5		28.3
				Ψυχρή Περίοδος:	33.4	16.6		15.6
			2006	Θερμή Περίοδος:	33.2	19.3		19.1
				Ψυχρή Περίοδος:	25.2	15.9		9.57
			2007	Θερμή Περίοδος:	33.1	19.9		13.2
				Ψυχρή Περίοδος:	29.8	15.7		14.4
2008	Θερμή Περίοδος:	31.5	18.2		12.5			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.5: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με το Ευρύτερο Λεκανοπέδιο

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Χρόνος Δειγματοληψίας	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM ₁₀ ± STDEV	PM _{2.5} ± STDEV
(Vardoulakis and Kassomenos2008)	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2001	Ψυχρή Περίοδος:	56.42	
				Θερμή Περίοδος:	54.82	
	Αγ. Παρασκευή	Περιστική Υποβάθρου	2001	Ψυχρή Περίοδος:	41.59	
				Θερμή Περίοδος:	54.99	
	Λυκόβρυση	Περιστική Κυκλοφορίας	2001	Ψυχρή Περίοδος:	60.21	
				Θερμή Περίοδος:	61.25	
	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2002	Ψυχρή Περίοδος:	63.42	
				Θερμή Περίοδος:	59.53	
	Αγ. Παρασκευή	Περιστική Υποβάθρου	2002	Ψυχρή Περίοδος:	33.71	
				Θερμή Περίοδος:	41.56	
Λυκόβρυση	Περιστική Κυκλοφορίας	2002	Ψυχρή Περίοδος:	63.1		
			Θερμή Περίοδος:	58.81		
Αγ. Παρασκευή	Περιστική Υποβάθρου	2003	Ψυχρή Περίοδος:	29.91		
			Θερμή Περίοδος:	43.72		
Λυκόβρυση	Περιστική Κυκλοφορίας	2003	Ψυχρή Περίοδος:	56.71		
			Θερμή Περίοδος:	61.87		
(Remoundaki et al. 2013)	Ζωγράφου	Περιστική Υποβάθρου	2010	Ψυχρή Περίοδος:		22.0
				Θερμή Περίοδος:		21.0
(Vassilakos et al. 2005)	Αγ. Παρασκευή	Περιστική Υποβάθρου	2003	Ψυχρή Περίοδος:		14.9 ± 6.66
				Θερμή Περίοδος :		21.7 ± 6.76

Ψυχρή Περίοδος: 16 Οκτώβρη- 15 Απρίλη, Θερμή Περίοδος: 16 Απρίλη- 15 Οκτώβρη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.6: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM _{2.5} ± STDEV	PM ₁ ± STDEV
(Mazzei et al. 2008)	Ιταλία	Κυκλοφορίας	06/2005-07/2005 (n=38)	20.6 ±6.6	
		Βιομηχανική	02/2005-04/2005 (n=53)		17.5 ±5.7
			05/2005-07/2005 (n=24)	19.0 ±10.3	
			12/2003-09/2004 (n=61)		17.5 ±8.3
(Glavas et al. 2008)	Πάτρα	Αστική Υποβάθρου	12/2003-09/2004 Ψυχρή Περίοδος		9.7 ±4.9
(Schleicher et al. 2012)	Κίνα	Ημιαστική	11/2004-12/2005		
(Pakkanen et al. 2003)	Φινλανδία	Αστική	10/2007-02/2009 (n=49)		34.1 ±17.2
		Αστική	1997 (n=4)		11.1
(Sun et al. 2004)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας	2002 -2003 (n = 20)	135.7 ±96.6	
		Βιομηχανική	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	140.8 ±73.9	
		Κατοικημένη	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	182.2 ±120.8	
(Hueglin et al. 2005)	Ελβετία	Αστική 1	04/1998-03/1999 (n = 79)	24.6	
		Αστική2	04/1998-03/1999 (n = 79)	20.0	
		Προάστιο	04/1998-03/1999 (n = 77)	18.9	
		Αγροτική σε Υψόμετρο	04/1998-03/1999 (n = 78)	7.7	
(Deng et al. 2006)	Κίνα	Κατοικημένη (Εμπορικά Κτήρια)	2004 (n=30)	62.12 ±20.5 (28.1 - 107)	
(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)	Σιγκαπούρη	Πανεπιστημιούπολη	01/2000-12/2000	27.0 ±10.0 (10.0-69.0)	
(Meng et al. 2007)	Κίνα	Αστική	12/2005-02/2006 (n=48)	193.4 ±102.3	
(Kocak et al. 2007b)	Τουρκία	Αγροτική	2001-2002 (n = 562)	9.7 ±5.9	

Π2.7: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	PM _{2.5} ± STDEV	PM ₁ ± STDEV
(Vecchi et al. 2008)	Ιταλία	Αστική Υποβάθρου	12/2003-03/2004 (n=30)		48.8 ±22.9
		Αστική Υποβάθρου	Ψυχρή Περίοδος 12/2003-03/2004 (n=44)		25.3 ±17.9
		Αστική Υποβάθρου	Ψυχρή Περίοδος 12/2003-03/2004 (n=73)		11.5 ±5.4
(Mugica et al. 2009)	Μεξικό	Κατοικημένη Βιομηχανική	2006 (n=31)	47.0 - 56.0	
(Caggiano et al. 2010)	Ιταλία	Βιομηχανική	04/2006-03/2007 (n=327)		8.0 ±7.0 (0.3 - 55)
(Galindo et al. 2011)	Ισπανία	Βιομηχανική	09/2005-08/2006 (n ≅ 300)	17.6 ±7.7 (2.0-43.3)	
(Perez et al. 2008)	Ισπανία	Αστική Υποβάθρου	10/2005-10/2006 (n = 85)	29.0 (25.0-29.0)	
			10/2005-10/2006 (n = 85)	19.0 (18.0-21.0)	
(Cheng et al. 2010)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας 1	2003 (n=16)	69.3 ±11.8	
		Αστική Κυκλοφορίας 2	2003 (n=13)	66.9 ±12.3	
		Αστική	2003 (n=20)	49.3 ±17.9	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.8: Συγκριτικοί Πίνακες Συγκέντρωσης Ιόντων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην Διεθνή Βιβλιογραφία Σχετικά με την Ελλάδα

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	Μετρούμενα Κλάσματα	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
(Tsitouridou and Samara 1993)	Θεσσαλονίκη	Αστική Κυκλοφορίας	03/1989-12/1990	neq/m^3	287±219	27.7±25.6	5.9 ±4.4	58.8 ±39.2	66.0 ±54.7	31.5 ±27.7	203 ±140
(Karageorgos and Rapsomanikis 2007)	Αθήνα (Κέντρο)	Αστική Κυκλοφορίας	2004 (n = 19)	PM _{2.5}	1.48±1.21	0.14±0.06	0.10±0.04	3.37 ±1.19	0.38 ±0.25	0.41 ±0.22	6.82 ±3.06
	Αθήνα (Κέντρο)	Αστική Κυκλοφορίας	2004 (n = 11)	PM _{2.5}	1.61±1.73	0.07±0.05	0.08±0.07	1.37 ±0.94	0.21 ±0.27	0.35 ±0.40	7.14 ±5.84
(Glavas et al. 2008)	Πάτρα	Ημιαστική	11/2004-12/2005	PM _{2.5}	1.6	ND	ND	0.33	0.12	0.4	3.2
	Μαρούσι	Αστική Κυκλοφορίας	2005 (n = 19)	PM _{2.5}	ND	0.09	0.29	0.79	0.58	1.38	11.9
(Pateraki et al. 2008)				PM ₁	ND	0.04	0.15	0.54	0.27	0.60	11.9
	Αγ. Παρασκευή	Περισσική Υποβάθρου	2005 (n = 24)	PM _{2.5}		0.11	0.72	0.99	0.39	0.65	6.32
(Pateraki et al. 2012b)	Πεντέλη	Μικρή Κίνηση Οχημάτων	2008 (n=116)	PM _{2.5}	1.25	ND	ND	ND	ND	1.11	4.62
	Βοτανικός	Αστική Βιομηχανική	2008 (n= 72)	PM _{2.5}	1.30	ND	ND	ND	ND	1.33	5.19
			2008 (n=94)	PM ₁	1.29	ND	ND	ND	ND	1.10	4.46
	Αίγινα	-	2008 (n=118)	PM _{2.5}	1.21	ND	ND	ND	ND	0.76	5.18
2008 (n=119)			PM ₁	1.15	ND	ND	ND	ND	0.29	4.12	
(Theodosi et al. 2011)	Λυκόβρυση	Περισσική Κυκλοφορίας	09/2005-08/2006	PM _{2.5}	0.79	0.71	0.07	ND	0.40	1.08	6.08
	Γουδί	Αστική Κυκλοφορίας	09/2005-08/2006	PM _{2.5}	0.92	0.46	0.05	ND	0.49	1.09	5.79
(Remoundaki et al. 2013)	Ζωγράφου	Περισσική Υποβάθρου	2010 (n= 116)	PM _{2.5}	0.92	0.10	0.07	0.34	0.23	0.49	3.99
(Eleftheriadis et al. 2014)	Αθήνα	Βιομηχανική	06/2005-09/2006	PM _{2.5}	1.34	0.35	0.20	1.01	1.32	1.67	2.63
		Αστική	06/2005-09/2006	PM _{2.5}	2.16	0.86	0.37	1.67	1.00	3.91	5.69
		Βιομηχανική Περιερισσική Υποβάθρου	06/2005-09/2006	PM _{2.5}	1.32	0.18	0.12	1.21	0.26	1.42	4.19

ND: Δε διευκρινίζεται

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.9: Συγκριτικοί Πίνακες Συγκέντρωσης Ιόντων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	Μετρούμενα Κλάσματα	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
(He et al. 2001)	Κίνα	Κατοικημένη	07/1999-09/2000	$\text{PM}_{2.5}$	6.51	2.21	ND	ND	ND	9.9	14.08
		Αστική	07/1999-09/2000	$\text{PM}_{2.5}$	6.22	2.22	ND	ND	ND	10.3	14.47
(Ito et al. 2004)	Νέα Υόρκη	Αστική 1	04/2001-12/2002 (n = 189)	$\text{PM}_{2.5}$	1.7 ±1.4	ND		ND	ND	1.9 ±1.8	4.2 ±3.3
		Αστική 2	04/2001-12/2002 (n = 170)		1.9 ±1.6	ND	ND	ND	ND	2.2 ±1.9	4.1 ±3.1
		Αστική 3	04/2001-12/2002 (n = 171)		1.9 ±1.5	ND	ND	ND	ND	2.0 ±1.7	4.3 ±3.5
(Sun et al. 2004)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας	2002 -2003 (n = 20)	$\text{PM}_{2.5}$	12.9 ±10.7	1.94 ±1.80	ND	ND	6.38 ± 3.45	17.0 ±15.4	30.4 ±25.4
		Βιομηχανική	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	$\text{PM}_{2.5}$	13.3 ±7.18	1.88 ±1.33	ND	ND	6.57 ± 2.07	13.5 ±9.17	23.1 ±17.1
		Κατοικημένη	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	$\text{PM}_{2.5}$	20.3 ±10.4	4.23 ±2.10	ND	ND	7.36 ±4.69	19.3 ±3.7	29.9 ±23.4
(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)	Σιγκαπούρη	Πανεπιστημιούπολη	01/2000-12/2000	$\text{PM}_{2.5}$	1.62 ±1.11 (0.14-8.13)	0.53 ±0.38 (0.09-3.61)	0.07 ±0.05 (0.01-0.31)	0.29 ±0.16 (0.11-1.42)	0.6 ±0.8 (0.04-0.36)	0.9 ±0.6 (0.2-3.9)	5.0 ±3.0 (0.8-21.5)
(Hueglin et al. 2005)	Ελβετία	Αστική 1	04/1998-03/1999 (n = 79)	$\text{PM}_{2.5}$	1.6 ±6.6	0.18	0.08	0.13	0.10	3.0 ±12.1	2.8 ± 11.3
		Αστική2	04/1998-03/1999 (n = 79)	$\text{PM}_{2.5}$	2.1 ±10.4	0.18	0.01	0.07	0.07	3.5 ±17.3	3.5 ±17.3
		Προάστιο	04/1998-03/1999 (n = 77)	$\text{PM}_{2.5}$	2.6 ±10.8	0.21	0.013	0.071	0.14	3.1 ±16.6	4.1 ±21.8
		Αγροτική σε Υψόμετρο	04/1998-03/1999 (n = 78)	$\text{PM}_{2.5}$	0.8 ±10.8	0.05	0.012	0.067	0.048	0.6 ±7.4	2.3 ±30.0
(Kocak et al. 2007b)	Τουρκία	Αγροτική	2001-2002 (n = 562)	$\text{PM}_{2.5}$	0.85 ±0.83	0.10 ±0.12	ND	0.16 ±0.16	ND	0.26 ±0.29	3.41 ±3.09
(Pakkanen et al. 2003)	Φινλανδία	Αστικός	1997 (n=4)	PM_1	0.56	0.024	0.004	0.03	ND	0.06	1.31
(Perez et al. 2008)	Ισπανία	Αστική Υποβάθρου	10/2005-10/2006 (n = 85)	$\text{PM}_{2.5}$	1.4	ND	ND	ND	ND	2.7	4.6
			10/2005-10/2006 (n = 85)	PM_1	1.2	ND	ND	ND	ND	1.5	3.3

ND: Δε διευκρινίζεται

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.10: Συγκριτικοί Πίνακες Συγκέντρωσης Ιόντων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	Μετρούμενα Κλάσματα	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
(Vecchi et al. 2008)	Μιλάνο	Αστική Υποβάθρου	12/2003-03/2004 (n=30) Ψυχρή Περίοδος	PM ₁	4.2	ND	ND	ND	ND	13.6	4.7
(Mugica et al. 2009)	Μεξικό	Κατοικημένη Βιομηχανική	2006 (n=31)	PM _{2.5}	1.3 – 1.5	0.2 -0.6	ND	ND	0.2	1.0 – 2.3	4.2 – 4.7
(Cheng et al. 2010)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας 1	2003 (n=16)	PM _{2.5}	4.4 ±2.0	0.56 ±0.48	ND	ND	0.29 ±0.07	1.7 ±0.84	11.1 ±5.6
		Αστική Κυκλοφορίας 2	2003 (n=13)	PM _{2.5}	5.5 ±2.3	0.54 ±0.31	ND	ND	0.32 ±0.12	1.6 ±0.84	13.3 ±5.8
		Αστική	2003 (n=20)	PM _{2.5}	4.3 ±2.1	0.67 ±0.57	ND	ND	0.17 ±0.12	0.79 ±0.59	11.6 ±5.7
(Perrone et al. 2011)	Ιταλία	Αστικός Υποβάθρου	03/2007-12/2007	PM _{2.5}	2.1 ±0.8	0.4 ±0.2	0.1 ±0.1	0.6 ±0.6	0.1 ± 0.1	0.2 ±0.2	
(Perrone et al. 2013)	Ιταλία	Περιστατικός	07/2008-05/2010 (n=105)	PM _{2.5}	1.2 ±0.6	0.26 ±0.21	0.03 ±0.04	0.23 ±0.23	0.07 ±0.15	0.52 ±0.75	4.2 ±2.2
			07/2008-05/2010 (n=105)	PM ₁	0.75 ±0.41	0.14 ± 0.10	0.005±0.006	0.03 ±0.04	0.03 ±0.03	0.23 ±0.16	2.3 ±1.4
(Galindo et al. 2011)	Ισπανία	Βιομηχανική	09/2005-08/2006 (n ≅ 300)	PM _{2.5}	1.52 ±1.35	0.28 ±0.17	0.05 ±0.04	1.03 ±0.75	0.52 ±0.63	1.53 ±1.72	4.20 ±2.56
(Galindo et al. 2013)	Ισπανία	Πανεπιστημιούπολη	10/2008-10/2009 Ψυχρή Περίοδος	PM _{2.5}	0.68	0.29	0.03	0.36	0.22	1.77	1.42
				PM ₁	0.49 ±0.50	0.27±0.08	0.02±0.01	0.34±0.11	ND	1.02±0.85	1.12±0.68

ND: Δε διευκρινίζεται

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.11: Συγκριτικοί Πίνακες Συγκέντρωσης Οργανικών Ενώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	Μετρούμενα Κλάσματα	OC	EC	OC/EC	OC/(OC + EC)
(He et al. 2001)	Κίνα	Κατοικημένη	07/1999-09/2000	PM _{2.5}	29.1	10.1	2.88	
		Αστική	07/1999-09/2000	PM _{2.5}	21.5	8.7	2.47	
(Ito et al. 2004)	Νέα Υόρκη	Αστική 1	04/2001-12/2002 (n = 189)	PM _{2.5}	5.0 ±3.5	1.3 ±0.6	ND	
		Αστική 2	04/2001-12/2002 (n = 170)	PM _{2.5}	4.0±3.1	1.1±0.7	ND	
		Αστική 3	04/2001-12/2002 (n = 171)	PM _{2.5}	3.7±3.3	0.7±0.5	ND	
(Sun et al. 2004)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας	2002 -2003 (n = 20)	PM _{2.5}	33.2 ±26.4	11.0±9.4	ND	
		Βιομηχανική	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	PM _{2.5}	36.3±22.8	9.8±6.8	ND	
		Κατοικημένη	Ψυχρή Περίοδος 2002 -2003 (n = 20)	PM _{2.5}	37.5±11.2	21.9±12.1	ND	
(Mugica et al. 2009)	Μεξικό	Κατοικημένη Βιομηχανική	2006 (n=31)	PM _{2.5}	11.0-12.0	3.3-4.2	ND	
(Meng et al. 2007)	Κίνα	Αστική	12/2005-02/2006 (n=48)	PM _{2.5}	28.9±14.8	4.8±2.2	7.0±3.9	
(Cao et al. 2005)	Κίνα	Αστική	12/2003-02/2004	PM _{2.5}	61.9	12.3	5.1	
(Perez et al. 2008)	Ισπανία	Αστικός Υποβάθρου	10/2005-10/2006 (n = 85)	PM _{2.5}	5.5	2.3	ND	0.70
			10/2005-10/2006 (n = 85)	PM ₁	4.3	1.8	ND	0.71
(Cheng et al. 2010)	Κίνα	Αστική Κυκλοφορίας 1	2003 (n=16)	PM _{2.5}	19.4±4.0	28.4±2.9	ND	0.8±0.1
		Αστική Κυκλοφορίας 2	2003 (n=13)	PM _{2.5}	17.6±3.5	20.1±4.3	ND	0.8±0.1
		Αστική	2003 (n=20)	PM _{2.5}	13.8±6.5	7.3±3.0	ND	1.9±0.7
(Perrone et al. 2011)	Ιταλία	Αστικός Υποβάθρου	03/2007-12/2007	PM _{2.5}	5.6±2.8	1.5±1.2	ND	

ND: Δε διευκρινίζεται

Π2.12: Συγκριτικοί Πίνακες Συγκέντρωσης Οργανικών Ενώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στην Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	Μετρούμενα Κλάσματα	OC	EC	OC/EC
(Perrone et al. 2013)	Ιταλία	Περισσική	07/2008-05/2010 (n=105)	PM _{2.5}	5.8±3.1	2.1±1.2	ND
			07/2008-05/2010 (n=105)	PM ₁	3.6±1.6	1.5±0.8	ND
(Remoundaki et al. 2013)	Ζωγράφου	Περισσική Υποβάθρου	2010 (n= 116)	PM _{2.5}	24.3	9.9	2.92±0.6
(Pateraki et al. 2012b)	Πεντέλη	Μικρή Κίνηση Οχημάτων	2008	PM _{2.5}	4.10	0.48	ND
	Βοτανικός	Αστική Βιομηχανική	2008	PM _{2.5}	4.46	1.80	ND
				PM ₁	4.14	1.37	ND
	Αίγινα	-	2008	PM _{2.5}	2.39	0.44	ND
				PM ₁	2.05	0.38	ND
(Vecchi et al. 2008)	Ιταλία	Αστική Υποβάθρου	12/2003-03/2004 Ψυχρή Περίοδος	PM ₁	14.8	1.8	4.5-8.2

ND: Δε διευκρινίζεται

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Π2.13: Συγκριτικά Αποτελέσματα Σχετικά με το Λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Περιοχή	Χαρακτηρισμός Περιοχής	Περίοδος Δειγματοληψίας	$PM_1/PM_{2.5}$
(Hauck et al. 2004a)	Αυστρία	4 Σταθμοί	1999-2000 (12 μήνες)	0.81 - 0.86
(Giugliano et al. 2005)	Ιταλία	4 Αστικές Περιοχές	04/2001-03/2003 (n= 9 - 40)	0.87 – 0.92
(Koulouri et al. 2008)	Ελλάδα	2 Κυκλοφορίας 1 Υποβάθρου	2005 - 2006	0.45 – 0.60
(Pateraki et al. 2008)	Ελλάδα	1 Αστικός Κυκλοφορία 1 Υποβάθρου	2005 Θερμή Περίοδος	0.63 - 0.95
(Pateraki et al. 2012b)	Ελλάδα	3 Σταθμοί	2008	0.73 – 0.84
(Pateraki et al. 2013)	Ελλάδα	11 Σταθμοί	Άνοιξη 2008	0.54 – 0.83
(Vecchi et al. 2008)	Ιταλία	3 Διαφορετικοί Σταθμοί Αστικοί Υποβάθρου	2003 - 2004	0.5 – 0.9
(Querol et al. 2009b)	Ισπανία Κρήτη	- Φυσικός Υποβάθρου	n=225 n = 360	0.65 0.8

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Χρήση Λόγων Οργανικού/Στοιχειακού Άνθρακα και Ιόντων για τον Προσδιορισμό των Πηγών των Αερολυμάτων

Π3.1 Χρήση του Λόγου *OC/EC* στη Διεθνή Βιβλιογραφία

Μελέτη	Τιμή Λόγου	Σημασία
(Turpin and Huntzicker 1995)	>2.2	Σχηματισμός δευτερογενών οργανικών ενώσεων
(Chow et al. 1996)	>2.0	Σχηματισμός δευτερογενών οργανικών ενώσεων
(Feng et al. 2009)	1.0 – 4.2	Τυπική τιμή εκπομπής συμπεριλαμβανομένου κινητήρων βενζίνης και πετρελαίου
	16.8 – 40.0	Καύση ξύλου
	2.5 – 10.5	Οικιακή καύση άνθρακα
	32.9 - 81.6	Εκπομπές κουζίνας
	7.7	Καύση βιομάζας
(Yuan-xun et al. 2007)	1.1	Κίνηση οχημάτων
	12	Καύση άνθρακα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Π3.2: Χρήση των Λόγων των Ιόντων στη Διεθνή Βιβλιογραφία για τον Προσδιορισμό των Πηγών των Αερολυμάτων

Λόγος	Τιμή Λόγου	Σημασία	Μελέτη
Cl^-/Na^+	1.16	Θαλασσινή Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993; Kim et al. 2006)
	1.8		(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)
	0.003	Εδαφική Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993)
K^+/Na^+	0.02	Θαλασσινή Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993; Kim et al. 2006)
	0.04		(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)
	0.54	Εδαφική Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993)
Ca^{2+}/Na^+	0.04	Θαλασσινή Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993; Kim et al. 2006)
	1.47	Εδαφική Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993)
Mg^{2+}/Na^+	0.22	Θαλασσινή Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993; Kim et al. 2006)
	0.04		(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)
	1.42	Εδαφική Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993)
SO_4^{2-}/Na^+	0.12	Θαλασσινή Προέλευση	(Tsitouridou and Samara 1993)
	0.25		(Karthikeyan and Balasubramanian 2006)
Mg^{2+}/Ca^{2+}	5.17	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)
Mg^{2+}/K^+	10.4	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. (2006)
Cl^-/Mg^{2+}	5.13	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)
Ca^{2+}/K^+	2.02	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)
Cl^-/K^+	53.5	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)
Cl^-/NO_3^-	1.17×10^5	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)
NH_4^+/NO_3^-	0.71	Θαλασσινή Προέλευση	(Kim et al. 2006)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗΣ ΟΡΩΝ

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΕΝΝΟΙΑ
Al	Αργίλιο
Si	Πυρίτιο
Ti	Τιτάνιο
Fe	Σίδηρο
Ca	Ασβέστιο
Na	Νάτριο
Cl	Χλώριο
Cu	Χαλκός
Pb	Μόλυβδος
Zn	Ψευδάργυρος
Mn	Μαγγάνιο
V	Βανάδιο
Ni	Νικέλιο
SO ₂	Διοξειδίο του Θείου
H ₂ SO ₄	Θειικό Οξύ
OH ⁻	Ρίζα Υδροξυλίου
NO _x	Οξειδία του Αζώτου
NH ₄ NO ₃	Νιτρικού Αμμώνιο
NH ₃	Αμμωνία
ClO	Μονοξειδίο του Χλωρίου
O ₃	Όζον
C ₆ H ₆	Βενζόλιο
CH ₄	Μεθάνιο
N ₂ O	Υποξειδίο του Αζώτου
NM VOC	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις
NH ₄ NO ₃	Νιτρικό Αμμώνιο
NaCl	Χλωριούχο Νάτριο
SO ₄ ²⁻	Θειικά Ιόντα
NO ₃ ⁻	Νιτρικά Ιόντα
NH ₄ ⁺	Αμμώνιο (Ιόντα Αμμωνίας)
Ca ²⁺	Ιόντα Ασβεστίου
Cl ⁻	Χλωρίδια (Ιόντα Χλωρίου)
Mg ²⁺	Ιόντα Μαγνησίου
Na ⁺	Ιόντα Νατρίου
K ⁺	Ιόντα Καλίου

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΕΝΝΟΙΑ
E.K.Π.Α I.Π.T.A. I.Π.P.E.T.E.A	Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Ινστιτούτου Πυρηνικής Προστασίας και Ακτινοπροστασίας Ινστιτούτο Πυρηνικών και Ραδιολογικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ενέργειας και Ασφάλειας
E.K.E.Φ.E. Υ.Π.E.K.A. E.Δ.Π.A.P. E.Φ.E.T. U.S.E.P.A.	Εθνικό κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων United States Environmental Protection Agency
E.U. IPCC TSP PM UPF CCN DNA SIA PAH DMS PCDD PCDF Bap a.m.s.l. TEOM COD R STDEV WS T RH OC EC Π1 Π2 Π3	European Union Intergovernmental Panel on Climate Change Total Suspended Particulates Particulate Matter Ultrafine Particles Cloud Condensation Nuclei DeoxyriboNucleic Acid Secondary Inorganic Aerosol Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Dimethyl sulfide Polychlorinated Dibenzodioxins Polychlorinated Dibenzofurans Benzo[a]pyrene Above Mean Sea Level Tapered Element Oscillating Microbalance Coefficient of Divergence Pearson Correlation Coefficient Standard Deviation Wind Speed Temperature Relative Humidity Organic Carbon Elemental Carbon Σταθμός Δειγματοληψίας στη Νέα Σμύρνη Σταθμός Δειγματοληψίας στο Βοτανικό Σταθμός Δειγματοληψίας στο Μαρούσι

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ		
ΞΕΝΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ	ΕΝΝΟΙΑ
N	B	Βόρειος
NNE	BBA	Βόρειος - Βορειοανατολικός
NE	BA	Βορειοανατολικός
ENE	ABA	Ανατολικός - Βορειοανατολικός
E	A	Ανατολικός
ESE	ANA	Ανατολικός - Νοτιοανατολικός
SE	NA	Νοτιοανατολικός
SSE	NNA	Νότιος - Νοτιοανατολικός
S	N	Νότιος
SSW	NNΔ	Νότιος - Νοτιοδυτικός
SW	ΝΔ	Νοτιοδυτικός
WSW	ΔΝΔ	Δυτικός - Νοτιοδυτικός
W	Δ	Δυτικός
WNW	ΔΒΔ	Δυτικός - Βορειοδυτικός
NW	ΒΔ	Βορειοδυτικός
NNW	BΒΔ	Βόρειος - Βορειοδυτικός

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Πιθανά Σχήματα Αιωρούμενων Σωματιδίων.	4
Σχήμα 2.2: Διεργασίες στις οποίες υπόκεινται τα ατμοσφαιρικά σωματίδια.	5
Σχήμα 2.3: Κατανομή της επιφάνειας των σωματιδίων ανάλογα με το μέγεθος τους καθώς και οι κύριες διεργασίες σχηματισμού, συσσωμάτωσης και απόθεσης τους.	6
Σχήμα 2.4: Κατανομή των σωματιδίων σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα ανάλογα με το μέγεθος τους.	7
Σχήμα 2.5: Επίδραση των ηφαιστειακών εκρήξεων στη στρατοσφαιρική χημεία.	9
Σχήμα 2.6: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής της Αττικής και του λεκανοπεδίου.	14
Σχήμα 2.7: Επίπεδα Συγκέντρωσης στη Δυτική Αττική και στην Περιοχή του Πειραιά.	20
Σχήμα 2.8: Επίπεδα Συγκέντρωσης στην Ανατολική Αττική.	20
Σχήμα 2.9: Επίπεδα Συγκέντρωσης στον Κεντρικό Τομέα Αττικής.	21
Σχήμα 2.10: Επίπεδα Συγκέντρωσης στον Βόρειο Τομέα Αττικής.	21
Σχήμα 3.1: Τα σημεία δειγματοληψίας της παρούσας πειραματικής μελέτης.	24
Σχήμα 3.2: Παρουσίαση της Περιοχής Π1 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας.	25
Σχήμα 3.3: Παρουσίαση της Περιοχής Π2 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας.	26
Σχήμα 3.4: Παρουσίαση της Περιοχής Π3 με τους Κύκλους Ακτίνας 300m και 400m από το Σημείο Δειγματοληψίας.	27
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα Μηνιαίας Διακύμανσης των Μέσων Συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των Κλασμάτων $\text{PM}_{2.5}$, PM_1 και του Λόγου $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ στις Περιοχές Δειγματοληψίας.	33
Σχήμα 4.2: Ποσοστό υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια Κατά τις Ημέρες Δειγματοληψίας α) Στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας β) Κατά τις Ημέρες Χωρίς την Εμφάνιση Επεισοδίων Σκόνης γ) Κατά τις Ημέρες Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	34
Σχήμα 4.3: Συνολική Διακύμανση Μέσης Τιμής Συγκεντρώσεων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των Κλασμάτων $\text{PM}_{2.5}$, PM_1 και του Λόγου $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ στις Περιοχές Δειγματοληψίας.	35
Σχήμα 4.4: Διάγραμμα Συσχέτισης του Κλάσματος $\text{PM}_{2.5}$ Ανάμεσα στις Περιοχές Π1-Π2 (Σχήμα 4.5 α), Π1-Π3 (Σχήμα 4.5 β) και Π2-Π3 (Σχήμα 4.5 γ).	36
Σχήμα 4.5: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 4.6 α), β), PM_1 (Σχήμα 4.6 γ) και του λόγου $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 4.6 δ) Μεταξύ Καθημερινών- Σαββατοκύριακων για τις Περιοχές Δειγματοληψίας.	38
Σχήμα 4.6: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Κλάσματα $\text{PM}_{2.5}$ και PM_1 της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας.	40
Σχήμα 4.7: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των $\text{PM}_{2.5}$ της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας.	39
Σχήμα 4.8: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 4.8 α, β), PM_1 (Σχήμα 4.8 γ) αλλά και του λόγου $\text{PM}_1/\text{PM}_{2.5}$ (Σχήμα 4.8 δ) Μεταξύ Καθημερινών- Σαββατοκύριακων για τις Περιοχές Δειγματοληψίας για τις Ημέρες Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	42
Σχήμα 4.9: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Κλάσματα $\text{PM}_{2.5}$ και PM_1 της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	44
Σχήμα 4.10: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των $\text{PM}_{2.5}$ της Ημέρες των Καθημερινών και Σαββατοκύριακων στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Εμφάνισης Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	44
Σχήμα 4.11: Ποσοστό Συμμετοχής της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων.	47
Σχήμα 4.12: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Ανέμων Κατά τη Διάρκεια της Περιόδου Δειγματοληψίας.	51
Σχήμα 4.13: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.13 α), $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ (Σχήμα 4.13 β) και του	

Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.13 γ) Ανάμεσα σε Καθημερινές-Σαββατοκύριακα τους Σταθμούς Δειγματοληψίας.....	54
Σχήμα 4.14: Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά α) στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ και β) στο Κλάσμα PM_1	55
Σχήμα 4.15: Ποσοστό Συμμετοχής της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	59
Σχήμα 4.16: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Ανέμων κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης στην Περίοδο Δειγματοληψίας.....	59
Σχήμα 4.17: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.23 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.23 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.23 γ) Ανάμεσα σε Καθημερινές-Σαββατοκύριακα τους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	62
Σχήμα 4.18: Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.18 α) και PM_1 (Σχήμα 4.18 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	61
Σχήμα 4.19: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.19 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.19 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.19 γ).....	64
Σχήμα 4.20: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.20 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.20 β).....	65
Σχήμα 4.21: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Ανάλογα με τη Συνιστώσα του Ανέμου στα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.21 α) και στα PM_1 (Σχήμα 4.21 β).....	66
Σχήμα 4.22: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.22 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.22 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.22 γ).....	67
Σχήμα 4.23: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.23 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.23 β).....	68
Σχήμα 4.24: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.24 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.24 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.24 γ).....	69
Σχήμα 4.25: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.25 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.25 β).....	70
Σχήμα 4.26: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Επιφανειακών Ανέμων (Α: Αδιατάραχτη Θαλάσσια Αύρα, Β: Αλληλεπίδραση Θαλάσσιας Αύρας με Βόρειο Άνεμο, C: Βόρειος Άνεμος, D: Νότιος Άνεμος, F: Δυτικός Άνεμος) στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας.....	70
Σχήμα 4.27: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.72 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.72 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.72 γ).....	72
Σχήμα 4.28: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.28 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.28 β).....	71
Σχήμα 4.29: Διάγραμμα Συσχέτισης της Μάζας των Αερολυμάτων Αναφορικά με το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Ανάλογα με τον Επιφανειακό Άνεμο που Επικρατεί.....	74
Σχήμα 4.31: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.31 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.31 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	75
Σχήμα 4.30: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.30 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.30 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.30 γ) κατά τη Διάρκεια	

Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης	76
Σχήμα 4.32: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Ανάλογα με τη Συνιστώσα του Ανέμου στα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.32 α) και στα PM_1 (Σχήμα 4.32 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	77
Σχήμα 4.34: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.34 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.34β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	79
Σχήμα 4.33: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.33 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.33 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.33 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	78
Σχήμα 4.36: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 4.36 α) και των PM_1 (Σχήμα 4.36 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης..	79
Σχήμα 4.35: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.35 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.35 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.35 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης	80
Σχήμα 4.38: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ και των PM_1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	81
Σχήμα 4.37: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.37 α), Σταθμό Π2 (Σχήμα 4.37 β) και στο Σταθμό Π3 (Σχήμα 4.37 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	82
Σχήμα 4.39: Διάγραμμα Συσχέτισης της Μάζας των Αερολυμάτων Αναφορικά με το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Ανάλογα με τον Επιφανειακό Άνεμο που Επικρατεί κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	83
Σχήμα 4.40: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου..	86
Σχήμα 4.41: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.41 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4. 41 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Ώξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4. 41 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου.....	87
Σχήμα 4.42: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1	88
Σχήμα 4.43: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$	88
Σχήμα 4.44: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$	89
Σχήμα 4.45: Radarchart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα PM_1	89
Σχήμα 4.46: Radarchart των Τιμών του Δείκτη OC/EC Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2.....	90
Σχήμα 4.47: Radarchart των Τιμών του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2.....	90
Σχήμα 4.48: Radarchart των της Επικράτησης του Ώξινου Χαρακτήρα (%) Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 και Π2.	91
Σχήμα 4.49: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της	

Θερμοκρασίας.....	91
Σχήμα 4.50: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.50 α) και του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.50 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας.....	93
Σχήμα 4.51: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας.....	94
Σχήμα 4.52: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.52 α) και του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.52 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας.....	95
Σχήμα 4.53: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου.....	96
Σχήμα 4.54: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.54 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.54 β) και του Ποσοστού επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.54 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου.....	97
Σχήμα 4.56: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων EC (Σχήμα 4.56 α), NO_3^- (Σχήμα 4.56 β-γ) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.56 δ-ζ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Β, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$	99
Σχήμα 4.55: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων OC (Σχήμα 4.55 α) EC (Σχήμα 4.55 β), NO_3^- (Σχήμα 4.55 γ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου C, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$	98
Σχήμα 4.57: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	101
Σχήμα 4.58: Διακύμανση του Λόγου OC/EC (Σχήμα 4.58 α) και του λόγου NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.58 β) σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	102
Σχήμα 4.59: Radar chart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	104
Σχήμα 4.60: Radar chart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π2 στα $PM_{2.5}$ κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	104
Σχήμα 4.61: Radar chart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	105
Σχήμα 4.61: Radar chart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα $PM_{2.5}$ κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	105
Σχήμα 4.63: Radar chart Μέσων Συγκεντρώσεων του OC , SO_4^{2-} και NO_3^- Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π3 στα PM_1 κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	106
Σχήμα 4.64: Radar chart των Τιμών του Δείκτη OC/EC Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.64 α), Π2 (Σχήμα 4.64 β) και Π3 (Σχήμα 4.64 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	106
Σχήμα 4.65: Radar chart των Τιμών του Δείκτη NO_3^-/SO_4^{2-} Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.65 α), Π2 (Σχήμα 4.65 β) και Π3 (Σχήμα 4.65 γ) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	107
Σχήμα 4.66: Radar chart των Τιμών της Επικράτησης του Όξινου Χαρακτήρα (%) Ανάλογα με τη Διεύθυνση του Ανέμου στο Σταθμό Π1 (Σχήμα 4.66 α), Π2 (Σχήμα 4.66 β) και Π3 (Σχήμα 4.66 γ) κατά τη	

Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	107
Σχήμα 4.67: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	108
Σχήμα 4.68: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	109
Σχήμα 4.69: Διακύμανση του Λόγου OC/EC σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας (Σχήμα 4.69 α) και της σχετικής Υγρασίας (Σχήμα 4.69 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	110
Σχήμα 4.70: Διακύμανση του Λόγου NO_3^-/SO_4^{2-} σε Κάθε Σταθμό Δειγματοληψίας Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας (Σχήμα 4.70 α) και της σχετικής Υγρασίας (Σχήμα 4.70 β) κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	110
Σχήμα 4.71: Ποσοστιαία Συμμετοχή της Κάθε Χημικής Ένωσης στη Μάζα των Αερολυμάτων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας Σχετικά με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	111
Σχήμα 4.72: Διακύμανση των Λόγων OC/EC (Σχήμα 4.72 α), NO_3^-/SO_4^{2-} (Σχήμα 4.72 β) και του Ποσοστού Επικράτησης (%) του Όξινου Χαρακτήρα των Αερολυμάτων (Σχήμα 4.94 γ) Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	112
Σχήμα 4.73: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} (Σχήμα 4.73 α-γ) στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ και των χημικών Ενώσεων NO_3^- (Σχήμα 4.73 δ) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.73 ε) στο Κλάσμα των PM_1 κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Β, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	113
Σχήμα 4.74: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου D (Σχήμα 4.74 α) και F (Σχήμα 4.74 β), Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	114
Σχήμα 4.75: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων SO_4^{2-} κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου C, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	114
Σχήμα 4.76: Διάγραμμα Συσχέτισης των Χημικών Ενώσεων OC (Σχήμα 4.76 α), EC (Σχήμα 4.76 β) και SO_4^{2-} (Σχήμα 4.76 γ) κατά τη Διάρκεια Επιφανειακών Ανέμων Τύπου Α, Ανάμεσα στους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.	115
Σχήμα 5.1: Διαχρονική Εξέλιξη των Συγκεντρώσεων στους Σταθμούς Δειγματοληψίας σε Σχέση με Παλαιότερες Μελέτες στην Ίδια Περιοχή στο Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.1 α) και PM_1 (Σχήμα 5.1 β).	132
Σχήμα 5.2: Διαχρονική Εξέλιξη των Συγκεντρώσεων της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2 για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.2 α) και PM_1 (Σχήμα 5.2 β).....	132
Σχήμα 5.3: Διακύμανση του Λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.	133
Σχήμα 5.4: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Όρια της για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.4 α) και των PM_1 (Σχήμα 5.4 β) Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.	134
Σχήμα 5.5: Ποσοστό Υπερβάσεων (%) Πάνω από τα Θεσμοθετημένα Όρια της U.S.E.P.A. για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Αναφορικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.....	134
Σχήμα 5.6: Συγκριτικά Κυκλικά Διαγράμματα της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) (Σχήμα 5.6 α) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.6 β) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) (Σχήμα 5.6 γ) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.6 δ). .	135
Σχήμα 5.7: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης των Νιτρικών Ιόντων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.7 α) και για το Κλάσμα των PM_1	

Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.7 β).....	136
Σχήμα 5.8: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης των Θεϊκών Ιόντων για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.8 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.8 β).....	137
Σχήμα 5.9: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης του Λόγου OC/EC για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.9 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.9 β).....	137
Σχήμα 5.10: Συγκριτικό Διάγραμμα της Διακύμανσης του Λόγου OC/BC για το Κλάσμα των $PM_{2.5}$ Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013) (Σχήμα 5.10 α) και για το Κλάσμα των PM_1 Μεταξύ των Ίδιων Σταθμών (Σχήμα 5.10 β).....	138
Σχήμα 5.11: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου Καθημερινές/Σαββατοκύριακα για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.11 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.11 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	139
Σχήμα 5.12: Συγκριτικό Διάγραμμα Διακύμανσης της Μέσης Τιμής των Συγκεντρώσεων για την Κάθε Χημική Ένωση Ξεχωριστά στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.12 α, β) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.12 γ, δ) Μεταξύ του Σταθμού Π3 (2005) και Π3 (2013).....	141
Σχήμα 5.13: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.13 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.13 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	142
Σχήμα 5.14: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.14 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.14 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	142
Σχήμα 5.15: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.15 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.15 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	144
Σχήμα 5.16: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.16 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.16 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	144
Σχήμα 5.17: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.17 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.17 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	145
Σχήμα 5.18: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.18 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.18 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	145
Σχήμα 5.19: Ποσοστό Συχνότητας Εμφάνισης των Επιφανειακών Ανέμων στο Σύνολο των Ημερών Δειγματοληψίας του Πειράματος του 2008 για το Σταθμό Π2.....	143
Σχήμα 5.20: Διακύμανση των Μέσων Συγκεντρώσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.20 α) στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.20 β) και στο Λόγο $PM_1/PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.20 γ) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	147
Σχήμα 5.21: Διακύμανση Ποσοστού Υπερβάσεων των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.21 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.21 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	147
Σχήμα 5.22: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.22 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.22 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	148
Σχήμα 5.23: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Ταχύτητας του Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.23 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.23 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	149
Σχήμα 5.24: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.24 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.24 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	149
Σχήμα 5.25: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής	

Παραμέτρου της Θερμοκρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.25 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.25 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	151
Σχήμα 5.26: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.26 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.26 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)	150
Σχήμα 5.27: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου της Σχετικής Υγρασίας στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.27 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.27 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	151
Σχήμα 5.28: Διακύμανση του Λόγου OC/EC ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου των Επιφανειακών Ανέμων στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.28 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.28 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013)..	150
Σχήμα 5.29: Διακύμανση της Χημικής Σύστασης των Αερολυμάτων ανά Κατηγορία της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου στο Κλάσμα $PM_{2.5}$ (Σχήμα 5.29 α) και στο Κλάσμα PM_1 (Σχήμα 5.29 β) Μεταξύ του Σταθμού Π2 (2008) και Π2 (2013).....	152

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Δίκτυο Σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. στο Ευρύτερο Λεκανοπέδιο της Αττικής.....	17
Πίνακας 2.2: Ευρύτερο Δίκτυο Σταθμών Υ.Π.Ε.Κ.Α. στις Επαρχιακές Πόλεις.....	18
Πίνακας 2.3: Μέθοδος Μέτρησης Ρύπων στους Σταθμούς του Υ.Π.Ε.Κ.Α.....	16
Πίνακας 2.4: Αριθμηση Σχημάτων Διαφόρων Μελετών στο Χώρο του Λεκανοπέδιου Αττικής Σχετικά με τα Επίπεδα Συγκέντρωσης των Μετρούμενων Αερολυμάτων.....	19
Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά των Περιοχών Δειγματοληψίας.....	25
Πίνακας 3.2 : Εξοπλισμός Δειγματοληψίας ανά Περιοχή Μελέτης ..	28
Πίνακας 3.3: Μοτίβο Επιφανειακής Ροής Ανέμων και Αντίστοιχο Κωδικό τους Όνομα ...	30
Πίνακας 3.4: Κατηγοριοποίηση Μετεωρολογικών Παραμέτρων στη Διάρκεια της Δειγματοληπτικής Περίοδου.....	31
Πίνακας 4.1: Συνολική Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $PM_{2.5}$, PM_1 και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$	35
Πίνακας 4.2 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) Μεταξύ των Περιοχών Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1	37
Πίνακας 4.3: Συνολική Μέση Τιμή και Τυπική Απόκλιση των Συγκεντρώσεων των Κλασμάτων $PM_{2.5}$, PM_1 και του λόγου $PM_1/PM_{2.5}$ κατά τις Ημέρες Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης	41
Πίνακας 4.4 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) Μεταξύ των Περιοχών Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 , τις Ημέρες με Παρουσία Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	43
Πίνακας 4.5: Κατάταξη Μετρούμενων Χημικών Ενώσεων (Βάσει της Μέσης Τιμής Συγκέντρωσης) στα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 για τους Σταθμούς Δειγματοληψίας.....	46
Πίνακας 4.6: Συνολική Μέση Τιμή ,Τυπική Απόκλιση και Εύρος Τιμών για τις Μετρούμενες Χημικές Ενώσεις στις Περιοχές Δειγματοληψίας	48
Πίνακας 4.7 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Καθώς και Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) για τα Νιτρικά και Θεικά Ιόντα στις Περιοχές Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1	49
Πίνακας 4.8 : Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων στις Περιοχές Δειγματοληψίας για τα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1	50
Πίνακας 4.9 : Διάγραμμα Συσχέτισης (R) των Χημικών Ενώσεων ανά Σταθμό Δειγματοληψίας.....	52
Πίνακας 4.10: Υπολογισμός Μέσης, Μέγιστης και Ελάχιστης Τιμής, Τυπικής Απόκλισης και Ποσοστού Συμμετοχής στη Συνολική Μάζα των Σωματιδίων του Κατιόντος του Na^+	56
Πίνακας 4.11: Συνολική Μέση Τιμή ,Τυπική Απόκλιση και Εύρος Τιμών για τις Μετρούμενες Χημικές Ενώσεις στις Περιοχές Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης	57
Πίνακας 4.12: Κατάταξη Μετρούμενων Χημικών Ενώσεων (Βάσει της Μέσης Τιμής Συγκέντρωσης) στα Κλάσματα $PM_{2.5}$ και PM_1 για τους Σταθμούς Δειγματοληψίας κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	58
Πίνακας 4.13. : Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Καθώς και Συντελεστές Συσχέτισης (R) και Συντελεστές Διαφοροποίησης (COD) για τα Νιτρικά και Θεικά Ιόντα στις Περιοχές Δειγματοληψίας τις Ημέρες με Παρουσία Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης	60
Πίνακας 4.14: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων και της Ταχύτητας του Ανέμου για τους Τρεις Σταθμούς και τα Δύο Διαφορετικά Κλάσματα, Κατά τη Διάρκεια της Δειγματοληψίας	60
Πίνακας 4.15: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων και των Χημικών Ενώσεων OC , EC , NO_3^- και SO_4^{2-} Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου	100
Πίνακας 4.16: Συντελεστές Συσχέτισης (R) Μεταξύ της Μάζας των Αιωρούμενων Σωματιδίων και των Χημικών Ενώσεων OC , EC , NO_3^- και SO_4^{2-} Ανάλογα με την Κατηγοριοποίηση της Μετεωρολογικής Παραμέτρου του Επιφανειακού Ανέμου κατά τη Διάρκεια Επεισοδίων Μεταφοράς Σκόνης.....	116

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1: Συγκριτικός Πίνακας Συγκεντρώσεων (Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση, Μέγιστη Τιμή, Ελάχιστη Τιμή, Εύρος Τιμών) Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2 για τα Κλάσματα PM_{10} και $PM_{2.5}$ καθώς και το λόγο $PM_{10}/PM_{2.5}$	133
Πίνακας 5.2: Συγκριτικός Πίνακας Συντελεστών Συσχέτισης (R) Μεταξύ των Χημικών Ενώσεων και της Μάζας των Σωματιδίων Καθώς και του Οργανικού με το Στοιχειακό Άνθρακα Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.....	139
Πίνακας 5.3: Συντελεστές Συσχέτισης Μεταξύ της Μάζας των Αερολυμάτων και των Βασικών Μετεωρολογικών Παραμέτρων Σχετικά με το Πείραμα του 2008 και 2013 στο Σταθμό Π2.....	146
Πίνακας 5.4: Συντελεστές Συσχέτισης Μεταξύ της Μάζας των Αερολυμάτων και των Βασικών Μετεωρολογικών Παραμέτρων Σχετικά με το Πείραμα του 2005 και 2013 στο Σταθμό Π3.....	146