



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
Μ.Δ.Ε ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΜΑΤΕΛΟΠΟΥΛΟΥ ΑΣΗΜΙΝΑ

Α.Μ: 201022

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ $PM_{2.5}$
ΣΤΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δ.Ν ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Μ. ΣΑΝΤΑΜΟΥΡΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κ. ΧΕΛΜΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013

Λέξεις Κλειδιά

- PM_{10}
- $PM_{2.5}$
- PM_1
- Χημική σύσταση σωματιδίων
- Θνησιμότητα

Key Words

- PM_{10}
- $PM_{2.5}$
- PM_1
- Chemical constituents of aerosols
- Mortality

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	9
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	9
2.2 ΜΕΓΕΘΟΣ	10
2.3 ΠΗΓΕΣ.....	11
2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	13
2.4.1 Φυσικές Ιδιότητες.....	13
2.4.2 Χημικές Ιδιότητες- Χημική Σύσταση	14
2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	15
2.5.1 Γενικά	15
2.5.2. Χημικά στοιχεία	22
2.5.2.1 Στοιχειακός άνθρακας (EC).....	22
2.5.2.2 Οργανικός άνθρακας (OC).....	22
2.5.2.3 Θειικά ιόντα (SO_4^{2-}).....	23
2.5.2.4 Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)).....	23
2.5.2.5 Μόλυβδος, Αρσενικό, Κάδμιο και Νικέλιο.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	24
3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	24
3.1.1 Δείκτες Υγείας.....	24
3.1.2 Δείκτες Έκθεσης σε Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	24
3.1.3 Μετεωρολογικοί Δείκτες.....	29
3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ -ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΚΤΩΝ Ε.Κ.Π.Α	34
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	36
4.3 ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΚΕΙΝΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ.....	37
4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΙΚΤΩΝ	38

4.4.1. Περιγραφικά τελικών Δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	38
4.4.1.1 Μέγιστες και ελάχιστες συσχετίσεις μεταξύ των σταθμών κάθε δείκτη	40
4.4.1.2 Συσχετίσεις μεταξύ των Δεικτών ρύπανσης.....	40
4.4.2. Περιγραφικά Δεικτών Υγείας	41
4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΕΙΚΤΗ ΥΓΕΙΑΣ	43
4.5.1 Ολική Θνησιμότητα.....	43
4.5.2 Θνησιμότητα Ηλικιών Άνω Των 75	46
4.5.3 Θνησιμότητα Ηλικιών Κάτω Των 75	49
4.5.4 Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών.....	52
4.5.5 Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών Ηλικιών Άνω Των 75.....	54
4.5.6. Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών Ηλικιών Κάτω Των 75	56
4.5.8 Θνησιμότητα Λόγω Αναπνευστικών.....	58
4.5.9 Θνησιμότητα Λόγω Αναπνευστικών Ηλικιών Άνω Των 75	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	62
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΣΕΛΙΔΑ
2.1: Επιδράσεις στην υγεία ανάλογα με το μέγεθός των PM	18
2.2: Ευρωπαϊκή Ένωση, Οριακές τιμές συγκέντρωσης PM ₁₀	19,20
2.3: Ημερήσια επίπεδα συγκέντρωσης PM ₁₀ και PM _{2.5} , επιπτώσεις στην υγεία και προφυλάξεις	21
3.1: Σταθμοί δειγματοληψίας μετρήσεων Ε.Κ.Π.Α	26
3.2: Σταθμοί δειγματοληψίας μετρήσεων ΥΠΕΚΑ	28
4.1: Περιγραφικά στοιχεία της μέσης τιμής κάθε Δείκτη Ρύπανσης	34
4.2: Συσχετίσεις μεταξύ των PM κάθε σταθμού και του αντίστοιχου μέσου όρου	35
4.3: Συσχετίσεις μεταξύ των συστατικών των σωματιδίων κάθε σταθμού και του αντίστοιχου μέσου όρου	35
4.4: Δείκτες Ρύπανσης συναρτήσει της θερμοκρασίας (Temp_24h)	36
4.5: Δείκτες Ρύπανσης συναρτήσει του τετραγώνου της θερμοκρασίας (Temp_24h) ²	37
4.6: Συσχέτιση πραγματικών μετρήσεων με αυτές που προκύπτουν από την παλινδρόμηση για το ίδιο διάστημα (1/3/08-5/8/08)	38
4.7: Περιγραφικά στοιχεία τελικών δεικτών ρύπανσης	39
4.8: Συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών ρύπανσης	41
4.9: Περιγραφικά δεικτών υγείας	42
4.10: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια ολική θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του PM _{2.5} κατά 1 IQR.	44
4.11: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του PM _{2.5} κατά 1 IQR.	47

4.12: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια θνησιμότητα (για ηλικίες κάτω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR.	50
4.13: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR.	52
4.14: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR.	54
4.15: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για ηλικίες κάτω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR	56
4.16: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια αναπνευστική θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR	58
4.17: Ποσοστιαία Μεταβολή (και 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια αναπνευστική θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ	ΣΕΛΙΔΑ
4.1: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	45
4.2: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας άνω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	48
4.3: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας κάτω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	51
4.4: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	53
4.5: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας άνω των 745 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	55
4.6: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας κάτω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	57
4.7: Ποσοστό αύξησης της αναπνευστικής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του PM _{2.5} κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	59
4.8: Ποσοστό αύξησης της αναπνευστικής θνησιμότητας άνω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του PM _{2.5} κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ	ΣΕΛΙΔΑ
2.1: Μέγεθος PM	10
2.2: Διάμετρος σωματιδίων συναρτήσει της προέλευσής τους	12
2.3: Ικανότητα αναπνευστικής διείσδυσης σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων	16
3.1: Σταθμοί δειγματοληψίας ΕΚΠΑ	26,27
3.2: Σταθμοί Δειγματοληψίας ΥΠΕΚΑ	28
3.3 Σταθμοί Δειγματοληψίας ΕΚΠΑ- ΥΠΕΚΑ	29

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

	ΣΥΜΒΟΛΟ
Άζωτο	N
Αιωρούμενα σωματίδια	PM
Αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 1 μm	PM ₁
Αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm	PM ₁₀
Αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm	PM _{2.5}
Αιωρούμενα σωματίδια που η αεροδυναμική τους διάμετρος κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 10μm	PM _{2.5-10}
Αμμωνία	NH ₃
Αργίλιο	Al
Αρσενικό	As
Ασβέστιο	Ca
Βανάδιο	V
Βαρέα μέταλλα	HM
Βάριο	Ba
Βρώμιο	Br
Γάλλιο	Ga
Διοξείδιο του Αζώτου	NO ₂
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂
Διοξείδιο του θείου	SO ₂
Θάλλιο	Ti
Θειικό αμμώνιο	(NH ₄) ₂ SO ₄
Θειικά ιόντα	SO ₄ ⁻²
Θειικό οξύ	H ₂ SO ₄
Θείο	S
Ιόντα Αμμωνίου	NH ₄ ⁺
Ιρίδιο	Ir
Ιώδιο	I
Κάδμιο	Cd
Κάλιο	K
Κοβάλτιο	Co
Μαγγάνιο	Mn
Μαγνήσιο	Mg
Μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις	(NMVOCs)
Μόλυβδος	Pb

Μονοξείδιο του άνθρακα	CO
Νάτριο	Na
Νικέλιο	Ni
Όζον	O ₃
Οξειδία του Αζώτου	NO _x
Οξειδία του θείου	SO _x
Οργανικοί ρύποι	(POPs)
Οργανικός Άνθρακας	OC
Παλλάδιο	Pd
Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες	PAHs
Πυρίτιο	Si
Ρόδιο	Rh
Ρουβίδιο	Rb
Ρουθήνιο	Ru
Σελήνιο	Se
Σίδηρος	Fe
Στοιχειακός Άνθρακας	EC
Στρόντιο	Sr
Υδρογόνο	H
Φθόριο	F
Φώσφορος	P
Χαλκός	Cu
Χλώριο	Cl
Χρώμιο	Cr
Ψευδάργυρος	Zn

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης με τίτλο “ Φυσική Περιβάλλοντος και Μετεωρολογία ” του Τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με το Εργαστήριο Στατιστικής και Επιδημιολογίας της Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Με στόχο την διερεύνηση των προβλημάτων υγείας που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια και τα συστατικά τους στη δημόσια υγεία δημιουργήθηκαν και εφαρμόστηκαν μοντέλα ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους βοήθησαν προκειμένου να διεκπεραιωθεί η συγκεκριμένη εργασία:

Τον Καθηγητή κ. Δ.Ν. Ασημακόπουλο για τη διαμόρφωση του θέματος, την εμπιστοσύνη του, την ιδιαίτερα χρήσιμη καθοδήγησή του και την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθειά του.

Την κ. Κ. Κατσουγιάννη, καθηγήτρια Βιοστατιστικής και Επιδημιολογίας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών για την αρχική διαμόρφωση του θέματος της εργασίας και την καθοδήγησή της.

Την κ. Σ. Πατεράκη Δρ. Συνεργαζόμενη Ερευνήτρια στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών ΕΚΕΦΕ “Δημόκριτος”, για την παραχώρηση των μετρήσεων της που πραγματοποίησε κατά τη διάρκεια της διατριβής της, για την άψογη συνεργασία της, την πάντοτε άμεση και ουσιαστική βοήθειά της και τις εύστοχες διορθώσεις και επισημάνσεις της σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Την κ. Ε. Σαμόλη, Λέκτορα Επιδημιολογίας και Υγιεινής της Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών, για τη σημαντική βοήθειά της και την επίβλεψή της καθ’ όλη τη διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων και στη διαμόρφωση των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν.

Τον κ. Α. Αναλυτή και ολόκληρο το Εργαστήριο Επιδημιολογίας της Ιατρικής Σχολής για την συγκέντρωση των μετεωρολογικών δεδομένων από την ΕΜΥ και των δεικτών θνησιμότητας από την Στατιστική Υπηρεσία.

Σταματελοπούλου Ασημίνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρκετές επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει την ύπαρξη σύνδεσης μεταξύ της καθημερινής θνησιμότητας και των συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$. Σύμφωνα όμως με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, επιβεβλημένη είναι η ανάγκη να μελετηθεί ποια από τα συστατικά των σωματιδίων είναι τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η σύνδεση μεταξύ πρόσφατων μετρήσεων των $PM_{2.5}$ και των συστατικών τους για την ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου της Αττικής, και των καθημερινών δεικτών θνησιμότητας για το διάστημα 2007-2009.

Στοχεύοντας στη σύνδεση της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης με την ανθρώπινη υγεία, έγινε εφαρμογή γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson. Συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση ενός case-crossover, διερευνήθηκε η σχέση της συγκέντρωσης αλλά και των χημικών συστατικών των αερολυμάτων ($PM_{2.5}$) με την ολική, καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα.

Στην παρούσα ανάλυση χρονοσειρών των PM για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής, οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων καθώς και των συστατικών τους, συσχετίστηκαν ισχυρά με όλες τις κατηγορίες θνησιμότητας. Ο στοιχειακός άνθρακας φαίνεται να αποτελεί το πιο επικίνδυνο συστατικό των $PM_{2.5}$ επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την αναπνευστική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Στη σειρά επικινδυνότητας ακολουθούν τα θειικά ιόντα, τα ιόντα αμμωνίου και τα PM_1 .

ABSTRACT

Several epidemiologic studies provide evidence of an association between mortality and daily concentrations of $PM_{2.5}$. Little is known, however, about which components of the particulate mixture are most dangerous to human health. In this study we investigated the association between recent measurements of $PM_{2.5}$ mass and its components, and daily mortality in Athens between 2007 and 2009.

Aiming to connect the suspended particulate matter on human health, it has been applied generalized linear models Poisson. Specifically, using a case-crossover, the relation of concentration and the chemical constituents of the aerosols ($PM_{2.5}$) with total, cardiovascular and respiratory mortality was investigated.

In this analysis, time series of PM for the wider area of Athens, the concentrations of particles and their components, were correlated strongly with all categories of mortality. Elemental carbon seems to be the most dangerous component of $PM_{2.5}$, which heavily influences the respiratory and cardiovascular mortality. On the scales of dangerousness, sulphate, ammonium ions and PM_1 follow.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια ολοένα εντείνεται το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης, ειδικά στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις, που έκανε την εμφάνισή του με την εκβιομηχάνιση της Βόρειας Ευρώπης και Βόρειας Αμερικής. Αρχικά, η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέθηκε με αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και το περιβάλλον, έπειτα όμως αναγνωρίστηκαν οι επιβλαβείς επιδράσεις της στον άνθρωπο, και πλέον, αποτελεί πρόβλημα δημόσιας υγείας τόσο στην Ελλάδα, όσο και παγκοσμίως.

Οι σημαντικότεροι ρύποι είναι το διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα (CO_2 , CO), το διοξείδιο του θείου (SO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), οι μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις (NMVOCs), η αμμωνία (NH_3), οι οργανικοί ρύποι (POPs), τα βαρέα μέταλλα (HM) και τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter (PM)). Οι εκπομπές τους είναι αποτέλεσμα είτε ανθρωπογενών είτε φυσικών διεργασιών και προκαλούν τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες επιδράσεις στο περιβάλλον όπως υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, αύξηση της οξύτητας των υδάτινων αποδεκτών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα, αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μέσω της εντατικοποίησης του φαινομένου του θερμοκηπίου και έκθεση του ανθρώπου σε επικίνδυνες χημικές ενώσεις.

Τα αιωρούμενα σωματίδια θεωρούνται οι πιο σημαντικοί ρύποι των σύγχρονων μεγαλουπόλεων καθώς σημαντικό ποσοστό των αστικών πληθυσμών εκτίθεται σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις οριακές τιμές συγκέντρωσης που έχουν θεσπιστεί τόσο από την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (U.S.E.P.A.). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας και πλήθος επιδημιολογικών μελετών ανά τον κόσμο υποδεικνύουν την άμεση σχέση των συγκεκριμένων ρύπων με την ανθρώπινη υγεία, καθώς περιέχουν πλήθος όξινων και τοξικών ενώσεων. Για το

λόγο αυτό, ολοένα και περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες έχουν αντικείμενο διερεύνησης τη συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με την ανθρώπινη υγεία.

Τονίζεται ότι το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι εντονότερο στις ανεπτυγμένες χώρες όπου η βιομηχανία είναι αναπτυγμένη και η κυκλοφορία των οχημάτων έντονη. Στη Μασαχουσέτη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Η.Π.Α.) διαπιστώθηκε ότι στις περιοχές από τις οποίες διέρχονταν κεντρικές αρτηρίες, ο αριθμός των αερολυμάτων που προέρχονταν από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα ήταν μεγαλύτερος από τις περιοχές τις οποίες δεν διέσχιζαν εθνικές οδοί. Διαπιστώθηκε επίσης ότι τα επεισόδια άσθματος καθώς και ο αριθμός των καρκίνων του πνεύμονα ήταν μεγαλύτερος στις πόλεις με έντονη κυκλοφορία (McEntee et al., 2008).

Ερευνητές (Atkinson, 2001) μελέτησαν τις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις στην υγεία οφειλόμενες στα σωματίδια σε 8 Ευρωπαϊκές πόλεις. Σε κάθε περιοχή διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων των PM_{10} και του μαύρου καπνού με τις έκτατες εισαγωγές στα νοσοκομεία που οφείλονταν στο άσθμα (ηλικίες: 0-14 και 15-64), στη χρόνια αποφρακτική πνευμονική νόσο (Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)) και σε άλλες αναπνευστικές νόσους (ηλικίες άνω των 65). Τα αποτελέσματα λόγω της αύξησης των PM_{10} ήταν: αύξηση άσθματος στις ηλικίες 0-14 σε ποσοστό 1.2%, αύξηση άσθματος στις ηλικίες 15-64 σε ποσοστό 1.1% καθώς και αύξηση της COPD και άλλων αναπνευστικών παθήσεων στις ηλικίες άνω των 65 ετών σε ποσοστό 1%. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τον μαύρο καπνό ήταν μικρότερα και λιγότερο ακριβή. Σημειώνεται ότι για ηλικίες άνω των 65 ετών, οι εκτιμήσεις για τα PM_{10} συσχετίστηκαν θετικά με τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις όζοντος στις πόλεις.

Σε αντίθεση με τους επιδημιολογικούς δείκτες που παρουσιάζουν εξαιρετικά μικρή χωρική διακύμανση, οι Harrison and Yin, 2000 κατέγραψαν μεγάλη χωρική διακύμανση των συγκεντρώσεων των PM_{10} και των $PM_{2.5}$ και εξίσου σημαντική γεωγραφική διαφοροποίηση της χημικής τους σύστασης. Άλλοι ερευνητές (Dagher, et al., 2006) έδειξαν ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε $PM_{2.5}$ είναι υπεύθυνη για πρόκληση οξειδωτικού στρες και φλεγμονών σε ανθρώπινα επιθηλιακά κύτταρα του πνεύμονα (L132). Ως εκ τούτου, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικών των αιωρούμενων σωματιδίων. Βρέθηκε ότι το 92.15% των

σωματιδίων ήταν ίσα ή μικρότερα από 2.5 μ m και η ειδική επιφάνεια τους ήταν 1 m²/g. Τα αερολύματα βρέθηκαν να συνίστανται τόσο από ανόργανες (Fe, Al, Ca, Na, K, Mg, Pb, κτλ.) όσο και από οργανικές (πχ: πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες) ενώσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι ένα μεγάλο μέρος από αυτά, προέρχονται από σκόνη μεταφερόμενη από πολύπλοκες βιομηχανικές διεργασίες και την κυκλοφορία οχημάτων.

Η σχέση μεταξύ αιωρούμενων σωματιδίων και καρδιακών παθήσεων επιβεβαιώθηκε στα μέσα της δεκαετίας του ενενήντα, όταν επιδημιολογικές μελέτες συνέδεσαν την ατμοσφαιρική ρύπανση με τις εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων (Seaton et al., 1995). Σήμερα, έρευνες έχουν συνδέσει την ημερήσια μεταβολή στη συγκέντρωση των σωματιδίων και την καρδιαγγειακή θνησιμότητα, τις εισαγωγές σε νοσοκομεία, την επιδείνωση κατάστασης των ατόμων που πάσχουν από καρδιαγγειακή νόσο καθώς και τα προβλήματα που παρουσιάζονται σε υγιή άτομα. Επιπλέον, βρέθηκαν στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η μέση ετήσια έκθεση σε PM_{2.5} σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας από ισχαιμική καρδιοπάθεια και αρρυθμία (Annette Peters, 2005).

Οι Polichetti et al., 2009 διερεύνησαν την πιθανή σχέση μεταξύ βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιδράσεων της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια και εμφάνισης καρδιαγγειακών νόσων καθώς και τους πιθανούς μοριακούς μηχανισμούς με τους οποίους τα PM εμποδίζουν την ανάπτυξη αυτών. Η ανάλυση αποτελεσμάτων υπέδειξε ότι οι δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία εξαρτώνται όχι μόνο από τα επίπεδα συγκέντρωσής τους αλλά και από τις χημικές ενώσεις από τις οποίες αποτελούνται.

Η συμβολή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών και καρδιακών παθήσεων, είναι ένα βασικό στοιχείο για τη σύνδεση της υγείας με την ποιότητα του αέρα. Το διάστημα (1992-2000) διερευνήθηκε (Kassomenos, et al., 2008) η σχέση μεταξύ των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των εκάστοτε μετεωρολογικών συνθηκών και των εισαγωγών σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών και καρδιακών προβλημάτων στην Αθήνα. Οι συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων προέκυψαν μέσω στατιστικών αναλύσεων και χρήσης νευρωνικών δικτύων. Καθοριστική παράμετρος για τις εισαγωγές στα νοσοκομεία αποδείχθηκε η συγκέντρωση των σωματιδίων.

Συγκεκριμένα, μια αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων (O_3 , CO , NO_2 , SO_2) κατά $10 \mu g/m^3$ οδηγεί σε αύξηση 10.2% των εισαγωγών.

Έρευνα που έγινε στη Μαδρίτη (C. Linares and J. Diaz, 2010) την περίοδο 2003-2005 είχε σκοπό να διερευνήσει τη σχέση της καθημερινής μέσης συγκέντρωσης των λεπτόκοκκων σωματιδίων ($PM_{2.5}$) με εισαγωγές ηλικιωμένων άνω των 75 ετών σε νοσοκομεία λόγω προβλημάτων που σχετίζονταν με το κυκλοφορικό και το αναπνευστικό σύστημα. Τελικά, η συσχέτιση των $PM_{2.5}$ με εισαγωγές ηλικιωμένων σε νοσοκομεία για όλη την περίοδο της μελέτης αποδείχτηκε στατιστικά σημαντική.

Ο ρόλος των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία και πιο συγκεκριμένα στη θνησιμότητα διερευνήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού πολυκεντρικού προγράμματος APHEA-2 (Air Pollution and Health: a European approach) από τους Katsougianni, et al., 2001. Η συλλογή δεδομένων ήταν καθημερινή και αφορούσε αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από $10 \mu m$ (PM_{10}) και μαύρο καπνό σε 29 ευρωπαϊκές πόλεις. Διερευνήθηκαν οι μετεωρολογικές και χρονικές μεταβλητές καθώς και η επίδραση συγχυτικών παραγόντων προερχόμενων από άλλους ρύπους. Λήφθηκαν υπόψη μεταβλητές που περιγράφουν τη ρύπανση των πόλεων, το κλίμα, τον πληθυσμό και τη γεωγραφία ως πιθανές αιτίες τροποποίησης των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για κάθε πόλη, εφαρμόστηκαν μοντέλα παλινδρόμησης Poisson. Η εκτιμώμενη αύξηση του ημερησίου αριθμού των θανάτων για όλες τις ηλικίες για μια αύξηση $10 \mu g/m^3$ της συγκέντρωσης των PM_{10} ή του μαύρου καπνού ήταν 0.6%, ενώ για τους ηλικιωμένους ήταν ελαφρώς υψηλότερη.

Η συσχέτιση αέριας ρύπανσης, ημερήσιας θνησιμότητας και εισαγωγών στα νοσοκομεία έχει μελετηθεί στην Ευρώπη κυρίως μέσω του APHEA. Οι Le Tertre A., et al. (2006), διερεύνησαν τη σχέση εισαγωγών σε νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων, με τη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα. Λήφθηκαν υπόψη όλες οι ηλικίες καθώς και οι ηλικίες άνω των 65 για εισαγωγές λόγω ισχαιμικής καρδιοπάθειας και εγκεφαλικών. Βρέθηκε ότι οι επιδράσεις της σωματιδιακής ρύπανσης στα καρδιακά προβλήματα είναι πιθανό να οφείλονται

κυρίως στα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Για τις εισαγωγές στα νοσοκομεία μελετήθηκαν μόνο οι αναπνευστικές παθήσεις.

Η βραχυπρόθεσμη επίδραση της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην υγεία του πληθυσμού των αστικών κέντρων αποτέλεσε το αντικείμενο της πρόσφατης μελέτης των Samoli, et al., 2011. Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η επίδραση της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο $< 10\mu\text{m}$ (PM_{10}) στην ολική θνησιμότητα και σε επιμέρους κατηγορίες αυτής, κατά τη διάρκεια ημερών με ή χωρίς μεταφορά σκόνης, κατηγοριοποιώντας τον πληθυσμό ως προς το φύλο και την ηλικία. Τα δεδομένα τόσο για την ποιότητα του αέρα όσο και για τη θνησιμότητα κατά το διάστημα 2001-2006 στην Αθήνα ήταν καθημερινά. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι περισσότερο πλήττονται οι ηλικίες άνω των 75 ετών και ότι η μεταφορά της σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζει κυρίως την αναπνευστική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα.

Αν και η σωματιδιακή ρύπανση επιδεινώνει αποδεδειγμένα τα αλλεργικά συμπτώματα των βλεννογόνων προκαλώντας ρινίτιδες και άσθμα, οι επιδράσεις τις στην επιδερμίδα όπως η ατοπική δερματίτιδα στην παιδική ηλικία, χρήζουν περεταίρω διερεύνησης. Προκειμένου να μελετηθούν οι επιδράσεις των PM_1 και $\text{PM}_{2.5}$ στα παιδιά με ατοπική δερματίτιδα, πραγματοποιήθηκε έρευνα (Sangwan et al., 2011) όπου μετρήθηκαν τα λεπτόκοκκα και υπέρλεπτα σωματίδια σε ένα σχολείο στην Κορέα για 67 συνεχόμενες ημέρες και παράλληλα καταγράφονταν τα συμπτώματα των παιδιών. Τελικά, βρέθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των συγκεντρώσεων των υπέρλεπτων σωματιδίων και των συμπτωμάτων φαγούρας σε παιδιά με ατοπική δερματίτιδα.

Ενώ επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποδείξει τις δυσμενείς επιδράσεις των αιωρουμένων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία, ο μηχανισμός που τα καθιστά ιδιαίτερα επικίνδυνα παραμένει ακόμα ασαφής. Ένα βασικό ζήτημα είναι αν η τοξικότητα των σωματιδίων βρίσκεται σε κάποιο συγκεκριμένο κομμάτι τους όπως αυτό ορίζεται από το μέγεθος και τη χημική τους σύσταση.

Οι Atkinson et. al, 2010 μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης των αερολυμάτων και του ημερήσιου αριθμού θανάτων και εισαγωγών στο νοσοκομείο στην περιοχή του Λονδίνου. Βασίστηκαν σε μετρήσεις για PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ καθώς και για τα συστατικά: άνθρακα, χλώριο, θειικά και νιτρικά ιόντα των σωματιδίων, για το

διάστημα 2000-2005 που προέρχονταν από έναν μόνο σταθμό στο κέντρο του Λονδίνου. Βρήκαν συσχέτιση μεταξύ της ημερήσιας συγκέντρωσης των σωματιδίων, της ημερήσιας θνησιμότητας και των εισαγωγών στα νοσοκομεία. Αυξήσεις στη συγκέντρωση των σωματιδίων συσχετίστηκαν με αύξηση κατά 2.2% της καρδιαγγειακής θνησιμότητας και 0.6% των εισαγωγών στο νοσοκομείο. Τα $PM_{2.5}$, τα θειικά και τα νιτρικά ιόντα, βρέθηκαν να έχουν σημαντικότερη επίδραση στις αναπνευστικές παθήσεις.

Ομάδα ερευνητών (Ostro et. Al, 2006) κατά το διάστημα 2000-2003 συνέλεξε δεδομένα θνησιμότητας και συγκεντρώσεων για $PM_{2.5}$ και στοιχεία όπως οργανικό και στοιχειακό άνθρακα, βαρέα μέταλλα, νιτρικά και θειικά ιόντα, σε έξι πολιτείες της Καλιφόρνιας. Μελετήθηκε η σχέση των $PM_{2.5}$ και των συστατικών τους, με την ολική, καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα. Η ανάλυση που ακολούθησε υπέδειξε άμεση σχέση της συγκέντρωσης των αερολυμάτων και των συστατικών τους με αρκετές κατηγορίες θνησιμότητας και ιδιαίτερα με την καρδιαγγειακή. Ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ θνησιμότητας και ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των θειικών ιόντων και των βαρέων μετάλλων, παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου.

Σκοπός της Εργασίας

Έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες μελέτες σχετικά με τα προβλήματα υγείας που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια στην υγεία του ανθρώπου. Ειδικότερα όσον αφορά τα PM_{10} , τα συμπεράσματα είναι περισσότερα και πιο ασφαλή αφού υπάρχουν πολλές μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις τους και έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Αμερική (Dagher, et al., 2006). Τα $PM_{2.5}$ έχουν κυρίως μελετηθεί στην Αμερική (Ostro et al. 2006). Όσον αφορά τα ακόμη μικρότερα σωματίδια (PM_1) οι πληροφορίες για τις συγκεντρώσεις τους είναι εξαιρετικά περιορισμένες και η παρούσα εργασία είναι η μοναδική που εξετάζει τα προβλήματα υγείας που συνδέονται με αυξημένες συγκεντρώσεις των PM_1 .

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία ανάλογα με τη χημική σύσταση των σωματιδίων, έχει πραγματοποιηθεί μια μόνο έρευνα στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην πόλη του Λονδίνου (Atkinson et. al, 2010) και άλλη μια στην Αμερική για έξι πολιτείες του Καναδά (Ostro, et. al, 2006).

Στην παρούσα εργασία, μελετώνται για πρώτη φορά οι επιδράσεις των αιωρουμένων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου, σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση για την περιοχή της Αττικής. Στόχος είναι για το διάστημα 2007-2009, να διερευνηθεί ποια από τα συστατικά που απαρτίζουν τα σωματίδια είναι τα πιο επικίνδυνα και με ποιες κατηγορίες θνησιμότητας σχετίζεται περισσότερο το καθένα. Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιούνται μετρήσεις από διαφορετικές περιοχές της Αττικής για τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων και για ορισμένα συστατικά τους, που θα συσχετιστούν με δείκτες θνησιμότητας.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Στατιστικής και Επιδημιολογίας της Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών, το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος και το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται στα εξής κεφάλαια:

- Κεφάλαιο 2: Παρατίθενται θεωρητικά στοιχεία αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, τις χημικές ενώσεις/στοιχεία που περιέχονται στη μάζα αυτών και τα προβλήματα υγείας με τα οποία συνδέονται.
- Κεφάλαιο 3: Περιγράφεται το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- Κεφάλαιο 4: Γίνεται η παράθεση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων που έδωσαν τα μοντέλα .
- Κεφάλαιο 5: Συνοψίζονται τα συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.
- Κεφάλαιο 6: Παρατίθεται η βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο όρος αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, PM) περιλαμβάνει κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Τα PM παρουσιάζουν μεγάλο εύρος μεγεθών και συνίστανται από πολλές και διαφορετικές χημικές ενώσεις/στοιχεία. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα και καθίστανται ορατά με τη μορφή καπνού, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που γίνονται αντιληπτά μονάχα με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Το μέγεθος, η συγκέντρωσή, η χημική τους σύσταση αλλά και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των αερολυμάτων ποικίλλουν ανάλογα με τις πηγές, τις μετεωρολογικές συνθήκες και την τοπογραφία της περιοχής (Finlayson and Pitts, 2001).

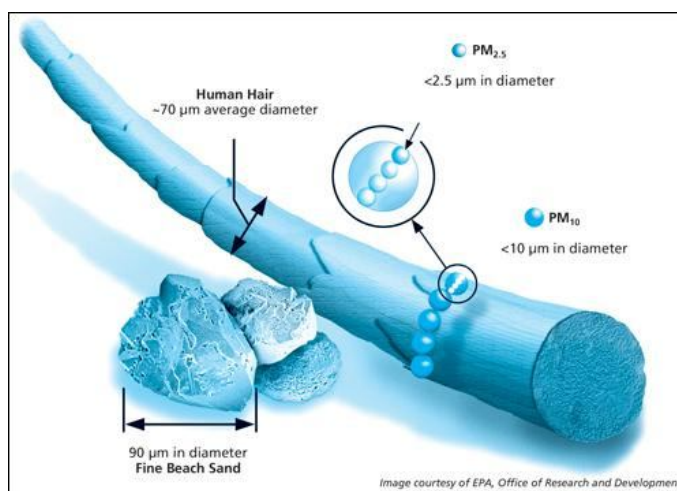
Μέσω των φυσικο-χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, τα αερολύματα υφίστανται μεταβολές ως προς τη χημική τους σύσταση και το μέγεθός τους. Σε αυτές τις αλλαγές περιλαμβάνονται η πυρηνοποίηση, η συμπύκνωση, η εξάτμιση, η συσσωμάτωση, η κατακάθιση καθώς και η συμμετοχή σε χημικές αντιδράσεις. Τα σωματιδιακά κλάσματα, αποτελούνται από πολλές ενώσεις όπως μέταλλα, ιόντα, άνθρακα και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Ορισμένα από αυτά τα συστατικά είναι ιδιαίτερα τοξικά με αποτέλεσμα να καθίστανται εξαιρετικά επικίνδυνα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. (Ατμοσφαιρική Φυσική και Χημεία, Δεληγιώργη, 2010).

2.2 ΜΕΓΕΘΟΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέγεθός τους, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο αφενός στο χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα και τη μεταφορά τους σε μακρινές αποστάσεις, και αφετέρου στη διείσδυση και την απόθεσή τους στο αναπνευστικό σύστημα. Το μέγεθος των αερολυμάτων εκφράζεται με την αεροδυναμική διάμετρο. Η αεροδυναμική διάμετρος αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο μοναδιαίας πυκνότητας του οποίου η τελική ταχύτητα κατακρήμνισης έχει την ίδια τιμή με αυτή της ταχύτητας του πραγματικού σωματιδίου. Τα αιωρούμενα σωματίδια λοιπόν διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. **PM₁₀**: Με διάμετρο μικρότερη ή ίση με 10 μm .
2. **PM_{2.5-10}**: Λέγονται χονδρόκοκκα σωματίδια (coarse particles). Η διάμετρός τους κυμαίνεται μεταξύ 2.5 και 10 μm .
3. **PM_{2.5}**: Λέγονται λεπτόκοκκα σωματίδια (fine particles). Η διάμετρός τους είναι μικρότερη ή ίση με 2.5 μm .
4. **PM₁**: Είναι τα υπέρλεπτα (ultra fine particles). Έχουν διάμετρο μικρότερη ή ίση με 1 μm .

Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η τάξη μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων, αναφέρεται ότι ένα σωματίδιο διαμέτρου 10 μm ισοδυναμεί περίπου με το 1/7 σε πλάτος μιας ανθρώπινης τρίχας (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Μέγεθος PM

Το εύρος μεγέθους των αερολυμάτων κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα μέχρι αρκετά μικρόμετρα και αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό τους. Για παράδειγμα, σωματίδια που προέρχονται από μηχανές εσωτερικής καύσης (π.χ. αυτοκίνητα, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας) έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 0.003 έως 1 μm , ενώ εκείνα που προέρχονται από τη γύρη από τα λουλούδια, τα δέντρα και τη σκόνη από το έδαφος, έχουν κατά κανόνα αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη των 2 μm . Επίσης, σωματίδια που προέρχονται από την καύση άνθρακα έχουν μέγεθος μεταξύ 0.1 και 50 μm .

Ο χρόνος ζωής των αιωρουμένων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα κυμαίνεται από λίγες ημέρες (για σωματίδια μεγάλου μεγέθους $>2\mu\text{m}$) έως και εβδομάδες (για σωματίδια μικρού μεγέθους $<2\mu\text{m}$) (EPA,1996).

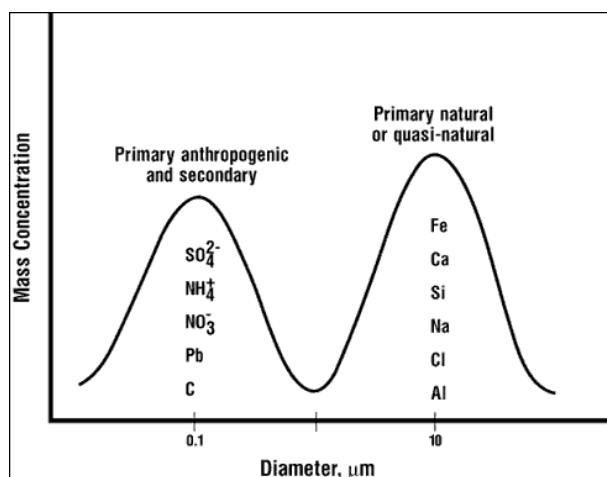
2.3 ΠΗΓΕΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να προκύψουν στην ατμόσφαιρα είτε πρωτογενώς είτε δευτερογενώς. Προέρχονται δηλαδή είτε από απευθείας εκπομπή από την πηγή (καυσαέρια αυτοκινήτων, εδαφική σκόνη, βιομηχανία, οικοδομικές κατασκευές κ.τ.λ.), είτε προκύπτουν ύστερα από χημική αντίδραση αερίων (οξειδωση των SO_x , NO_x κ.τ.λ.) που προέρχονται από καύση με τον ήλιο και τους υδρατμούς του νερού.

Επιπλέον, οι πηγές των αερολυμάτων διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

- Παραδείγματα **φυσικών πηγών**:
 - ✓ Εδαφική σκόνη
 - ✓ Ηφαίστεια
 - ✓ Φυσικές πυρκαγιές
 - ✓ Μεταφορά από περιοχές ερήμων
 - ✓ Θάλασσα
 - ✓ Γύρη / Σπόρια

- Παραδείγματα **ανθρωπογενών** πηγών:
 - ✓ Εργοστάσια / Βιομηχανίες
 1. Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί
 2. Διυλιστήρια πετρελαίου
 3. Εργοστάσια Παραγωγής τσιμέντου
 4. Βιομηχανία γυαλιού
 5. Λατομεία
 6. Καύση βιομάζας
 7. Καύση απορριμμάτων
 - ✓ Οχήματα (Πετρελαιοκίνητα/ Ντιζελοκίνητα)
 - ✓ Κεντρικές θερμάνσεις
 - ✓ Οικοδομικές κατασκευές
 - ✓ Αγροτικές δραστηριότητες



Εικόνα 2.2: Διάμετρος σωματιδίων συναρτήσει της προέλευσής τους

Επισημαίνεται ότι τα μικρότερα σωματίδια ($\text{PM}_{2.5}$, PM_1) προκύπτουν κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συχνά παράγονται δευτερογενώς ως αποτέλεσμα της πυρήνωσης και συμπύκνωσης των υπέρκορων ατμών (Εικόνα 2.2, Pateraki et. al, 2008, Ασημακόπουλος, Καρτάλης 2002: “Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος”, ΥΠΕΚΑ: “Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2011”).

2.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η επίδραση των σωματιδίων στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία σχετίζεται άμεσα με τα φυσικά και τα χημικά τους χαρακτηριστικά.

2.4.1 Φυσικές Ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες των αερολυμάτων εξαρτώνται από το μέγεθος, τη μάζα, το πλήθος, την επιφάνεια τους, το σχήμα, την πτητικότητα, τη διαλυτότητα, την υγροσκοπικότητα και το ηλεκτρικό τους φορτίο.

- **Προσρόφηση**

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ μεγάλη ενεργό επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, λόγω του μικρού μεγέθους της πλειονότητας αυτών. Η επιφάνεια αυτή υπολογίζεται σε $10^6 \text{ m}^2/\text{g}$ συγκριτικά με $500\text{-}2000 \text{ m}^2/\text{g}$ που έχει ο ενεργός άνθρακας. Τόση μεγάλη επιφάνεια ευνοεί την προσρόφηση μορίων από την αέρια φάση, ιδιαίτερα για συστατικά με χαμηλή πτητικότητα. Σημειώνεται ότι μια ουσία με τάση ατμών $<0,1 \text{ mmHg}$ στους 25°C , προσροφάται ισχυρά στα αερολύματα. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι και τα μέταλλα που εξατμίζονται από ηφαιστειακές ή βιολογικές διεργασίες καταλήγουν στα αερολύματα. Ακόμα, ημιπτητικές οργανικές ενώσεις όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες προσροφώνται σε μεγάλο βαθμό στα αιωρούμενα σωματίδια.

- **Ταχύτητα πτώσης**

Η ταχύτητα πτώσης των αερολυμάτων υπολογίζεται από τον νόμο του Stokes που ισχύει για σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από την ελεύθερη διαδρομή των αερίων. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο νόμο, η οριακή ταχύτητα πτώσης των σωματιδίων στον αέρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ακτίνας τους.

- **Οπτική συμπεριφορά**

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν την κύρια αιτία μείωσης της ορατότητας σε πολλές περιοχές. Όταν το φως προσπίπτει σε αυτά, συμβαίνουν δυο

διαφορετικά φαινόμενα: σκέδαση, δηλαδή επανεκπομπή του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις και απορρόφηση με μετατροπή της απορροφούμενης ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Τόσο η σκέδαση, όσο και η απορρόφηση του φωτός είναι συνάρτηση της σύστασης, της συγκέντρωσης και του μεγέθους των αερολυμάτων.

- **Απομάκρυνση**

Η απομάκρυνση των αερολυμάτων από την ατμόσφαιρα, επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- ✓ Υγρή απόθεση με υετό: Όταν οι σταγόνες της βροχής πέφτουν, παρασύρουν μαζί τους τα αιωρούμενα σωματίδια.
- ✓ Υγρή απομάκρυνση με τα νέφη: Οι υδρόφιλοι ρύποι απορροφούνται από τα υδροσταγονίδια και όταν βρέξει συμπαρασύρονται προς το έδαφος.
- ✓ Ξερή απόθεση λόγω βαρύτητας: Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος των σωματιδίων, τόσο γρηγορότερα εναποτίθενται στο έδαφος.
- ✓ Βίαιη απόθεση εξαιτίας των ανέμων: Η αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη παρασυρόμενη από τον άνεμο, καταλήγει στο έδαφος.

[Seinfeld and Pandis (1998): "Atmospheric Chemistry and physics" Wiley and Sons].

2.4.2 Χημικές Ιδιότητες- Χημική Σύσταση

Προκειμένου να προσδιοριστούν επιτυχώς τα προβλήματα υγείας που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να είναι γνωστά τα χημικά στοιχεία από τα οποία αυτά αποτελούνται.

Η χημική σύσταση των αερολυμάτων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την προέλευσή τους. Πιο αναλυτικά, τα μικρά σωματίδια προέρχονται συνήθως από διεργασίες καύσης, πυρηνοποίησης και συμπύκνωσης αερίων. Αποτελούνται κυρίως από ενώσεις Θείου (S), Αζώτου (N), Υδρογόνου (H), ιόντα αμμωνίου (NH_4^+), στοιχειακό (Elemental Carbon) και οργανικό (Organic Carbon) άνθρακα, ιχνοστοιχεία μετάλλων και νερό. Τα δευτερογενή ανόργανα ιόντα προέρχονται κυρίως από την

οξείδωση των SO₂ και NO_x. Η σημαντικότερη πηγή SO₂ είναι η χρήση θειούχων ορυκτών καυσίμων. Το SO₂ στην ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε H₂SO₄, NH₄HSO₄ και (NH₄)₂SO₄, όταν υπάρχει αρκετή αμμωνία στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια περιέχουν ακόμα και αρκετή ποσότητα νερού καθώς και μεγάλο αριθμό χημικών στοιχείων.

Στην περίπτωση που τα αερολύματα προέρχονται από καύσεις και βιομηχανικές δραστηριότητες το μέγεθός τους είναι μικρό. Κατά την κίνηση οχημάτων εκπέμπονται από τα καύσιμα: Br, Pb, Ba, Mn, Cl, Zn, Ni, Se και As, από τη τριβή των μηχανικών εξαρτημάτων: Fe και Al και από την τριβή των ελαστικών Zn, ενώ από τους καταλύτες εκπέμπονται σπάνιες γαίες όπως Rh, Pd, Ir και Ru. Από βιομηχανικές διεργασίες, όπως η καύση πετρελαίου και γαιάνθρακα για την παραγωγή ενέργειας, εκπέμπονται στοιχεία όπως: V, Ni, Se, As, Cr, Co, Cu, Al, S, P, Ga, Zn, Pb Mn. Μεγάλη ποσότητα στοιχείων βρίσκεται σε μεγάλα σωματίδια που προέρχονται από αιώρηση εδαφικού υλικού που γίνεται είτε μηχανικά από εξόρυξη και άλεση ορυκτών (Mg, Al, K, Se, Fe, και Mn) και κίνηση οχημάτων (στοιχειακός άνθρακας, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Zn) είτε φυσικά με την επίδραση του ανέμου στην ξηρά (Si, V, Cr, Ca, Ti, Sr). Τέλος, σωματίδια παράγονται και με την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας (θαλάσσια αερολύματα-Na, Cl, S, K) και το μέγεθός τους εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου (Eleftheriadis et. al, 1998, Pey et. al, 2010, Perrone et al, 2010, Λαζαρίδης, 2010).

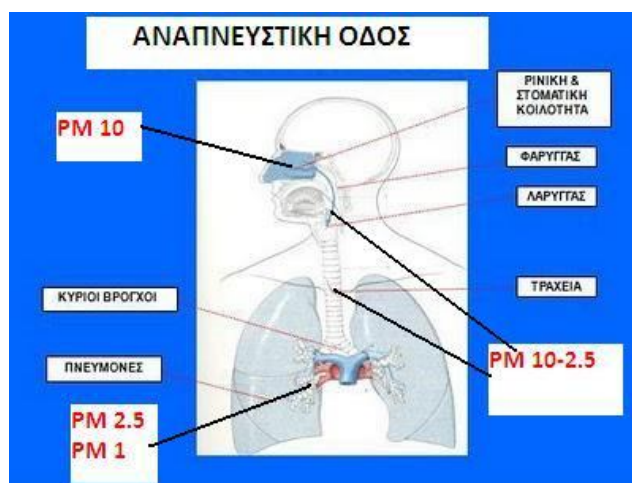
2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

2.5.1 Γενικά

Η επίδραση που έχει το περιβάλλον στην υγεία είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους. Ο πατέρας της Ιατρικής Επιστήμης Ιπποκράτης, αναφέρει στο έργο του “περί αέρων υδάτων τόπων” ότι το κλίμα ρυθμίζει την υγεία του ανθρώπου.

Όσον αφορά στα αιωρούμενα σωματίδια, αποτελούν έναν από τους πιο επικίνδυνους ρύπους της ατμόσφαιρας. Ενδείξεις για την επιβλαβή επίδρασή τους στην ανθρώπινη υγεία υπήρχαν από το 1950. Παρόλα αυτά, από τα τέλη του 1980 έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στο φαινόμενο και έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες επιδημιολογικές μελέτες για τη συσχέτιση των συγκεντρώσεών τους στην ατμόσφαιρα με τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου.

Τα μεγαλύτερα σωματίδια ($d > 10\mu\text{m}$) που εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα, παγιδεύονται με τη βοήθεια των τριχών και του βλεννογόνου της μύτης. Μπορούν να αποβληθούν εύκολα, με το βήχα ή το φτέρνισμα. Μικρότερα σωματίδια ($10\mu\text{m} > d > 2.5\mu\text{m}$) παγιδεύονται στην περιοχή της μύτης και του φάρυγγα και μπορούν να μετακινηθούν προς το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα. Τα πιο μικρά όμως αερολύματα ($d < 2.5\mu\text{m}$), επειδή έχουν τη δυνατότητα να διασχίζουν το ανώτερο τμήμα του αναπνευστικού φτάνοντας βαθιά στις κυψελίδες των πνευμόνων, καθίστανται πιο επικίνδυνα για την υγεία. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται η διεισδυτική ικανότητα των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με το μέγεθός τους.



Εικόνα 2.3 Ικανότητα αναπνευστικής διείσδυσης σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων

Έτσι, σύμφωνα με τις επιδράσεις στην υγεία, τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

α) Τα σωματίδια με διάμετρο πάνω από $10\mu\text{m}$ που έχουν μικρό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα λόγω βαρύτητας. Η επιδημιολογική σημασία τους

είναι περιορισμένη εφόσον κατακρατούνται από το ρινικό σύστημα και δεν εισχωρούν βαθύτερα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.

β) Τα αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια που είναι τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10μm. Το μέγεθός τους είναι ιδιαίτερα μικρό και ο χρόνος αιώρησής τους στην ατμόσφαιρα μεγάλος. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για τον άνθρωπο, καθώς έχουν την ικανότητα να εισχωρούν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα φτάνοντας στις κυψελίδες των πνευμόνων (Schwartz et al., 1996, Maynard and Howard, 1999, Wichmann and Peters, 2000, Samet 2000, Chow et al., 2002, Stieb et al., 2002, Fernandez et al., 2003, Ramgolam et.al, 2008).

Τα σωματίδια εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό με ποικίλους τρόπους. Πύλες εισόδου των αερολυμάτων αποτελούν :

- το αναπνευστικό σύστημα (εισπνοή)
- το γαστρεντερικό σύστημα (λήψη τροφών και υγρών)
- το δέρμα.

Η πύλη εισόδου της κάθε ουσίας εξαρτάται από τις ιδιότητες αυτής.

Επιδημιολογικές μελέτες επιβεβαιώνουν την άμεση σχέση των σωματιδίων με αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα (Schlesinger, 1995) και τις άμεσες επιπτώσεις τους στο αναπνευστικό σύστημα. Συγκεκριμένα, ευθύνονται για την πρόκληση έντονου βήχα, δυσκολία στην αναπνοή, βρογχίτιδες και πνευμονίες, καθώς και επιδείνωση άσθματος και χρόνιων αποφρακτικών νόσων του αναπνευστικού. Επιπλέον, έχουν συνδεθεί με εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων, με καρδιακές αρρυθμίες αλλά και θρόμβωση του αίματος.

Ιδιαίτερα ευάλωτα στην έκθεση αιωρουμένων σωματιδίων είναι τα παιδιά, αφενός γιατί το αναπνευστικό, το νευρικό και το αναπαραγωγικό τους σύστημα δεν είναι πλήρως ανεπτυγμένα, και αφετέρου γιατί η μεταβολική δραστηριότητά τους είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Ομάδες υψηλού κινδύνου αποτελούν επίσης οι ηλικιωμένοι, οι αθλητές και τα άτομα που πάσχουν από καρδιακά ή πνευμονολογικά προβλήματα.

Τα παραπάνω συμπεράσματα προέρχονται από στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Περιβάλλον και την υγεία στην Ευρώπη και έχουν προκύψει από την ανάλυση παρατηρήσεων σχετικών με εισαγωγές σε νοσοκομεία σε περιπτώσεις

επεισοδίων ρύπανσης. Σημειώνεται ότι η εξακρίβωση των μηχανισμών επίδρασης γίνεται με τοξικολογικές μελέτες.

Τα προβλήματα υγείας που προκαλούν τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με το μέγεθός τους παρουσιάζονται εν συντομία στον Πίνακα 2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Επιδράσεις στην υγεία ανάλογα με το μέγεθός των PM

	Επιδράσεις στην υγεία	Αναφορές
PM₁₀	Αυξάνουν την καρδιακή και αναπνευστική θνησιμότητα και νοσηρότητα. Αύξηση αναπνευστικών προβλημάτων και χρήση φαρμάκων. Περιορισμένη δραστηριότητα.	WHO, 2006 Pope & Dockery, 2006 Dockery, 2009 Katsouyanni et al., 2009 Brunekreef, 2010
PM_{10-2.5}	Έρευνες δείχνουν αύξηση αναπνευστικής και καρδιαγγειακής θνησιμότητας και νοσηρότητας.	Brunekreef & Forsberg, 2005
PM_{2.5}	Αυξημένη καρδιο-αναπνευστική θνησιμότητας. Αύξηση αναπνευστικών προβλημάτων και χρήση φαρμάκων. Περιορισμένη δραστηριότητα.	Pope and Dockery, 2006 Dockery, 2009 Brunekreef, 2010
PM₁	Επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα.	Andersen et al., 2008 Leitte et al., 2011

Η Ευρωπαϊκή Ένωση γνωρίζοντας τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία έχει θεσπίσει ημερήσια καθώς και ετήσια όρια για τις συγκεντρώσεις των PM₁₀ και των PM_{2.5} (Πίνακας 2.2, 2.3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: Ευρωπαϊκή Ένωση, Οριακές τιμές συγκέντρωσης PM₁₀

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1				
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50μg/m ³ AΣ ₁₀ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας Οδηγίας μειούμενο από 1 ^{ης} Ιανουαρίου 2001 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φθάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	40μg/m ³ AΣ ₁₀	20% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας Οδηγίας μειούμενο από 1 ^{ης} Ιανουαρίου 2001 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φθάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 2				
24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ A Σ_{10} των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του Σταδίου 1	1 ^η Ιανουαρίου 2010
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ A Σ_{10}	50% κατά την 1/1/2005 μειούμενο κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό ώστε να φθάσει το 0% την 1/1/2005	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Επιπλέον, η Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (USEPA) παρέχει ενημέρωση στο κοινό μέσω του διαδικτύου σχετικά με τις ημερήσιες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} και τον κίνδυνο για την δημόσια υγεία (Πίνακας 2.3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: Ημερήσια επίπεδα συγκέντρωσης PM10 και PM2.5, επιπτώσεις στην υγεία και προφυλάξεις

	Κατάσταση υγείας	Προφυλάξεις	
Ημερήσια συγκέντρωση (μg/m ³)		PM _{2.5}	PM ₁₀
0-50	Καλή	Καμία	καμία
51-100	Μέτρια	Καμία	καμία
101-150	Μη υγιεινή κατάσταση για τις ευαίσθητες ομάδες	Άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα καθώς και οι ηλικιωμένοι πρέπει να μειώσουν την παρατεταμένη έκθεση	Άνθρωποι με αναπνευστικά προβλήματα όπως άσθμα θα πρέπει να περιορίσουν την εξωτερική έκθεση
151-200	Μη υγιεινή κατάσταση	Άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα καθώς και οι ηλικιωμένοι πρέπει να μειώσουν την παρατεταμένη έκθεση και οι υπόλοιποι να την περιορίσουν	Άνθρωποι με αναπνευστικά προβλήματα όπως άσθμα θα πρέπει να αποφεύγουν την παρατεταμένη εξωτερική έκθεση και κυρίως οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά
201-300		Άνθρωποι με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα καθώς και οι ηλικιωμένοι πρέπει να αποφεύγουν την παρατεταμένη έκθεση και όλοι οι άλλοι να την περιορίσουν	Άνθρωποι με αναπνευστικά προβλήματα όπως άσθμα θα πρέπει να αποφεύγουν την όποια εξωτερική έκθεση και κυρίως οι ηλικιωμένοι και τα παιδιά να την περιορίσουν
301-500		Όλοι θα πρέπει να αποφεύγουν την όποια εξωτερική δραστηριότητα και ειδικά οι άνθρωποι με καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα ενώ ηλικιωμένοι και παιδιά πρέπει να μένουν μέσα	Όλοι θα πρέπει να αποφεύγουν την όποια εξωτερική δραστηριότητα και ειδικά οι άνθρωποι με αναπνευστικά προβλήματα όπως άσθμα θα πρέπει να μένουν μέσα

2.5.2. Χημικά στοιχεία

2.5.2.1 Στοιχειακός άνθρακας (EC)

Ο στοιχειακός άνθρακας, πρωτογενώς παραγόμενος, προκύπτει κυρίως από ατελείς διεργασίες καύσης, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας. Οι κύριες πηγές εκπομπών του είναι η κυκλοφορία των οχημάτων (κυρίως πετρελαιοκίνητων), η παραγωγή ενέργειας, η καύση βιομάζας, κάποιες βιομηχανικές διεργασίες και ορισμένες οικιακές δραστηριότητες. Ο EC συνήθως παρατηρείται σε περιοχή μεγέθους $<0.1\mu\text{m}$ (Harrison and Yin, 2008).

Όσον αφορά στην υγεία, προκαλεί αύξηση του βήχα στα μικρά παιδιά (Patel et al., 2009) και βραχυπρόθεσμη αύξηση της θνησιμότητας αυτών που επέζησαν έπειτα από έμφραγμα του μυοκαρδίου (Von Klot et al., 2009).

2.5.2.2 Οργανικός άνθρακας (OC)

Ο οργανικός άνθρακας παράγεται πρωτογενώς, είτε σχηματίζεται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα με μεθόδους συμπύκνωσης των ημι-πτητικών οργανικών ενώσεων (SVOCs). Οι κύριες πηγές εκπομπών του είναι τα ορυκτά καύσιμα, η καύση βιομάζας αλλά και οι γεωργικές εκπομπές. Στις αστικές περιοχές παράγεται ως επί το πλείστον ανθρωπογενώς από καύση και την εξάτμιση των ορυκτών καυσίμων (Wei, et al. 2012)

Όσον αφορά στην υγεία, ο οργανικός άνθρακας έχει συσχετιστεί με αύξηση των εισαγωγών στο νοσοκομείο λόγω διαβήτη, με εμφράγματα του μυοκαρδίου, αναπνευστικές ασθένειες και αύξηση της καρδιαγγειακής θνησιμότητας (Zanobetti et al., 2009; Peng et al., 2009). Επίσης, δύναται να προκαλέσει αύξηση των δεικτών του αίματος σχετικά με την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία και την πήξη (Rückerl et al. 2005). Επιπλέον, πιθανολογείται η επίδραση του οργανικού άνθρακα στις μεταβολές του καρδιακού ρυθμού (HRV) σε ασθενείς με καρδιαγγειακή νόσο (Schneider et al., 2010, Chuang et al 2007).

2.5.2.3 Θεϊκά ιόντα (SO_4^{-2})

Αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών υποδεικνύουν τα θεϊκά ιόντα ως ένα από τα πλέον επικίνδυνα συστατικά των σωματιδίων. Βρέθηκε ότι συσχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο νοσηλείας λόγω αναπνευστικών παθήσεων (Atkinson et al., 2010) και διαβήτη (Zanobetti et al., 2009) καθώς και με θνησιμότητα λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων (Thurston et al., 2005; Maynard et al., 2007, Ostro et al., 2011). Τοξικολογικά στοιχεία δείχνουν να υπάρχει μια έμμεση διαδικασία μέσω της οποίας τα θεϊκά ιόντα επηρεάζουν την υγεία, η οποία περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση των θεικών με τα είδη των μετάλλων που περιέχονται στα PM (Reiss et al. 2007).

2.5.2.4 Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs))

Αποτελούνται από συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτυλίους και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ως ένα πολύπλοκο μίγμα ενώσεων προερχόμενων από την ατελή καύση ή πυρόλυση οργανικού υλικού (ενώσεων που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο). Στην ατμόσφαιρα συναντώνται υπό μορφή ατμών ή σωματιδίων. Η πιο χαρακτηριστική ένωση της κατηγορίας αυτής είναι το βενζο(α)πυρένιο. Ορισμένοι από τους Πολυαρωματικούς Υδρογονάνθρακες και κυρίως το βενζο(α)πυρένιο, έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνες ενώσεις.

2.5.2.5 Μόλυβδος, Αρσενικό, Κάδμιο και Νικέλιο

Είναι μέταλλα τα οποία βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κυρίως στα σωματίδια είτε υπό στοιχειακή μορφή είτε υπό μορφή ενώσεων (οξειδίων, θεικών θειούχων).

Ο μόλυβδος προκαλεί κυρίως αναιμία. Το αρσενικό επιδρά κυρίως στο ανώτερο αναπνευστικό και στο καρδιαγγειακό σύστημα ενώ συνδέεται με αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Είναι επίσης πιθανόν να προκαλεί καρκίνο στους πνεύμονες. Το κάδμιο επιδρά κυρίως στα νεφρά, ενώ έχει χαρακτηριστεί και ως καρκινογόνο (προκαλεί καρκίνο των πνευμόνων). Το νικέλιο αν και δεν θεωρείται καρκινογόνο πιθανολογείται η σχέση του με δερματικές παθήσεις. Τονίζεται ότι τα μέταλλα επιδρούν στην υγεία κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας και λιγότερο με την εισπνοή.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στοχεύοντας στην εμπειριστατωμένη μελέτη των επιπτώσεων της ανθρώπινης έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση, έγινε μία προσπάθεια δημιουργίας μίας όσο το δυνατόν πληρέστατης βάσης δεδομένων αέριας ρύπανσης. Λήφθηκαν υπόψη δείκτες υγείας, δείκτες έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και μετεωρολογικοί δείκτες.

3.1.1 Δείκτες Υγείας

Τα δεδομένα των δεικτών υγείας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προήλθαν από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία και αφορούν την Ευρύτερη Περιοχή της Αττικής. Οι δείκτες ήταν οι ακόλουθοι:

- **Ολική Θνησιμότητα**
- **Θνησιμότητα πληθυσμού άνω των 75 ετών**
- **Θνησιμότητα πληθυσμού κάτω των 75 ετών**
- **Θνησιμότητα λόγω καρδιαγγειακών για όλες τις ηλικίες όπως και για τις ηλικιακές ομάδες άνω των 75 και κάτω των 75.**
- **Αναπνευστική θνησιμότητα για όλες τις ηλικίες όπως και για την ηλικιακή ομάδα άνω των 75.**

3.1.2 Δείκτες Έκθεσης σε Ατμοσφαιρική Ρύπανση

- **Μετρήσεις “Ε.Κ.Π.Α”**

Στην παρούσα μελέτη έγινε χρήση μέρους των πειραματικών δεδομένων που προέκυψαν στα πλαίσια πραγματοποίησης Διδακτορικής Διατριβής του Ε.Κ.Π.Α (Τμήμα Φυσικής) σε συνεργασία με το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του

Εθνικού Κέντρου Ερευνών Φυσικών Επιστημών (Ε.Κ.Ε.Φ.Ε) “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ” (Πατεράκη, 2012). Εν χάρη συντομίας, οι συγκεκριμένοι δείκτες έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση θα αναφέρονται ως “μετρήσεις Ε.Κ.Π.Α”.

Αντικείμενο της προαναφερθείσας Διδακτορικής Διατριβής ήταν η μελέτη της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης σε μία Μεσογειακή αστική περιοχή με έντονα προβλήματα (αερολύματα φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης), όπως είναι η Ευρύτερη Περιοχή του Λεκανοπεδίου. Η ποσοτικοποίηση της σωματιδιακής ρύπανσης, η κατανόηση της συμπεριφοράς και του χαρακτήρα (χημική σύσταση, προσδιορισμός/ποσοτικοποίηση πηγών) των αερολυμάτων με διαφορετική αεροδυναμική διάμετρο, η διερεύνηση της σχέσης/διαφοροποίησης της φύσης των σωματιδίων από τους ανόργανους ρύπους αλλά και του ρόλου των μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος) και της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (συνοπτικής και μέσης κλίμακας) στη διαμόρφωση της ποιότητας του αέρα αποτελούν θέματα τα οποία προσέγγισε η συγκεκριμένη διατριβή. Η προκύπτουσα βάση δεδομένων αφορούσε στη συλλογή δειγμάτων σωματιδίων με διαφορετική αεροδυναμική διάμετρο (TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁), σε χρονική διάρκεια 127 ημερών την περίοδο 29/2-5/8/08. Οι πειραματικές περιοχές επιλέχθηκαν προσεκτικά ώστε να βρίσκονται πάνω στον κύριο άξονα (B-N) του λεκανοπεδίου και να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά (Βαρυμπόμπη, Πεντέλη, Αγία Παρασκευή, Βοτανικός, Τούρλος (Αίγινα), Σχήμα 3.2). Τα συλλεχθέντα δείγματα υπεβλήθησαν σε περαιτέρω χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης σε αυτά οργανικού (OC) και στοιχειακού (EC) άνθρακα, ιόντων (7) και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (26).

Από τη συνολική βάση δεδομένων της προαναφερθείσας διδακτορικής διατριβής, έγινε χρήση των πληροφοριών για τα **PM₁₀**, τα **PM_{2.5}** καθώς και τα **PM₁**. Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η χημική σύσταση των PM_{2.5} ως προς το στοιχειακό (EC) και τον οργανικό άνθρακα (OC) και τα ιόντα Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} και Ca^{2+} . (Πίνακας 3.2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: Περιοχή και μετρούμενοι ρύποι στο δίκτυο σταθμών Ε.Κ.Π.Α

	Αγ.Παρασκευή	Βαρυμπόμπη	Πεντέλη	Βοτανικός	Αίγινα
PM ₁₀	✓	✓	✓		✓
PM _{2.5}	✓	✓	✓	✓	✓
PM ₁	✓	✓		✓	✓
EC			✓	✓	✓
OC			✓	✓	✓
Ca ²⁺			✓	✓	✓
Cl ⁻			✓	✓	✓
K ⁺			✓	✓	✓
Mg ²⁺			✓	✓	✓
NH ₄ ⁺			✓	✓	✓
NO ₃ ⁻			✓	✓	✓
SO ₄ ²⁻			✓	✓	✓



Εικόνα 3.1(α)



Εικόνα 3.1(β)



Εικόνα 3.1(γ)



Εικόνα 3.1(δ)

Εικόνα 3.1(ε)

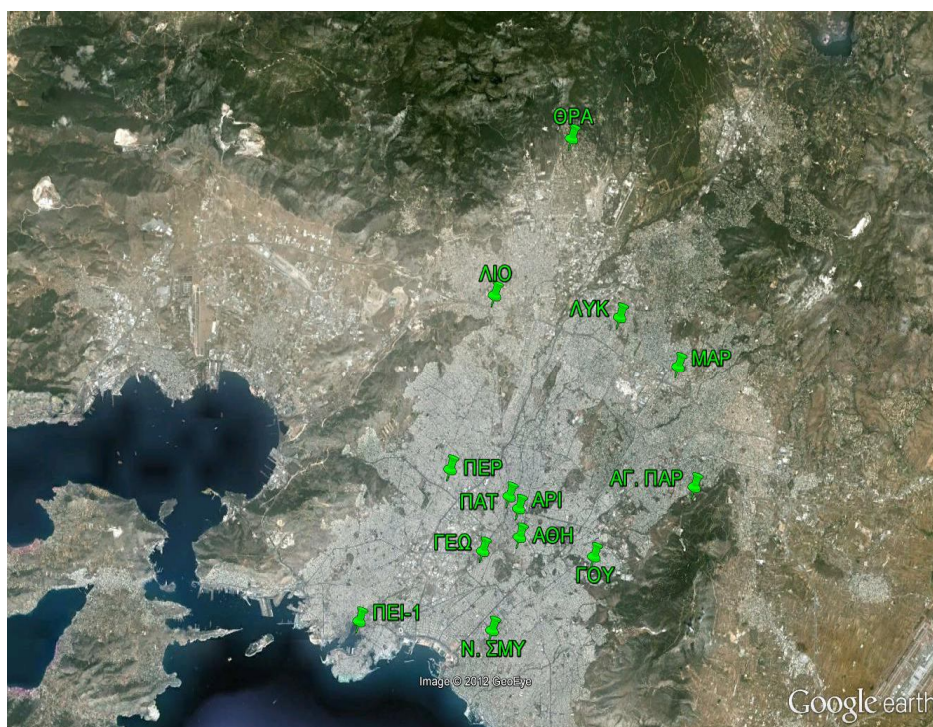
Εικόνα 3.1: Σταθμός δειγματοληψίας στην περιοχή α) της Αίγινας, β) του Βοτανικού, γ) της Αγίας Παρασκευής, δ) της Πεντέλης και ε) της Βαρυμπόμπης

- **Μετρήσεις Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ)**

Το Τμήμα της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας που ανήκει στη διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου του ΥΠΕΚΑ είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Από το σύνολο των σταθμών, λήφθηκαν υπόψη εκείνοι στους οποίους η πληρότητα δεδομένων αέριων ρύπων (Αιωρούμενων σωματιδίων: $PM_{2.5}$, PM_{10} και Ανόργανων ρύπων: NO_2 και O_3) για την υπό εξέταση περίοδο, ήταν μεγαλύτερη ή ίση του 75% (Πίνακας 3.1, Σχήμα 3.1). Έπειτα, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων των επιλεγμένων σταθμών ώστε να προκύψει η ημερήσια μέση τιμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: Περιοχή και μετρούμενοι ρύποι στο Δίκτυο Σταθμών του Υ.Π.Ε.Κ.Α.

	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂	O ₃
Θρακομακεδόνες	✓		✓	✓
Λυκόβρυση	✓	✓	✓	✓
Μαρούσι	✓		✓	✓
Αγ. Παρασκευή	✓	✓	✓	✓
Γουδί		✓	✓	
Αθηνάς			✓	✓
Γεωπονικό			✓	✓
Αριστοτέλους	✓		✓	
Πατησίων				✓
Περιστέρι			✓	✓
Λιόσια			✓	✓
Ν. Σμύρνη			✓	✓
Πειραιάς	✓	✓	✓	✓



Εικόνα 3.2: Σταθμοί παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ΥΠΕΚΑ, στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου

Στον χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 3.2), απεικονίζεται το συνολικό δίκτυο των σταθμών που προέκυψε. Με κίτρινο χρώμα σημειώνονται οι σταθμοί μέτρησης σωματιδίων του ΕΚΠΑ, ενώ με πράσινο το δίκτυο των σταθμών του ΥΠΕΚΑ.



ΕΙΚΟΝΑ 3.3: Σταθμοί Δειγματοληψίας ΕΚΠΑ - ΥΠΕΚΑ

3.1.3 Μετεωρολογικοί Δείκτες

Τα μετεωρολογικά δεδομένα παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) και αφορούν τους παρακάτω μετεωρολογικούς δείκτες:

- **Temp-24h:** Μέση ημερήσια θερμοκρασία
- **Humidity:** Μέση ημερήσια υγρασία
- **Wind-speed:** Μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου
- **Wind-dir:** Ημερήσια επικρατούσα διεύθυνση ανέμου

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ -ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η πειραματική διαδικασία στα πλαίσια της Διδακτορικής Διατριβής που εκπονήθηκε στο Ε.Κ.Π.Α. διήρκησε 127 ημέρες καλύπτοντας χρονικά τις περιόδους 29/2/2008-2/5/2008 και 4/6/2008 -5/8/2008.

Για τη συλλογή των δειγμάτων και τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του διαφορετικού μεγέθους αερολυμάτων ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες που περιγράφονται στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 12341:1999 και EN 14907:2005. Για τη συλλογή των PM_{2.5} και PM₁ έγινε χρήση φίλτρων τύπου Quartz ενώ για τη συλλογή των PM₁₀ χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα τύπου Teflon. Η διάμετρος των φίλτρων ήταν 45 και 50 mm ανάλογα με τον τύπο του δειγματολήπτη. Πριν τη χρησιμοποίησή τους, τα φίλτρα συνθηκοποιούνταν για τουλάχιστον 24 ώρες σε ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο με ελεγχόμενη θερμοκρασία ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) και σχετική υγρασία ($50 \pm 5\%$) και ζυγίζονταν δύο φορές (η πρώτη ζύγιση απείχε από τη δεύτερη 24 ώρες) για μεγαλύτερη ακρίβεια. Αμέσως μετά το πέρας της δειγματοληψίας και τη συλλογή τους, τοποθετούνταν στο ειδικό δωμάτιο και έπειτα από 24 ώρες επαναλαμβάνονταν ακριβώς η ίδια διαδικασία ζύγισης. Τελικά, γνωρίζοντας και τον όγκο του αέρα που συλλέχθηκε, υπολογίστηκε η συγκέντρωση των αερολυμάτων σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σημειώνεται ότι οι ζυγίσεις πραγματοποιήθηκαν σε αναλυτικό ζυγό (Mettler Toledo) ακριβείας 1 μg .

Για τη διασφάλιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων, τα φίλτρα πριν την όποια χρήση τους θερμάνθηκαν σε φούρνο στους 550°C για τρεις ώρες για την εξάλειψη τυχόν οργανικών υπολειμμάτων. Οι αντλίες δειγματοληπτούσαν 24 ώρες από τις 8:30 το πρωί της μίας ημέρας έως τις 8:30 της επόμενης. Ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν συνολικά και τις δύο περιόδους δειγματοληψίας ήταν 172, 311, 273, 247 για το Βοτανικό, τον Τούρλο, την Πεντέλη και την Αγία Παρασκευή αντίστοιχα.

Για την ταυτόχρονη ανάλυση των συλλεχθέντων δειγμάτων ως προς Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (26), ιόντα (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) και στοιχειακό/οργανικό άνθρακα (EC, OC), χρησιμοποιήθηκε το 1/2, 1/4 και 1/4 του φίλτρου, αντίστοιχα. Όσον αφορά στον άνθρακα και τα

ιόντα, οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης με υπεύθυνο καθηγητή τον Καθηγητή κ. Νικόλαο Μιχαλόπουλο ενώ το Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Ερευνών του ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος' ήταν υπεύθυνο για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των Υδρογονανθράκων.

Καθώς για τη συλλογή δειγμάτων αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης έγινε χρήση αυτόματων και μη δειγματοληπτών, έγινε αναγωγή των μετρήσεων όλων των σταθμών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βαρυμετρικής μεθόδου. Έπειτα, για κάθε δείκτη μετρήσεων Ε.Κ.Π.Α, υπολογίστηκαν τα εξής περιγραφικά στοιχεία: πλήθος (N), μέση τιμή (Mean), τυπική απόκλιση (SD) και τα εκατοστημόρια (10,90), προκειμένου να εκτιμηθεί η κανονικότητα των δεικτών.

Ακολούθησε ο υπολογισμός της μέσης τιμής των μετρήσεων, στο σύνολο των σταθμών που παρακολουθούνταν ο κάθε ρύπος. Αν για κάποια μέρα δεν είχαν όλοι οι σταθμοί μέτρηση, τότε έγινε μια προσαρμογή στο μέσο όρο των υπόλοιπων σταθμών, πολλαπλασιάζοντας με το λόγο του μέσου όρου των μετρήσεων του σταθμού που έλειπε κάποια τιμή, προς τον μέσο όρο της μέσης τιμής των μετρήσεων από όλους τους σταθμούς.

Καθώς όπως προαναφέρθηκε, οι μετρήσεις για τους δείκτες 'ΕΚΠΑ' αφορούν το διάστημα 1/3/2008-5/8/2008, εφαρμόστηκε ένα προγνωστικό μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με σκοπό να προβλεφθούν οι αντίστοιχες τιμές των δεικτών ΕΚΠΑ για τις χρονικές περιόδους 1/3/2007- 5/8/2007 και 1/3/2009-5/8/2009. Εξετάστηκαν δηλαδή τα διαστήματα Άνοιξη- καλοκαίρι 2007-2009.

Για κάθε μετρούμενο δείκτη 'ΕΚΠΑ' εφαρμόστηκε παλινδρόμηση της παρακάτω μορφής:

$$\text{Δείκτης ΕΚΠΑ} = \text{σταθερά} + b1*PM_{2.5}(\text{ΠΕΡΠΑ-Εργ Υγ}) + b2* PM_{10-2.5}(\text{ΠΕΡΠΑ- εργ Υγ}) + b3*O_3 + b4*NO_{2_24h} + b5*(\text{day of the week}) + b6*month + b7*temp_{24h} + b8*humidity + b9*wind_speed + b10*wind_dir$$

Όπου:

Δείκτης: είναι η μέση τιμή των μετρήσεων και από τα 5 όργανα που στήθηκαν (μετρήσεις ΕΚΠΑ) για τον αντίστοιχο δείκτη.

PM_{2.5} (ΠΕΡΠΑ-Εργ Υγ): Η μέση ημερήσια συγκέντρωση σωματιδίων από τους επιλεγμένους σταθερούς σταθμούς μέτρησης (ΥΠΕΚΑ) ως συνεχής μεταβλητή.

PM_{10-2.5}(ΠΕΡΠΑ-Εργ Υγ): Η μέση ημερήσια διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ των PM₁₀ και PM_{2.5} (PM₁₀-PM_{2.5} ΠΕΡΠΑ-Εργ Υγ), συνεχής μεταβλητή.

O₃: Η αντίστοιχη μέτρηση O₃ _8h max (ΥΠΕΚΑ) από τη μέση τιμή των επιλεγμένων σταθερών σταθμών, συνεχής μεταβλητή.

NO₂_24h: Η αντίστοιχη μέτρηση NO₂ _1h max (ΥΠΕΚΑ) από τη μέση τιμή των επιλεγμένων σταθερών σταθμών, συνεχής μεταβλητή

Day of the week: 0=Κυριακή, 1=Δευτέρα,..., 6=Σάββατο. Θα χρησιμοποιηθεί σαν ποιοτική μεταβλητή με εισαγωγή 6 dummy variables.

Month: μήνας μέτρησης 3=3/2008, 4=4/2008,...,8=8/2008. Θα χρησιμοποιηθεί σαν ποιοτική μεταβλητή με εισαγωγή 5 dummy variables.

temp_24h: μέση ημερήσια θερμοκρασία (continuous).

humidity: μέση ημερήσια υγρασία (continuous).

wind_speed: μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου

wind_dir: επικρατούσα διεύθυνση ανέμου. 1=Βόρεια/Βορειο-Ανατολική, 2=Νότια/Νοτιο-Ανατολική, 3=Νότια/Νοτιο-Δυτική, 4=Βόρεια/Βορειο-Δυτική. Θα χρησιμοποιηθεί με 3 dummy variables.

Διευκρινίζεται ότι ειδικά για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στο παραπάνω μοντέλο, εφαρμόστηκαν μοντέλα που περιείχαν τη συγκεκριμένη παράμετρο είτε ως γραμμικό όρο είτε ως παραβολή (δηλαδή το τετράγωνό της). Βάσει της καλύτερης εφαρμογής του μοντέλου επιλέχθηκε ο έλεγχος της θερμοκρασίας με έναν γραμμικό όρο.

Για τη διερεύνηση των επιπτώσεων στην υγεία έγινε χρήση των προβλέψεων των δεικτών που προήλθαν από μοντέλα με $R^2 \geq 0.40$. Έτσι, οι δείκτες έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση που τελικά μελετήθηκαν είναι τα PM₁, ο στοιχειακός άνθρακας (EC), ο οργανικός άνθρακας (OC), τα ιόντα αμμωνίου (NH₄⁺) και τα θειικά ιόντα (SO₄²⁻), καθώς έδωσαν βελτιωμένα προγνωστικά ($R^2 \geq 0.40$). Για τους τελικούς

δείκτες δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για τα διαστήματα Άνοιξη-Καλοκαίρι 2007-2009.

Στοχεύοντας στη βελτίωση των αποτελεσμάτων των τελικών δεικτών, διερευνήθηκε περαιτέρω ο τρόπος με τον οποίο η θερμοκρασία εισήχθη στο μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης. Έτσι, δημιουργήθηκαν δυο γραμμικοί όροι για ημέρες με χαμηλές και με υψηλές θερμοκρασίες με κατώφλι στους 22°C ως εξής: Όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν κάτω από 22°C ορίστηκε ως $Temp_24h$, ενώ όταν ήταν άνω των 22 °C τότε ορίστηκε ως $Temp_24h - 22$. Ανάλογα με τα κριτήρια για βέλτιστη εφαρμογή του καλύτερου μοντέλου, για τα EC και OC επιλέχθηκαν ως βέλτιστος έλεγχος της θερμοκρασίας οι δυο παραπάνω γραμμικοί όροι, ενώ για τα PM_{10} , SO_4^{2-} και NH_4^+ έγινε χρήση των τετραγώνων των παραπάνω όρων (hot^2 , $cold^2$).

Τέλος, στοχεύοντας στη σύνδεση της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης με την ανθρώπινη υγεία, έγινε εφαρμογή γενικευμένων γραμμικών μοντέλων Poisson. Συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση ενός case-crossover, διερευνήθηκε η σχέση της συγκέντρωσης αλλά και των χημικών συστατικών των αερολυμάτων ($PM_{2.5}$) με τη θνησιμότητα. Η ανάλυση χρονοσειρών βασίστηκε στην υπόθεση ότι οι διακυμάνσεις των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συνεχόμενες μονάδες χρόνου σχετίζονται με διακυμάνσεις του δείκτη υγείας στις ίδιες μονάδες χρόνου ή στις αμέσως επόμενες. Ο δείκτης έκθεσης εισήχθη στο μοντέλο είτε ως έκθεση στην ίδια μέρα ($lag0$) με τη μέτρηση του δείκτη υγείας, είτε με υστέρηση μιας ημέρας, δηλαδή τη μέτρηση της προηγούμενης ημέρας ($lag1$) σε σχέση με τον δείκτη υγείας, είτε ως ο μέσος όρος της έκθεσης 2 ημερών ($lag01=(lag0+lag1)/2$). Ακολούθησε έλεγχος για τις πιθανές συγχυτικές επιδράσεις ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας, ενώ έγινε και εισαγωγή ψευδομεταβλητών για την αλληλεπίδραση μεταξύ κάθε μήνα και αντίστοιχου έτους. Επιπλέον, έγινε χρήση δεικτριων συναρτήσεων για το αν η μέρα ήταν επίσημη αργία, για τη μείωση του πληθυσμού λόγω καλοκαιριού (με τιμή 1 από 15 Ιουλίου έως 5 Αυγούστου και 0 στις υπόλοιπες περιπτώσεις) καθώς και για τις επιδημίες γρίπης. Στο μοντέλο έγινε έλεγχος της θερμοκρασίας με την εισαγωγή 2 γραμμικών όρων: έναν για την ίδια μέρα και έναν για την προηγούμενη ($lag1$ -υστέρηση μιας ημέρας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΚΤΩΝ Ε.Κ.Π.Α

Τα περιγραφικά στοιχεία των μετρήσεων Ε.Κ.Π.Α που έχουν προκύψει από το μέσο όρο των μετρήσεων όλων των σταθμών για κάθε κλάσμα και χημικό συστατικό αυτού κατά το χρονικό διάστημα 1/3/2008 – 5/8/2008 παρουσιάζονται εν συντομία στον Πίνακα 4.1. Όπως φαίνεται, τα αερολύματα συνίστανται ως επί το πλείστον από τα θειικά ιόντα και τον οργανικό άνθρακα, ενώσεις άμεσα συνδεδεμένες με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Περιγραφικά στοιχεία της μέσης τιμής κάθε Δείκτη Ρύπανσης

Μέσοι όροι δεικτών	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	10° τεταρτημόριο	90° τεταρτημόριο
PM _{10_ave}	126	43.3	44.1	14.9	77.6
PM _{2.5_ave}	118	21.7	9.60	13.6	32.9
PM _{1_ave}	126	12.9	5.30	8.00	18.4
OC_ave	126	3.53	0.87	2.25	4.51
EC_ave	126	0.72	0.37	0.28	1.26
Ca ²⁺ _ave	126	1.04	0.55	0.67	1.40
Cl ⁻ _ave	126	0.88	0.44	0.60	1.13
K ⁺ _ave	126	0.58	0.19	0.18	0.61
Mg ²⁺ _ave	126	0.10	0.06	0.06	0.15
NH ₄ ⁺ _ave	126	1.22	0.87	0.31	2.60
NO ₃ ⁻ _ave	126	1.04	0.68	0.37	2.10
SO ₄ ²⁻ _ave	126	4.98	2.40	2.34	8.90

Η συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης των αερολυμάτων σε κάθε σταθμό και του μέσου όρου κάθε κλάσματος που έχει προκύψει από όλους τους διαθέσιμους σταθμούς δίνεται στον Πίνακα 4.2. Όμοια, ο Πίνακας 4.3 δίνει τις

συσχετίσεις μεταξύ των συστατικών των σωματιδίων κάθε σταθμού και του αντίστοιχου μέσου όρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Συσχετίσεις μεταξύ των PM κάθε σταθμού και του αντίστοιχου μέσου όρου

	Αγ.Παρασκευή	Πεντέλη	Βαρυμπόμπη	Βοτανικός	Αίγινα
PM _{10_ave}	0.58	0.70	0.94	-	0.63
PM _{2.5_ave}	0.65	0.79	0.60	0.82	0.67
PM _{1_ave}	0.76	-	0.43	0.81	0.79

Όσον αφορά στη συγκέντρωση των σωματιδιακών κλασμάτων, ιδιαίτερα ισχυρή συσχέτιση καταγράφεται μεταξύ των PM₁₀ του σταθμού της Βαρυμπόμπης και του μέσου όρου των PM₁₀. Σημαντική συσχέτιση παρατηρήθηκε και μεταξύ των PM_{2.5} και PM₁ του Βοτανικού και των αντίστοιχων μέσων όρων, ενώ πολύ μικρή συσχέτιση σημειώθηκε μεταξύ των PM₁ της Βαρυμπόμπης και του αντίστοιχου μέσου όρου. (Πίνακας 4.2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: Συσχετίσεις μεταξύ των συστατικών των σωματιδίων κάθε σταθμού και του αντίστοιχου μέσου όρου

	Βοτανικός	Αίγινα	Πεντέλη
OC_ave	0.87	0.65	0.53
EC_ave	0.92	0.52	0.73
Ca ²⁺ _ave	0.37	0.31	0.59
Cl ⁻ _ave	0.45	0.55	0.77
K ⁺ _ave	0.58	0.58	0.81
Mg ²⁺ _ave	0.65	0.49	0.64
NH ₄ ⁺ _ave	0.94	0.89	0.93
NO ₃ ⁻ _ave	0.92	0.77	0.94
SO ₄ ²⁻ _ave	0.93	0.94	0.79

Σχετικά με τα ανιχνευθέντα χημικά στοιχεία, ισχυρή συσχέτιση παρατηρείται μεταξύ του στοιχειακού άνθρακα (EC), των ιόντων Αμμωνίου (NH_4^+) και των θειικών (SO_4^{2-}) ιόντων του Βοτανικού με τους αντίστοιχους μέσους όρους. Επίσης, μεγάλος συντελεστής συσχέτισης, καταγράφεται μεταξύ των θειικών ιόντων (SO_4^{2-}) της Αίγινας και του μέσου όρου του συνόλου αυτών, καθώς και μεταξύ των ιόντων αμμωνίου (NH_4^+) και των νιτρικών ιόντων (NO_3^-) της Πεντέλης και των αντίστοιχων μέσων όρων. Ασθενής συσχέτιση προέκυψε μεταξύ του ασβεστίου της Αίγινας αλλά και του Βοτανικού και του αντίστοιχου μέσου όρου.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης με τη χρήση της θερμοκρασίας ως γραμμικού όρου στο μοντέλο (Temp_24h), δίνονται στον Πίνακα 4.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: Δείκτες Ρύπανσης συναρτήσει της θερμοκρασίας (Temp_24h)

	R	R²	Adjusted R²	std
PM_{10_ave}	0.74	0.55	0.46	32.4
PM_{2.5_ave}	0.70	0.48	0.38	7.56
PM_{1_ave}	0.62	0.38	0.26	4.56
Ca²⁺_ave	0.28	0.08	-0.10	0.58
Cl⁻_ave	0.38	0.15	-0.02	0.45
EC_ave	0.77	0.60	0.52	0.25
K⁺_ave	0.52	0.27	0.13	0.18
Mg²⁺_ave	0.48	0.23	0.08	0.06
NH₄⁺_ave	0.66	0.44	0.33	0.71
NO₃⁻_ave	0.81	0.65	0.59	0.44
OC_ave	0.64	0.41	0.30	0.73
SO₄²⁻_ave	0.68	0.46	0.35	1.90

Η πρώτη στήλη παρουσιάζει το δείκτη συνάφειας Pearson (R), των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο, ο οποίος δείχνει τη συσχέτιση του δείκτη ρύπανσης (συγκέντρωση κλάσματος, χημικό συστατικό αερολυμάτων) με τις υπόλοιπες παραμέτρους του μοντέλου (PM_{2.5}, PM_{10-2.5}, O₃, NO₂_24h, Day of the week, Month, humidity, wind_speed, wind_dir, temp_24h). Στη δεύτερη στήλη,

ο συντελεστής συσχέτισης R^2 (συντελεστής προσδιορισμού) εξηγεί το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής λόγω της επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών. Συγκεκριμένα, τιμή του συντελεστή R^2 ίση με 0.55 υποδηλώνει ότι αν είναι γνωστές οι τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών, μπορεί να προβλεφθεί ο αντίστοιχος δείκτης ρύπανσης με ποσοστό επιτυχίας 55%. Στην 4^η στήλη του Πίνακα αποτυπώνεται η προσαρμοσμένη τιμή του R^2 και στην 5^η το σφάλμα του μοντέλου.

Προκειμένου να διαπιστωθεί αν το μοντέλο θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας την θερμοκρασία ως παραβολή $(Temp_24h)^2$, έγινε επανάληψη του μοντέλου με εισαγωγή στην παλινδρόμηση του τετραγώνου της θερμοκρασίας (Πίνακας 4.5).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: Δείκτες Ρύπανσης συναρτήσει του τετραγώνου της θερμοκρασίας $(Temp_24h)^2$

	R	R^2	Adjusted R^2	Std
PM_{10_ave}	0.74	0.54	0.46	32.49
PM_{2.5_ave}	0.70	0.48	0.38	7.56
PM_{1_ave}	0.62	0.39	0.27	4.52
Ca_ave	0.28	0.08	-0.10	0.58
Cl_ave	0.38	0.15	-0.02	0.45
EC_ave	0.78	0.61	0.53	0.25
K_ave	0.52	0.27	0.13	0.18
Mg_ave	0.48	0.23	0.08	0.06
NH₄⁺_ave	0.66	0.44	0.33	0.71
NO₃⁻_ave	0.81	0.65	0.59	0.44
OC_ave	0.66	0.43	0.32	0.72
SO₄²⁻_ave	0.68	0.46	0.36	1.92

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους (Πινάκες 4.4, 4.5), επιλέχθηκε ο έλεγχος της θερμοκρασίας με έναν γραμμικό όρο καθώς τα αποτελέσματα ήταν πιο ικανοποιητικά.

4.3 ΤΕΛΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΚΕΙΝΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Οι Δείκτες έκθεσης που τελικά χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση δεδομένων ήταν εκείνοι για τους οποίους $R^2 \geq 0.40$ (PM₁, EC, OC, NH₄⁺, SO₄²⁻). Ο βαθμός στον

οποίο συσχετίζονται οι πραγματικές τιμές των παραπάνω δεικτών με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για το διάστημα 1/3/2008-5/8/2008 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: Συσχέτιση πραγματικών μετρήσεων με αυτές που προκύπτουν από την παλινδρόμηση για το ίδιο διάστημα (1/3/08-5/8/08)

	Συσχέτιση (r)	Πιθανότητα (P)
PM₁_ave	0.62	<0.001
SO₄²⁻_ave	0.64	<0.001
NH₄⁺_ave	0.65	<0.001
EC_ave	0.78	<0.001
OC_ave	0.65	<0.001

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, η συσχέτιση των πραγματικών μετρήσεων και των τιμών που προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή της παλινδρόμησης είναι ισχυρή και στατιστικά σημαντική($P < 0.001$), γεγονός που εξασφαλίζει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας.

4.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΙΚΤΩΝ

4.4.1. Περιγραφικά τελικών Δεικτών ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Τα περιγραφικά δεδομένα ανά σταθμό των δεικτών ρύπανσης που τελικά χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται εν συντομία στον Πίνακα 4.7. Ιδιαίτερα υψηλή αποδεικνύεται τόσο η συγκέντρωση των λεπτόκοκκων κλασμάτων όσο και των συστατικών των PM_{2.5} στο σταθμό του Βοτανικού. Αυτό πιθανότατα εξηγείται από το γεγονός ότι στην περιοχή του Βοτανικού υπάρχει έντονη κυκλοφορία οχημάτων καθώς και βιομηχανική δραστηριότητα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η μέση τιμή της συγκέντρωσης των PM₁ είναι μεγαλύτερη για την περιοχή της Αίγινας σε σύγκριση με τη Βαρυμπόμπη ,ο σταθμός της οποίας βρίσκεται κοντά στην εθνική οδό. Αν ληφθεί υπόψη ότι η Αίγινα δεν διαθέτει τοπικές πηγές, πιθανότητα η Αίγινα να πλήττεται περισσότερο όσον αφορά τη ρύπανση, εξαιτίας της αέριας κυκλοφορίας που μεταφέρει ρύπους από την Αθήνα. (Pateraki,et .Al, 2012).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: Περιγραφικά στοιχεία τελικών δεικτών ρύπανσης

PM₁					
	Πλήθος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	10° τεταρτημόριο	90° τεταρτημόριο
Αγ.Παρασκευή	17	11.7	4.20	5.00	17.1
Βοτανικός	94	19.3	6.50	11.0	27.9
Βαρυμπόμπη	84	9.40	9.20	5.00	15.9
Αίγινα	119	14.2	5.00	8.60	21.6
Ave_PM₁	126	12.9	5.30	8.00	18.4
OC					
Πεντέλη	109	4.10	0.80	2.73	5.24
Βοτανικός	71	4.46	1.63	3.20	6.00
Αίγινα	118	2.39	0.75	1.62	3.27
Ave_OC	126	3.53	0.87	2.25	4.51
EC					
Πεντέλη	109	0.48	0.22	0.23	0.77
Βοτανικός	71	1.80	0.84	0.82	2.92
Αίγινα	118	0.44	0.20	0.20	0.68
Ave_EC	126	0.72	0.37	0.28	1.26
NH₄					
Πεντέλη	109	1.25	0.89	0.38	2.44
Βοτανικός	71	1.20	0.97	0.18	2.92
Αίγινα	104	1.21	0.93	0.25	2.64
Ave_NH₄	126	1.22	0.87	0.31	2.60
SO₄					
Πεντέλη	94	4.62	2.00	2.39	7.48
Βοτανικός	71	5.19	2.94	2.23	9.82
Αίγινα	114	4.72	2.90	1.56	8.35
Ave_SO₄	126	4.98	2.40	2.34	8.90

4.4.1.1 Μέγιστες και ελάχιστες συσχετίσεις μεταξύ των σταθμών κάθε δείκτη

Διερευνώντας τις συσχετίσεις μεταξύ των σταθμών για κάθε δείκτη, στα PM_{10} , η μέγιστη συσχέτιση προέκυψε μεταξύ των σταθμών Αγίας Παρασκευής και Αίγινας με συντελεστή συσχέτισης $r = 0.549$ ($P = 0.022$), ενώ η ελάχιστη συσχέτιση παρουσιάστηκε μεταξύ των σταθμών Βαρυμπόμπης και Αίγινας ($r = -0.115$, $P = 0.315$).

Για τον οργανικό άνθρακα (OC) η μέγιστη συσχέτιση σημειώθηκε μεταξύ των σταθμών Γεωπονικού και Αίγινας με βαθμό συσχέτισης $r = 0.42$ ($P = 0.001$) ενώ η ελάχιστη μεταξύ των σταθμών Αίγινας και Πεντέλης ($r = 0.04$, $P = 0.699$).

Όσον αφορά τον στοιχειακό άνθρακα (EC), ο συντελεστής συσχέτισης προέκυψε μέγιστος μεταξύ των σταθμών Πεντέλης και Βοτανικού ($r = 0.57$, $P < 0.001$) και ελάχιστος μεταξύ των σταθμών Αίγινας και Γεωπονικού παρουσιάζοντας αρνητικό συντελεστή συσχέτισης ($r = -0.05$ ($P = 0.689$)).

Για τον δείκτη των ιόντων αμμωνίου (NH_4^+) ο μέγιστος συντελεστής συσχέτισης παρατηρήθηκε μεταξύ Πεντέλης και Βοτανικού ($r = 0.83$, $P < 0.001$), ενώ ελάχιστος ήταν ο βαθμός συσχέτισης μεταξύ Πεντέλης και Αίγινας σημειώνοντας $r = 0.65$ ($P < 0.001$).

Τέλος, τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) παρουσίασαν μέγιστο βαθμό συσχέτισης μεταξύ των σταθμών Γεωπονικού και Αίγινας ($r = 0.82$, $P < 0.001$), ενώ ελάχιστο μεταξύ των σταθμών Πεντέλης και Αίγινας ($r = 0.57$, $P < 0.001$).

4.4.1.2 Συσχετίσεις μεταξύ των Δεικτών ρύπανσης

Η συσχέτιση κάθε δείκτη ρύπανσης με τους υπόλοιπους, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.8. Σημαντική συσχέτιση καταγράφεται τόσο μεταξύ των PM_{10} και των θεικών ιόντων, όσο και μεταξύ των PM_{10} και του στοιχειακού άνθρακα, γεγονός το οποίο υποδεικνύει τις συγκεκριμένες ενώσεις ως συστατικά του συγκεκριμένου κλάσματος. Ιδιαίτερα σημαντική προέκυψε και η συνάφεια μεταξύ των ιόντων αμμωνίου και των θεικών ιόντων, η χημική ένωση των οποίων αποδίδει το θειικό αμμώνιο σύμφωνα με τη χημική αντίδραση: $SO_4 + NH_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$. Ο στοιχειακός και ο οργανικός άνθρακας φαίνεται επίσης να συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό, αποδεικνύοντας την ύπαρξη κοινών τοπικών πηγών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: Συσχετίσεις μεταξύ των Δεικτών ρύπανσης

	PM _{2.5}	PM ₁	SO ₄	NH ₄	EC	OC
PM _{2.5}	1.00					
PM ₁	0.51	1.00				
SO ₄ ²⁻	0.51	0.72	1.00			
NH ₄ ⁺	0.35	0.39	0.83	1.00		
EC	0.32	0.75	0.50	0.20	1.00	
OC	0.40	0.68	0.64	0.37	0.77	1.00

4.4.2. Περιγραφικά Δεικτών Υγείας

Τα περιγραφικά δεδομένα των δεικτών υγείας συνοψίζονται στον Πίνακα 4.9. Όσον αφορά την ολική θνησιμότητα περισσότερο πλήττονται, όπως ήταν αναμενόμενο, οι ηλικίες άνω των 75 ετών. Συγκρίνοντας την καρδιαγγειακή με την αναπνευστική θνησιμότητα, συμπεραίνουμε ότι οι θάνατοι που έχουν ως αιτία τα καρδιαγγειακά νοσήματα, είναι πολύ μεγαλύτεροι σε αριθμό, έναντι αυτών που προκαλούνται από αναπνευστικά αίτια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: Περιγραφικά Δεικτών υγείας

Δείκτες υγείας	Ηλικίες	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	25 ^ο τεταρτημόριο	75 ^ο τεταρτημόριο
Ολική θνησιμότητα	Όλες οι ηλικίες	81.3	12.3	73.0	89.0
	<75	26.2	5.56	22.0	30.0
	>75	55.0	9.65	49.0	60.0
Καρδιαγγειακή θνησιμότητα	Όλες οι ηλικίες	36.5	7.58	31.0	41.0
	<75	9.33	3.14	7.00	11.0
	>75	27.2	6.56	23.0	31.0
Αναπνευστική θνησιμότητα	Όλες οι ηλικίες	9.27	3.34	7.00	11.0
	>75	7.31	2.98	5.00	9.00

4.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΕΙΚΤΗ ΥΓΕΙΑΣ

Εν συνεχεία παρουσιάζονται σε Πίνακες και Διαγράμματα τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν στο στατιστικό πακέτο R και η επίδραση κάθε δείκτη ρύπανσης σε κάθε δείκτη υγείας. Παρακάτω, αφού έχει υπολογιστεί το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR) για κάθε δείκτη έκθεσης, που ορίζεται ως η διαφορά των τιμών του 75^{ου} και 25^{ου} τεταρτημορίου, παρουσιάζεται το ποσοστό μεταβολής κάθε δείκτη υγείας για αύξηση των συστατικών του PM_{2.5} κατά 1 IQR με 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Τα αποτελέσματα για κάθε δείκτη ρύπανσης περιλαμβάνουν το lag0, το lag1 και το lag01. Το lag0 αφορά την έκθεση σε ρύπανση την ίδια μέρα με τη μέτρηση του κάθε δείκτη υγείας, το lag1 αναφέρεται στη μέτρηση της έκθεσης την προηγούμενη ημέρα από τον μετρούμενο δείκτη υγείας και το lag01 αποτελεί τον μέσο όρο της έκθεσης των δυο ημερών. Τα ποσοστά αύξησης στους δείκτες θνησιμότητας αναμένεται να είναι μεγαλύτερα στα lag01 εφόσον είναι επιβλαβέστερο για τον πληθυσμό να εκτίθεται σε ατμοσφαιρική ρύπανση για δυο συνεχόμενες μέρες από το να εκτίθεται μια μέρα.

Σημειώνεται ότι οι ρύποι που μελετήθηκαν και αναλύθηκαν (PM₁, EC, OC, SO₄²⁻, NH₄⁺), περιέχονται στο κλάσμα των PM_{2.5}.

4.5.1 Ολική Θνησιμότητα

Η ανάλυση δεδομένων έδειξε ότι με εξαίρεση τον οργανικό (OC) και το στοιχειακό (EC) άνθρακα οι υπόλοιποι δείκτες ρύπανσης παρουσιάζουν υψηλότερες και στατιστικά σημαντικότερες τιμές στο lag1 σε σχέση με το lag0 (Πίνακας 4.10). Η συγκεκριμένη διαπίστωση υποδεικνύει τις εντονότερες επιπτώσεις των PM₁, SO₄²⁻, NH₄⁺ και PM_{2.5} στην ολική θνησιμότητα μια ημέρα μετά την έκθεση του πληθυσμού. Σε αντίθεση δηλαδή με τους υπολοίπους ρύπους, ο οργανικός και ο στοιχειακός άνθρακας πιθανόν να έχουν πιο άμεση επίδραση στην ολική θνησιμότητα.

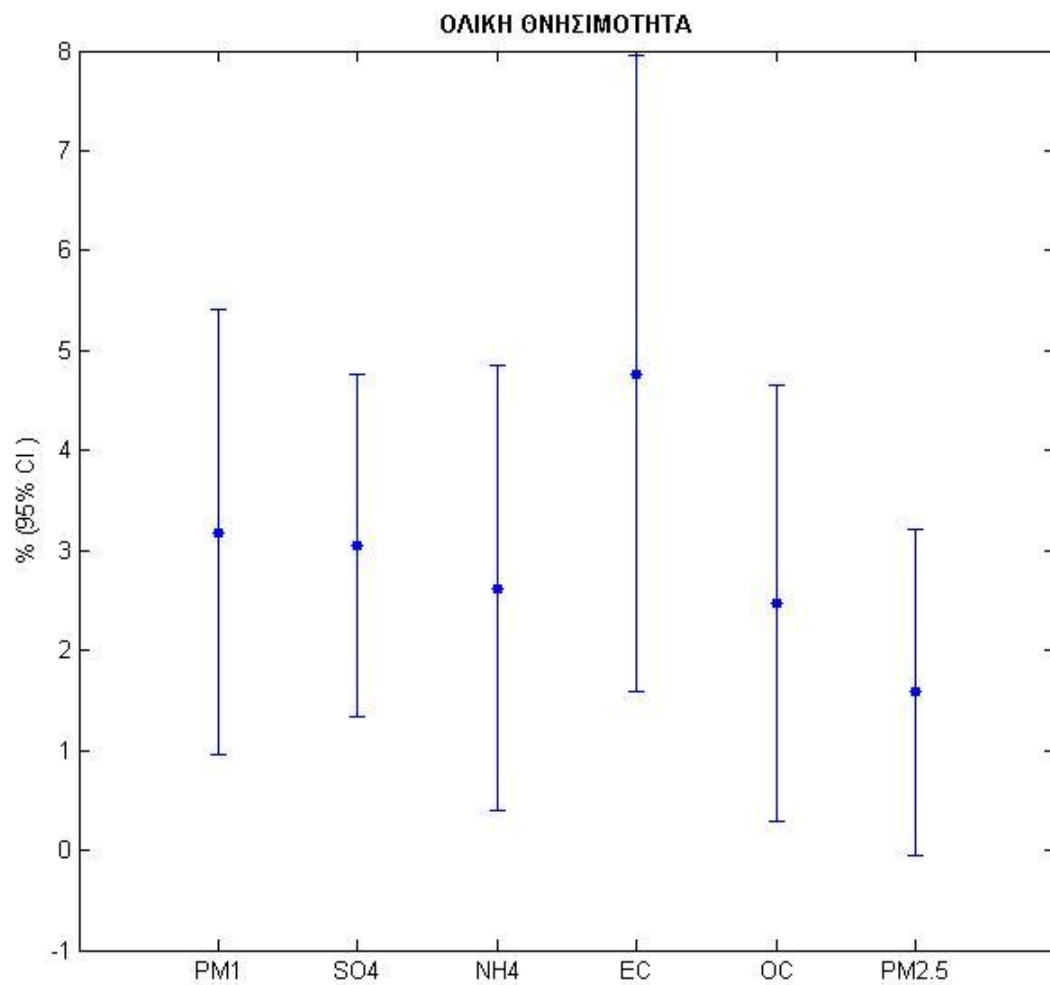
Ο στοιχειακός άνθρακας (EC) φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο την ολική θνησιμότητα καθώς μια αύξηση του κατά 1 IQR είναι ικανή να προκαλέσει αύξηση της ολικής θνησιμότητας κατά 4.8% [95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (CI): 1.63% με 8%]. Καθώς το μηδέν δεν περιέχεται στο 95% διάστημα εμπιστοσύνης, η

προκύπτουσα τιμή είναι και στατιστικά σημαντική. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι και τα PM_{10} σχετίζονται σημαντικά με την ολική θνησιμότητα, και συγκεκριμένα μια αύξησή τους κατά 1 IQR συνδέεται με αύξηση της ολικής θνησιμότητας κατά 3.2%. Να σημειωθεί ακόμα ότι οι τιμές για όλα τα lag σημειώθηκαν υψηλότερες στα PM_{10} σε σχέση με τα $PM_{2.5}$. Τα PM_{10} δηλαδή συνδέονται σε μεγαλύτερο βαθμό με την ολική θνησιμότητα από ότι τα $PM_{2.5}$. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει και τη βιβλιογραφία που αναφέρει ότι όσο μικρότερη είναι η διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων, τόσο επιβλαβέστερα είναι για την ανθρώπινη υγεία (Wichmann and Peters, 2000, Samet 2000, Chow et al., 2002, Stieb et al., 2002, Fernandez et al., 2003, Ramgolan et.al, 2008).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια ολική θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR.

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75 ^ο -25 ^ο ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	lag 0		lag 1		lag01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
$PM_{2.5}$	11.5	1.70	(0.07, 3.37)	1.85	(0.25, 3.48)	1.58	(0.04, 3.24)
PM_{10}	6.20	2.30	(0.25, 4.38)	3.01	(1.15, 4.90)	3.18	(0.97, 5.43)
SO_4^{2-}	2.15	2.17	(0.65, 3.71)	2.77	(1.28, 4.29)	3.05	(1.35, 4.79)
NH_4^+	0.90	1.89	(-0.01, 3.82)	2.08	(0.18, 4.01)	2.62	(0.41, 4.87)
EC	0.51	4.82	(1.96, 7.77)	3.04	(0.41, 5.74)	4.77	(1.63, 8.00)
OC	1.14	2.51	(0.35, 4.71)	1.65	(-0.45, 3.79)	2.47	(0.31, 4.67)

Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται το ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών των σωματιδίων κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01.



Σχήμα 4.1: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

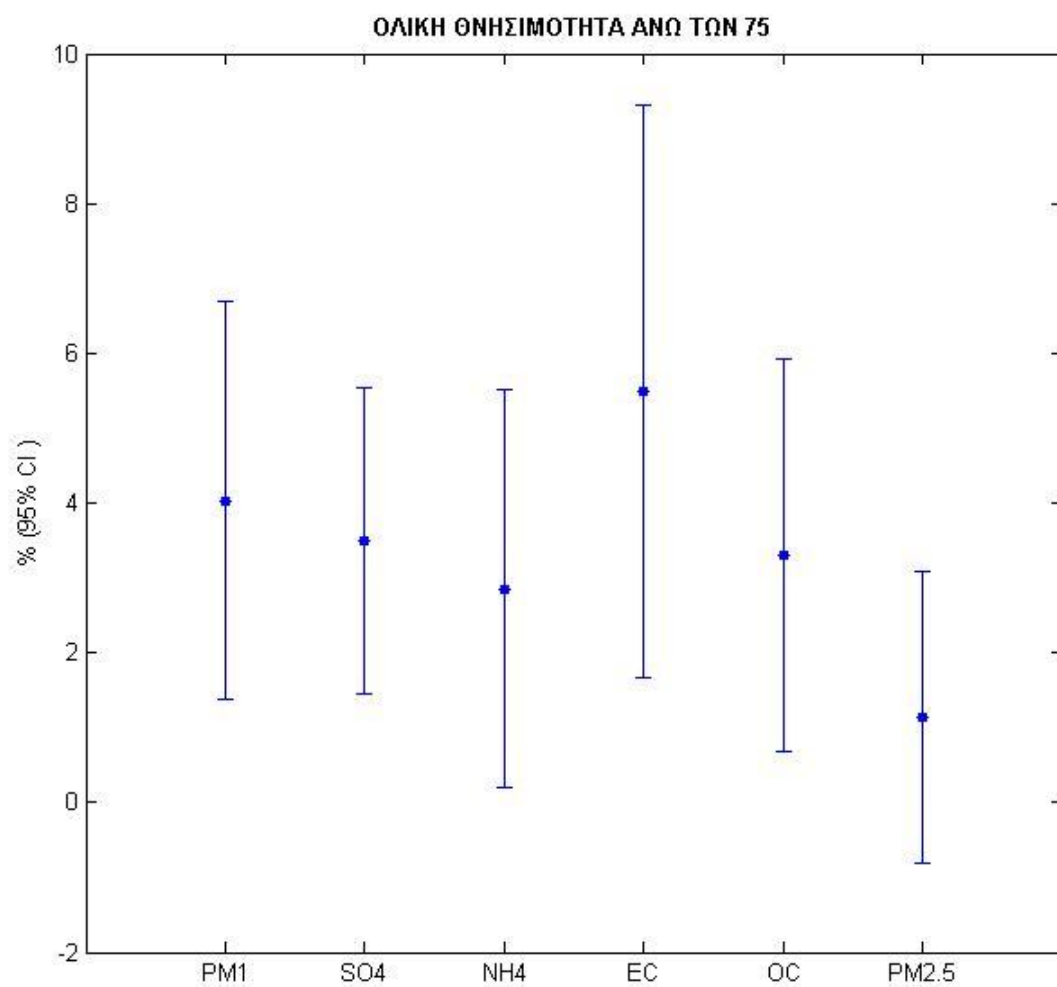
4.5.2 Θνησιμότητα Ηλικιών Άνω Των 75

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα ποσοστά αύξησης της θνησιμότητας ηλικιών άνω των 75 ετών όπως παρουσιάζονται στα lag01 αποδείχθηκαν υψηλότερα της ολικής θνησιμότητας για όλους τους δείκτες ρύπανσης (Πίνακας 4.10, 4.11). Εξαιρέση αποτελούν τα $PM_{2.5}$. Παρατηρείται και εδώ ότι οι δείκτες ρύπανσης παρουσιάζουν υψηλότερες και στατιστικά σημαντικότερες τιμές στο lag1 σε σχέση με το lag0. Εξαιρέση αποτελούν πάλι ο στοιχειακός και ο οργανικός άνθρακας.

Ο στοιχειακός άνθρακας που περιέχεται στο κλάσμα των $PM_{2.5}$ βρέθηκε να επηρεάζει περισσότερο και την θνησιμότητα ηλικιών άνω των 75 ετών αφού αύξηση του EC κατά 1 IQR συνδέεται με ποσοστό αύξησης της θνησιμότητας άνω των 75 κατά 5.5%. Σημαντική επίσης αποδείχθηκε και η επίδραση των PM_1 , που συνδέθηκαν με την αύξηση της θνησιμότητας στις ηλικίες άνω των 75% ετών με ποσοστό 4% (Σχήμα 4.2). Όπως και στην ολική θνησιμότητα, έτσι και εδώ, τα PM_1 φαίνεται να ευθύνονται για μεγαλύτερα ποσοστά αύξησης της θνησιμότητας για ηλικίες άνω των 75 ετών συγκριτικά με τα $PM_{2.5}$. Μπορεί να διαπιστωθεί και εδώ ότι τα μικρότερα σωματίδια είναι περισσότερο επικίνδυνα, καθώς έχουν τη δυνατότητα να διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες. (Wichmann and Peters, 2000, Samet 2000, Chow et al., 2002, Stieb et al., 2002, Fernandez et al., 2003, Ramgolam et.al, 2008).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του PM_{2.5} κατά 1 IQR.

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75 ^ο -25 ^ο (μg/m ³)	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
PM _{2.5}	11.5	1.19	(-0.75, 3.17)	2.47	(0.57, 4.41)	1.14	(-0.79, 3.11)
PM ₁	6.20	2.42	(-0.01, 4.90)	3.91	(1.71, 4.17)	4.03	(1.40, 6.72)
SO ₄ ²⁻	2.15	2.13	(0.32, 3.97)	3.42	(1.64, 5.23)	3.50	(1.47, 5.58)
NH ₄ ⁺	0.90	0.86	(0.13, 1.60)	2.60	(0.34, 4.91)	2.85	(0.23, 5.54)
EC	0.51	5.00	(1.58, 8.53)	3.73	(0.58, 6.98)	5.49	(1.73, 9.38)
OC	1.14	3.32	(0.74, 5.97)	2.38	(-0.13, 4.96)	3.30	(0.71, 5.95)



Σχήμα 4.2: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας άνω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

4.5.3 Θνησιμότητα Ηλικιών Κάτω Των 75

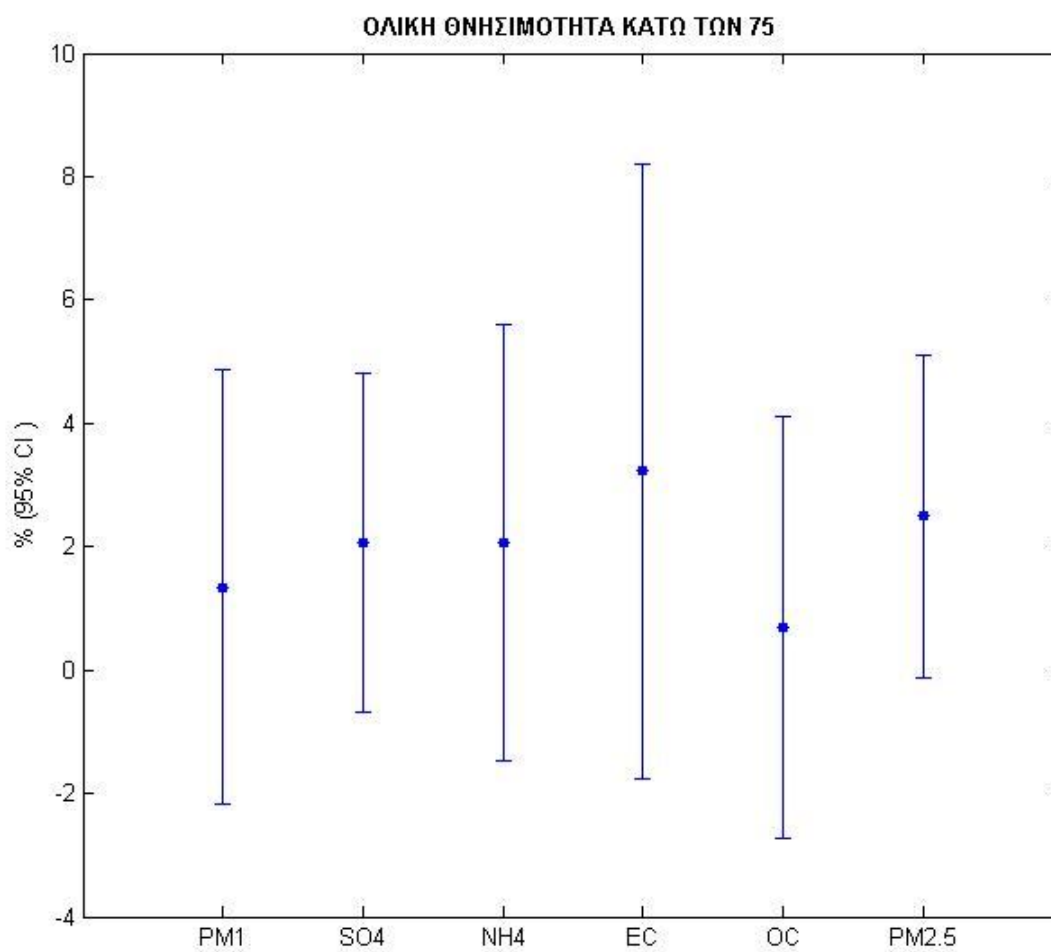
Ο στοιχειακός άνθρακας είναι αυτός που επηρεάζει περισσότερο και το συγκεκριμένο δείκτη θνησιμότητας (Πίνακας 4.12, Σχήμα 4.3), εφόσον μια αύξηση του κατά 1 IQR προκαλεί αύξηση της θνησιμότητας κατά 3.2%.

Όπως προκύπτει από τη στήλη του lag01, σε ηλικίες μικρότερες των 75 ετών, τα ποσοστά αύξησης της θνησιμότητας λόγω των υπό εξέταση δεικτών ρύπανσης αποδεικνύονται μικρότερα από τις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Εξαίρεση αποτελούν τα $PM_{2.5}$ όπου το ποσοστό αύξησης ήταν μεγαλύτερο. Συγκεκριμένα, αύξηση των $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR προκαλεί αύξηση της θνησιμότητας σε πληθυσμό με ηλικίες κάτω των 75 ετών σε ποσοστό 2.5%. Σημειώνεται, ότι σε αυτή την κατηγορία οι τιμές του lag1 είναι διπλάσια της τιμής του lag0. Ίσως οι μικρότερες ηλικίες να επηρεάζονται πιο άμεσα από την εκπομπή των ρύπων. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες δυο κατηγορίες όπου τα PM_1 συνδέονταν με υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας από τα $PM_{2.5}$, εδώ τα $PM_{2.5}$ συμβάλλουν στην αύξηση θνησιμότητας με ποσοστό υψηλότερο από τα PM_1 .

Τα $PM_{2.5}$ συνεπώς φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο τον νεότερο σε ηλικία πληθυσμό και λιγότερο τους ηλικιωμένους. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι μικρότερες ηλικιακά ομάδες κυκλοφορούν συχνότερα και επομένως είναι περισσότερο εκτεθειμένες στη ρύπανση που προέρχεται από την κυκλοφορία των οχημάτων. Επιπλέον, οι νεότεροι άνθρωποι συχνά ασκούνται εντονότερα (τρέξιμο, ποδήλατο) πράγμα που σημαίνει ότι εισπνέουν συχνότερα και βαθύτερα. Έτσι, ο αέρας εισχωρεί βαθύτερα μέσα στους πνεύμονες, επιβαρύνοντας της υγεία των έντονα ασκούμενων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια θνησιμότητα (για ηλικίες κάτω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του PM_{2.5} κατά 1 IQR.

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75°25° (μg/m ³)	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
PM _{2.5}	11.5	2.76	(0.16, 5.42)	5.24	(0.26,10.5)	2.49	(-1.28, 8.86)
PM ₁	6.20	1.98	(-1.27, 5.33)	1.04	(-1.91, 4.08)	1.34	(-2.13, 4.92)
SO ₄ ²⁻	2.15	2.22	(-0.20, 4.70)	1.39	(-0.97, 3.81)	2.06	(-0.63, 4.84)
NH ₄ ⁺	0.90	2.28	(-0.75, 5.40)	0.94	(-2.05, 4.02)	2.06	(-1.42, 5.67)
EC	0.51	4.39	(-0.12, 9.11)	1.59	(-2.48, 5.84)	3.22	(-1.65, 8.33)
OC	1.14	0.78	(-2.58, 4.26)	0.09	(-3.16, 3.45)	0.69	(-2.67, 4.17)



Σχήμα 4.3: Ποσοστό αύξησης της ολικής θνησιμότητας κάτω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

4.5.4 Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών

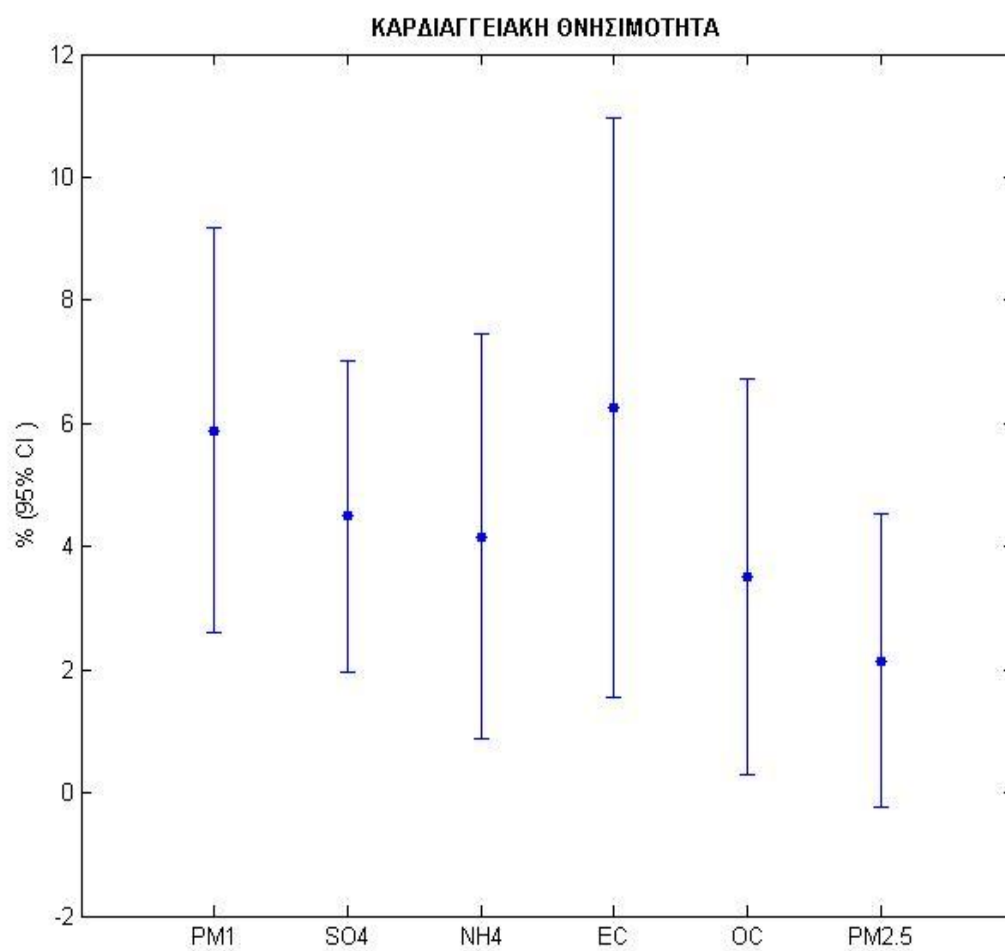
Όσον αφορά την καρδιαγγειακή θνησιμότητα όλα τα ποσοστά αύξησης εμφανίζονται υψηλότερα από την ολική θνησιμότητα, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των lag01. (Πίνακας 4.13, Σχήμα 4.4). Σημειώνεται ότι τόσο στα PM_{2.5}, όσο και στα ιόντα αμμωνίου που περιέχονται στα PM_{2.5}, οι προκύπτουσες τιμές των lag1 είναι υψηλότερες από τις τιμές των lag0.

Ο στοιχειακός άνθρακας κατέχει την πρώτη θέση και ως προς το ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας. Παρατηρείται ότι μια αύξηση του EC αντιστοιχεί σε αύξηση των θανάτων λόγω καρδιαγγειακών νοσημάτων με ποσοστό 6.3% (CI: 1.65-11.08). Σημαντική είναι και η επίδραση των PM₁ καθώς αυξάνουν την καρδιαγγειακή θνησιμότητα κατά 5.9% (CI: 2.65-9.23) και σε σύγκριση με τα PM_{2.5} ευθύνονται σε σημαντικά υψηλότερο ποσοστό για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα.

Σε έρευνα που πραγματοποίησαν οι Ostro, et.al (2006) σε έξι πολιτείες της Καλιφόρνιας μελετώντας τις επιδράσεις των σωματιδίων στη θνησιμότητα, έδειξαν ότι τόσο ο στοιχειακός άνθρακας όσο και τα PM_{2.5} ευθύνονται για αύξηση της καρδιαγγειακής θνησιμότητας κατά 1.6%, ενώ ο οργανικός άνθρακας φαίνεται να της προκαλεί αύξηση κατά 1.5%, ποσοστά αρκετά μικρότερα από αυτό που προέκυψαν στην παρούσα μελέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του PM_{2.5} κατά 1 IQR.

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75°25° (μg/m ³)	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
PM _{2.5}	11.5	2.09	(-0.28, 4.52)	1.91	(-0.42, 4.29)	2.15	(-0.22, 4.56)
PM ₁	6.20	3.67	(0.72, 6.72)	5.15	(2.43, 7.93)	5.89	(2.65, 9.23)
SO ₄ ²⁻	2.15	3.17	(0.95, 5.44)	3.75	(1.55, 5.99)	4.49	(1.98, 7.05)
NH ₄ ⁺	0.90	3.25	(0.47, 6.10)	2.93	(0.14, 5.79)	4.16	(0.92, 7.50)
EC	0.51	4.28	(0.12, 8.61)	5.08	(1.19, 9.11)	6.26	(1.65, 11.1)
OC	1.14	3.47	(0.32, 6.72)	3.79	(0.69, 6.98)	3.50	(0.33, 6.76)



Σχήμα 4.4: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

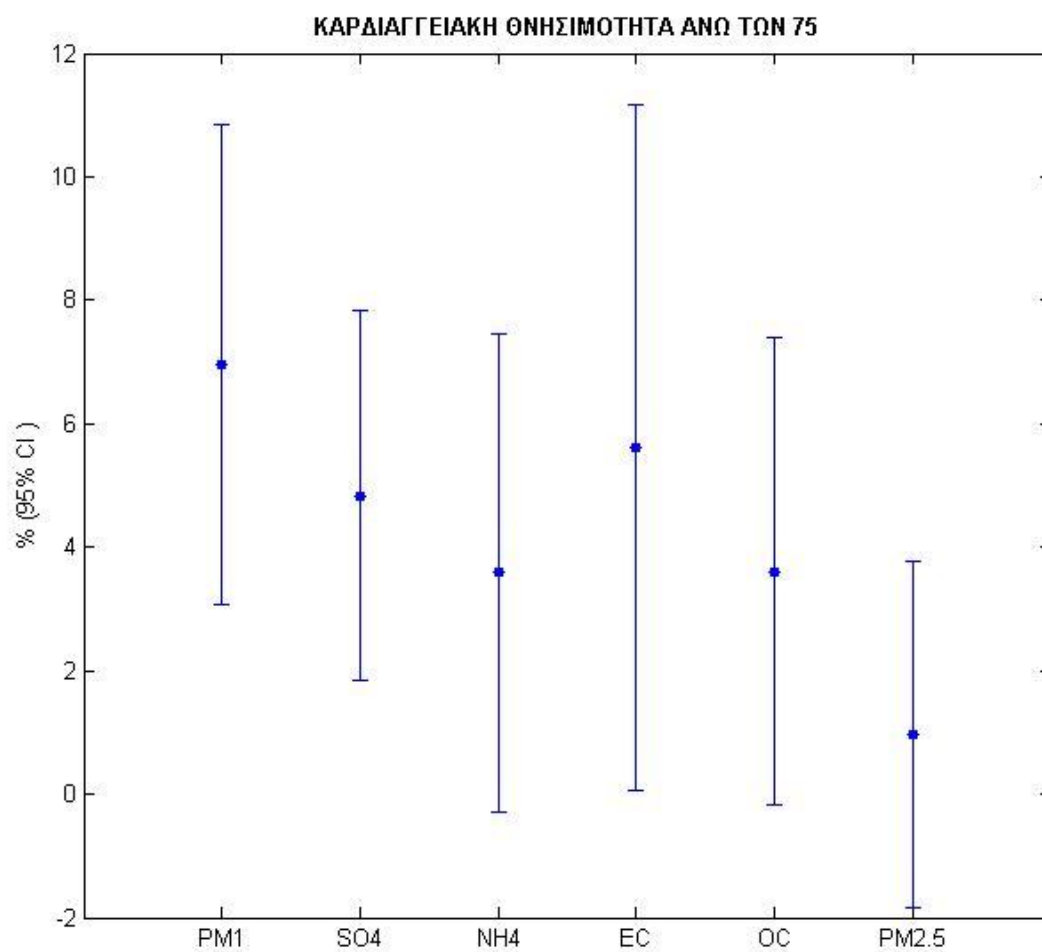
4.5.5 Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών Ηλικιών Άνω Των 75

Συγκρίνοντας την καρδιαγγειακή θνησιμότητα με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα στους ηλικιωμένους, προκύπτει ότι τα ποσοστά αύξησης όλων των ρύπων στη δεύτερη περίπτωση είναι μεγαλύτερα εκτός από τα ιόντα αμμωνίου και τα $PM_{2.5}$ (Πίνακας 4.14, Σχήμα 4.5). Σημειώνεται επίσης, ότι εδώ όλες οι τιμές στα lag1 είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες των lag0. Αυτό σημαίνει ότι οι ηλικιωμένοι πλήττονται περισσότερο όσον αφορά τα καρδιαγγειακά, αφού επέλθει μια ημέρα από την έκθεσή τους σε ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα PM_1 φαίνεται να είναι αυτά που επηρεάζουν περισσότερο την καρδιαγγειακή θνησιμότητα των ηλικιωμένων, εφόσον εν αντιθέσει με τα $PM_{2.5}$, ευθύνονται για αύξηση αυτής κατά 7% (CI: 3.13-10.92), ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό και στατιστικά σημαντικό.

Οι Ostro et al. (2006) βρήκαν επίσης συσχέτιση των θειικών ιόντων με τη καρδιαγγειακή θνησιμότητα στους ηλικιωμένους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR.

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75°-25°	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
$PM_{2.5}$	11.5	0.75	(-2.04,3.61)	2.48	(-0.26, 5.30)	0.97	(-1.80, 3.82)
PM_1	6.20	3.01	(-0.46, 6.59)	6.69	(3.51, 9.97)	6.96	(3.13, 10.9)
SO_4^{2-}	2.15	2.64	(0.02, 5.32)	4.56	(1.97, 7.22)	4.83	(1.87, 7.88)
NH_4^+	0.90	2.08	(-1.16, 5.42)	3.16	(-0.11, 6.54)	3.59	(-0.20, 7.53)
EC	0.51	3.08	(-1.78, 8.17)	4.76	(0.19, 9.54)	5.62	(0.21, 11.3)
OC	1.14	3.54	(-0.16, 7.38)	3.85	(0.21, 7.63)	3.61	(-0.11, 7.47)



Σχήμα 4.5: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας άνω των 745 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

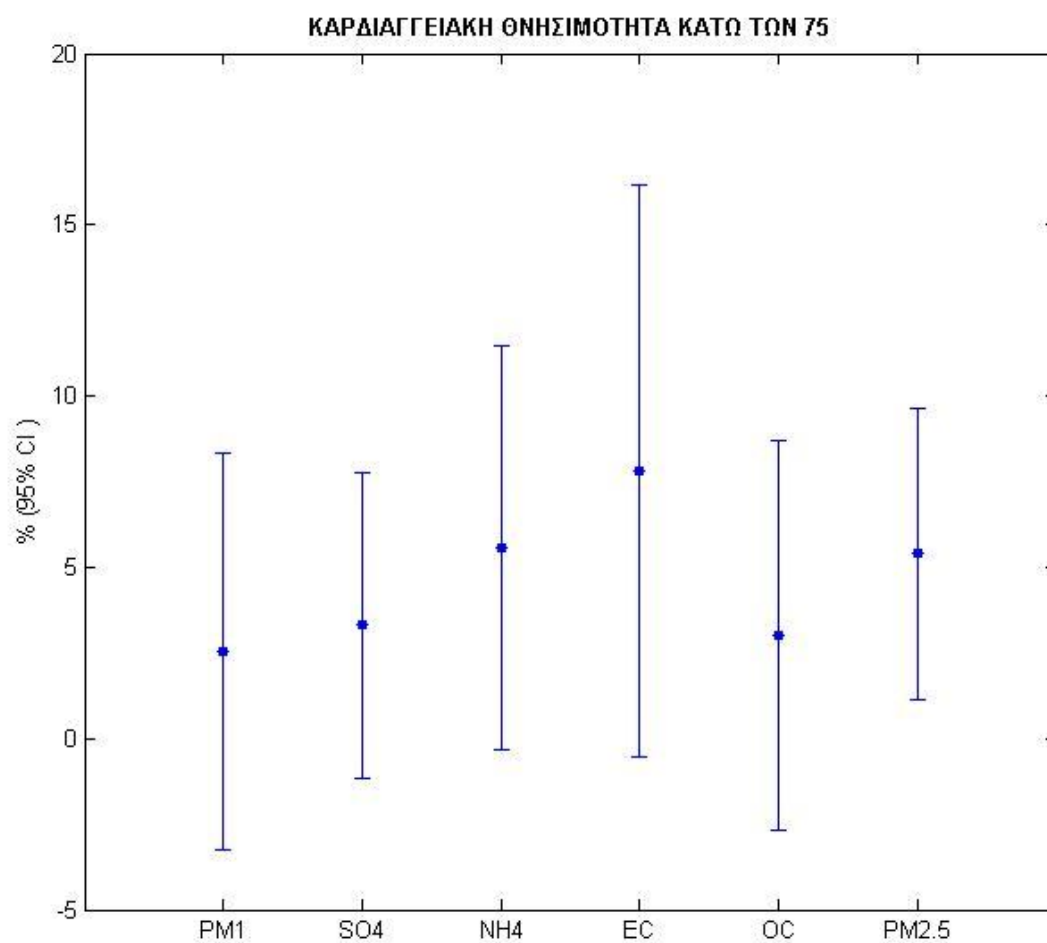
4.5.6. Θνησιμότητα Λόγω Καρδιαγγειακών Ηλικιών Κάτω Των 75

Σε σχέση με τους άλλους δυο δείκτες καρδιαγγειακής θνησιμότητας, εδώ τα ποσοστά αύξησης για τα PM_{10} , τα θειικά ιόντα και τον οργανικό άνθρακα είναι μικρότερα. Αντίθετα, για τα ιόντα αμμωνίου, το στοιχειακό άνθρακα και τα $PM_{2.5}$, προέκυψαν αρκετά υψηλότερα ποσοστά αύξησης. Όπως προαναφέρθηκε, το γεγονός ότι οι νεότεροι άνθρωποι λόγω των δραστηριοτήτων τους κυκλοφορούν περισσότερο και εκτίθενται συχνότερα στις εκπομπές των μηχανών καύσης αποτελεί πιθανώς την εξήγηση.

Η καρδιαγγειακή θνησιμότητα για ηλικίες κάτω των 75 ετών παρουσιάζει ισχυρότερη συσχέτιση με τον στοιχειακό άνθρακα ο οποίος αυξάνει τον δείκτη σε ποσοστό 7.8%. Λιγότερο ισχυρή αλλά εξίσου σημαντική είναι και η επίδραση των ιόντων αμμωνίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια καρδιαγγειακή θνησιμότητα (για ηλικίες κάτω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75 ^ο -25 ^ο	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
$PM_{2.5}$	11.5	5.79	(1.57,10.18)	0.29	(-3.75, 4.5)	5.40	(1.22, 9.74)
PM_{10}	6.20	5.31	(0, 10.9)	0.34	(-4.42, 5.35)	2.54	(-3.07, 8.48)
SO_4^{2-}	2.15	4.50	(0.54, 8.63)	1.26	(-2.56, 5.22)	3.31	(-1.07, 7.88)
NH_4^+	0.90	6.55	(1.52,11.84)	2.04	(-2.83, 7.17)	5.59	(-0.15, 11.66)
EC	0.51	7.52	(0.07,15.52)	5.78	(-0.98, 13)	7.80	(-0.23, 16.48)
OC	1.14	3.13	(-2.45, 9.02)	3.40	(-2.03, 9.12)	2.99	(-2.55, 8.84)



Σχήμα 4.6: Ποσοστό αύξησης της καρδιαγγειακής θνησιμότητας κάτω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

4.5.8 Θνησιμότητα Λόγω Αναπνευστικών

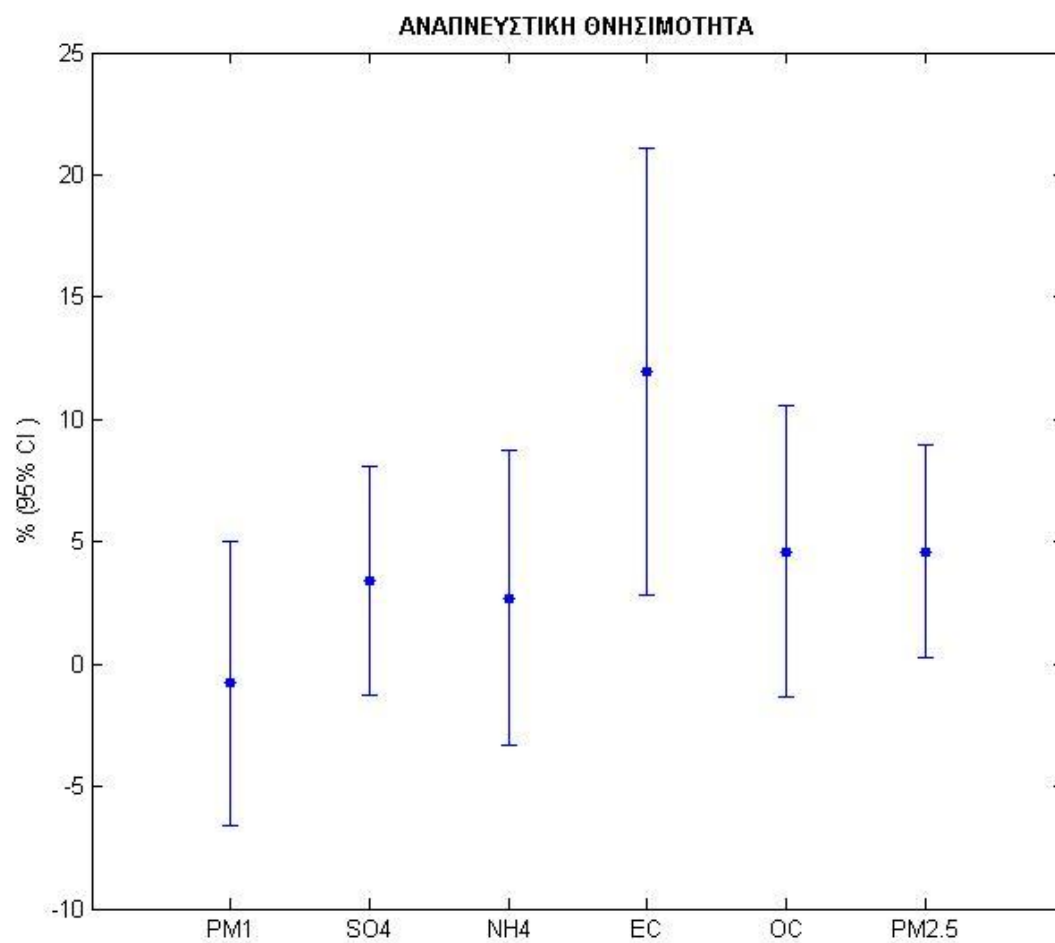
Στην αναπνευστική θνησιμότητα τα ποσοστά αύξησης ανά ρύπο για τα lag0 προέκυψαν υψηλότερα από αυτά των lag1. Από αυτό μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι επιπτώσεις στον πληθυσμό αναφορικά με την αναπνευστική θνησιμότητα είναι εντονότερες την ίδια μέρα κατά την οποία εκτίθεται σε ρύπανση, από ότι μια ημέρα μετά.

Ο στοιχειακός άνθρακας είναι αυτός που επηρεάζει σε ιδιαίτερα σημαντικό βαθμό και την αναπνευστική θνησιμότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι για αύξηση του EC κατά 1 IQR προέκυψε αύξηση της αναπνευστικής θνησιμότητας κατά 12%. (CI: 3.21-21.45). Τονίζεται ότι το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα υψηλό και στατιστικά σημαντικό και αποτελεί το μεγαλύτερο, σε κάθε περίπτωση, ποσοστό. Όσον αφορά τα PM_{2.5} συμβάλλουν στην αύξηση της αναπνευστικής θνησιμότητας με ποσοστό 4.6%, ενώ αντίθετα τα PM₁ φαίνεται να μην επηρεάζουν την αναπνευστική θνησιμότητα που αφορά όλες τις ηλικίες.

Οι Atkinson et al (2010) έδειξαν επίσης συσχέτιση μεταξύ των PM_{2.5} και της αναπνευστικής θνησιμότητας, ενώ συνέδεσαν υψηλές συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων με εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών προβλημάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.16: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια αναπνευστική θνησιμότητα (για όλες τις ηλικίες) για αύξηση των συστατικών του PM_{2.5} κατά 1 IQR

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75°-25°	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
PM _{2.5}	11.5	5.37	(1.02, 9.90)	5.07	(0.76, 9.57)	4.61	(0.32, 9.08)
PM ₁	6.20	7.75	(2.21,13.6)	0.87	(-4.04, 6.03)	-0.77	(-6.42, 5.22)
SO ₄ ²⁻	2.15	4.80	(0.67, 9.11)	1.71	(-2.27, 5.86)	3.42	(-1.16, 8.22)
NH ₄ ⁺	0.90	4.36	(-0.77, 9.75)	0.06	(-4.88, 5.26)	2.71	(-3.11,8.88)
EC	0.51	13.45	(5.36,22.2)	8.07	(0.85, 15.8)	12.0	(3.21,21.5)
OC	1.14	4.80	(-1.02, 11.1)	3.36	(-2.25, 9.30)	4.60	(-1.17, 10.7)



Σχήμα 4.7: Ποσοστό αύξησης της αναπνευστικής θνησιμότητας με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

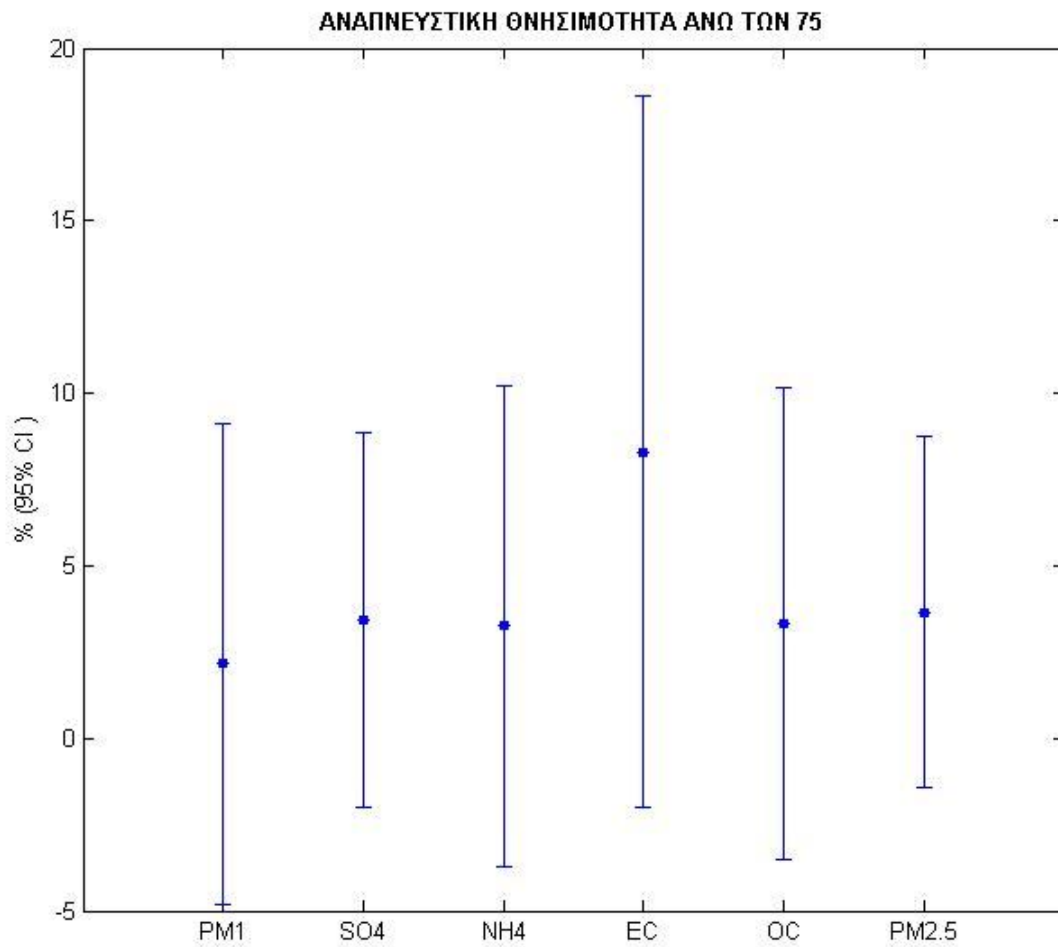
4.5.9 Θνησιμότητα Λόγω Αναπνευστικών Ηλικιών Άνω των 75

Όσον αφορά στην αναπνευστική θνησιμότητα ηλικιών άνω των 75 ετών, τα ποσοστά που καταγράφονται για τα PM_{10} και τα ιόντα αμμωνίου είναι υψηλότερα, ενώ για τους υπόλοιπους ρύπους είναι χαμηλότερα συγκριτικά με την αναπνευστική θνησιμότητα όλων των ηλικιών. Παρόλο που το ποσοστό αύξησης για τα PM_{10} εδώ σημείωσε άνοδο συγκριτικά με την προηγούμενη κατηγορία, συνεχίζει να διατηρείται μικρότερο του αντίστοιχου ποσοστού των $PM_{2.5}$, κάτι που υποδηλώνει ότι και την αναπνευστική θνησιμότητα ηλικιών άνω των 75 ετών περισσότερο επηρεάζουν τα $PM_{2.5}$.

Σημειώνεται ότι όταν η ημέρα μέτρησης του ρύπου συμπίπτει με την ημέρα μέτρησης της αναπνευστικής θνησιμότητας άνω των 75 ετών (lag0) τα ποσοστά αύξησης αποδεικνύονται υψηλότερα και στατιστικά σημαντικότερα από αυτά των lag1, εκτός από τα $PM_{2.5}$ που το ποσοστό τότε σημειώνεται υψηλότερο. Από τους υπό εξέταση δείκτες ρύπανσης, ο στοιχειακός άνθρακας είναι αυτός που σχετίζεται περισσότερο με την αναπνευστική θνησιμότητα των ηλικιωμένων, προκαλώντας αύξηση σε αυτή κατά 8.3%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.17: Ποσοστιαία Μεταβολή (με 95% Διάστημα εμπιστοσύνης) στην ημερήσια αναπνευστική θνησιμότητα (για ηλικίες άνω των 75 ετών) για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR

Δείκτης έκθεσης	IQR= 75 ^ο -25 ^ο	lag 0		lag 1		lag 01	
		%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε	%	95%Δ.Ε
$PM_{2.5}$	11.5	4.70	(-0.34, 9.99)	5.24	(0.26,10.5)	3.66	(-1.28, 8.86)
PM_{10}	6.20	8.77	(2.34,15.6)	-0.77	(-6.42, 5.21)	2.16	(-4.58, 9.37)
SO_4^{2-}	2.15	5.81	(1.00, 10.9)	1.19	(-3.39, 5.99)	3.41	(-1.87, 8.98)
NH_4^+	0.90	5.53	(-0.45, 11.9)	-0.11	(-5.80, 5.93)	3.25	(-3.48, 10.5)
EC	0.51	13.1	(3.72, 23.3)	4.41	(-3.68, 13.2)	8.30	(-1.51, 19.1)
OC	1.14	3.63	(-3.08, 10.8)	-0.25	(-6.50, 6.42)	3.31	(-3.30, 10.4)



Σχήμα 4.8: Ποσοστό αύξησης της αναπνευστικής θνησιμότητας άνω των 75 με 95% διάστημα εμπιστοσύνης για αύξηση των συστατικών του $PM_{2.5}$ κατά 1 IQR, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των lag01

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ανάλυση χρονοσειρών των PM για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής, οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων καθώς και των συστατικών τους, συσχετίστηκαν ισχυρά με την ολική, καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα. Όπως περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω, ο στοιχειακός άνθρακας φαίνεται να αποτελεί το πιο επικίνδυνο συστατικό των PM_{2.5} επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την αναπνευστική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Στη σειρά επικινδυνότητας ακολουθούν τα θειικά ιόντα, τα ιόντα αμμωνίου και τα PM₁.

Όσον αφορά τα PM_{2.5}, συσχετίστηκαν ισχυρά τόσο με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα κάτω των 75 ετών, προκαλώντας της αύξηση κατά 5.4%, όσο και με την αναπνευστική θνησιμότητα αυξάνοντάς τη κατά 4.7%. Ασθενής συσχέτιση της τάξης του 0.97%, καταγράφηκε μεταξύ των PM_{2.5} και της καρδιαγγειακής θνησιμότητας που αφορά τους ηλικιωμένους.

Τα PM₁ αποτέλεσαν μετά τον στοιχειακό άνθρακα, τον επιβλαβέστερο ρύπο σχετικά με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Συγκεκριμένα, συνδέθηκαν με αύξηση της καρδιαγγειακής θνησιμότητας των ηλικιωμένων κατά 7%, ενώ για όλες τις ηλικίες κατά 5.9%. Προέκυψε επίσης να ευθύνονται για αυξήσεις της ολικής θνησιμότητας όλων των ηλικιών και των ηλικιωμένων με ποσοστά 3.2% και 4% αντίστοιχα. Να σημειωθεί, ότι δεν υπήρξε συσχέτιση των PM₁ με την αναπνευστική θνησιμότητα. Υπογραμμίζεται ότι τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Αμερική οι μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για τις συγκεντρώσεις των PM₁ είναι εξαιρετικά περιορισμένες. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την έλλειψη αποδεικτικών στοιχείων σε περαιτέρω μελέτες για τις επιβλαβείς επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη του 1μm στην ανθρώπινη υγεία.

Συγκρίνοντας τα PM₁ με τα PM_{2.5} ως προς τη συνεισφορά τους σε όλες τις κατηγορίες θνησιμότητας, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ενώ για τους ηλικιωμένους επιβλαβέστερα αποδείχθηκαν τα PM₁ τόσο στην ολική όσο και στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα, οι νεότερες ηλικιακά ομάδες πλήττονται περισσότερο από τα PM_{2.5}.

Επιπροσθέτως, τα $PM_{2.5}$ συσχετίστηκαν με την αναπνευστική θνησιμότητα όλων των ηλικιών, σε αντίθεση με τα PM_1 .

Ο στοιχειακός άνθρακας (EC) συνδέθηκε με τα υψηλότερα ποσοστά αύξησης όλων των κατηγοριών θνησιμότητας. Συγκεκριμένα, αύξηση του EC κατά 1 IQR προκάλεσε αύξηση της αναπνευστικής θνησιμότητας κατά 12%. Διευκρινίζεται ότι το συγκεκριμένο ποσοστό ήταν το υψηλότερο που σημειώθηκε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα, προκάλεσε αύξηση κατά 6.3%, ενώ όταν επρόκειτο για ηλικιωμένους το ποσοστό ανήλθε στο 7.8%. Ευθύνεται επίσης για αύξηση της ολικής θνησιμότητας όλων των ηλικιών αλλά και των ηλικιωμένων κατά 4.8% και 5.5% αντίστοιχα. Ελάχιστη συσχέτιση με ποσοστό 3.2% σημειώθηκε μεταξύ του EC και της ολικής θνησιμότητας κάτω των 75 ετών.

Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}), όπως παρατηρήθηκε, επιδρούν αρνητικά στην θνησιμότητα που αφορά τα καρδιαγγειακά για ηλικίες άνω των 75 ετών αφού είναι ικανά να της προκαλέσουν αύξηση 4.8%. Συνδέθηκαν επίσης με αυξήσεις της ολικής και αναπνευστικής θνησιμότητας κατά 3.5%. Η μικρότερη συσχέτιση καταγράφηκε μεταξύ των θειικών ιόντων και της ολικής θνησιμότητας για ηλικίες κάτω των 75 ετών.

Τα ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) αποτελούν μετά τον στοιχειακό άνθρακα τον πιο επικίνδυνο ρύπο όσον αφορά την καρδιαγγειακή θνησιμότητα των ηλικιωμένων, αφού συνδέθηκαν με αύξησή της κατά 5.6%. Επιβαρύνουν επίσης το αναπνευστικό σύστημα, ευθυνόμενα με ποσοστό 3.3% για την αναπνευστική θνησιμότητα ηλικιών άνω των 75 ετών.

Ο οργανικός άνθρακας (OC) φάνηκε να πλήττει κυρίως την αναπνευστική θνησιμότητα, προκαλώντας της αύξηση κατά 4.6%. Σημαντική αύξηση της τάξης του 3.5% , προκάλεσε επίσης και στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα.

Συνοψίζοντας, στην αύξηση της ολικής θνησιμότητας όλων των ηλικιών αλλά και των ηλικιωμένων, συμβάλλουν περισσότερο ο στοιχειακός άνθρακας και τα PM_1 , ενώ στη θνησιμότητα του νεότερου πληθυσμού συμβάλλουν ο στοιχειακός άνθρακας και τα $PM_{2.5}$. Η καρδιαγγειακή θνησιμότητα των ηλικιωμένων περισσότερο πλήττεται εξαιτίας των PM_1 και του στοιχειακού άνθρακα, ενώ για τον νεότερο πληθυσμό καθοριστικό ρόλο παίζουν τόσο οι συγκεντρώσεις του στοιχειακού άνθρακα, όσο και των ιόντων αμμωνίου και των $PM_{2.5}$. Τέλος, όσον

αφορά στην αύξηση της αναπνευστικής θνησιμότητας περισσότερο ευθύνεται ο στοιχειακός άνθρακας, ενώ ακολουθούν τα $PM_{2.5}$ και ο οργανικός άνθρακας.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας επιβεβαιώνουν τη σύνδεση των $PM_{2.5}$ και των συστατικών τους με τη θνησιμότητα για την περιοχή της Αθήνας και καθιστούν τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης ζήτημα πρωταρχικής σημασίας με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας. Παρατίθενται παρακάτω κάποιες ενδεικτικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα όσον αφορά τη σύνδεση των σωματιδίων και των συστατικών τους με τα ανθρώπινη υγεία.

Η ύπαρξη μεγάλων χρονοσειρών όσον αφορά τους διάφορους ρύπους θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς η ύπαρξη δεδομένων για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα οδηγούσε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Επιπλέον θα μπορούσαν να δημιουργηθούν χρονοσειρές των ρύπων ξεχωριστά για την ψυχρή και την θερμή περίοδο αντίστοιχα, ώστε να συγκριθούν οι επιδράσεις των ρύπων στην υγεία ανάλογα με την εποχή.

Ενδιαφέρον θα ήταν να πραγματοποιηθεί μοντέλο παλινδρόμησης βασιζόμενο αυτή τη φορά στα PM_{10} , ούτως ώστε τα αποτελέσματα να συγκριθούν με αυτά που προέκυψαν για τα $PM_{2.5}$.

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για ολόκληρη την Ελλάδα, χρήσιμη θα ήταν η λήψη μετρήσεων από σε όλες τις μεγαλουπόλεις της χώρας που διαθέτουν μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού ή βιομηχανική δραστηριότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

- Seinfeld and Pandis (1998): “Atmospheric Chemistry and physics”
- Wilks (2006): “Statistical Methods in the Atmospheric sciences”
- Ασημακόπουλος Δ., Καρτάλης Κ. (2002): “Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Προστασία Περιβάλλοντος”
- Δελγιώργη Δ. (2010): “Ατμοσφαιρική Φυσική και Χημεία”
- Λαζαρίδης Μ. (2010): “ Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας”
- Ζερεφός Χ. (2009): “Εισαγωγικά Μαθήματα στη Φυσική της Ατμόσφαιρας”
- Σταυρινός Γ., Παναγιωτάκος Β. (2007): Βιοστατιστική

ΑΡΘΡΑ

- Analitis A, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Samoli E, Nikoloulopoulos AK, Petasakis Y, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Cambra K, Forastiere F, Zmirou D, Vonk JM, Clancy L, Kriz B, Bobvos J, Pekkanen J.(2006): “Short-term effects of ambient particles on cardiovascular and respiratory mortality”.

Epidemiology

- Atkinson R, Anderson R, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K.(2002): “Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results of the APHEA2 project”.

Epidemiology

- Atkinson R., Fuller G., Anderson R., Harrison, Armstrong B. (2010): “Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis”.

Epidemiology

- Brunekreef B. And Forsberg B. (2005): “Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health”

Medicine

- Brunekreef, B. (2010): “Air Pollution and Human Health: From Local to Global Issues Procedia”

Social and Behavioral Sciences

- Chow J.C., Watson J.G., Chen L.W., Arnott W.P., Moosmüller H. (2004): “Equivalence of Elemental Carbon by Thermal/Optical Reflectance and Transmittance with Different Temperature Protocols”

Environmental Science and Technology

- Chuang K., Chan C., Su T., Lin L., Lee C. (2007): “Associations between particulate sulfate and organic carbon exposures and heart rate variability in patients with or at risk for cardiovascular diseases”

Environmental Medicine

- Dagher Z., Garcon G., Billet S., Gosset P., Ledoux F., Courcot D., Aboukais A., Shirali P. (2006): “Activation of different pathways of apoptosis by air pollution particulate matter (PM2.5) in human epithelial lung cells (L132) in culture”

Toxicology

- Dockery, Douglas W. (2009): “Health Effects of Particulate Air Pollution”

Environmental Health

- Finlayson J., Pitts N. (2000): “Chemistry of the upper and lower atmosphere.

Academic Press

- Harrison and Yin (2000): “Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?”

The Science of the Total Environment

- Harrison R. and Yin J. (2008): “Sources and processes affecting carbonaceous aerosol in central England”

Atmospheric Environment

- Kassomenos P., Papaloukas C., Petrakis M., Karakitsios S. (2008): “Assessment and prediction of short term hospital admissions: the case of Athens, Greece”

Atmospheric Environment

- Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler Ch, Schwartz J. (2001): “Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project”.

Epidemiology

- Le Tertre A., Medina S., Samoli E., Forsberg B., Michelozzi P., Boumghar A., VonK M., Bellini A., Atkinson R., Ayres G., Sunyer J., Schwartz J., Katsouyianni K. (2006): “Short term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in 8 European cities”

Epidemiology

- Leitte A., Schlink U., Herbarth O., Wiedensohler A., Pan X., Hu M., Richter M., Wehner B., Tuch T., Wu Z., Yang M., Liu L., Breitner S., Cyrys J., Peters A., Wichmann H., Franck U. (2011): “Size-segregated particle number concentrations and respiratory emergency room visits in Beijing, China”

Environmental Health

- Linares C, Di'az J. (2010): "Short-term effect of concentrations of fine particulate matter on hospital admissions due to cardiovascular and respiratory causes among the over-75 age group in Madrid, Spain"

Public Health

- Maynard D. Coll B., Gryparis A., Schwartz J. (2007): "Mortality risk associated with short-term exposure to traffic particles and sulfates"

Environmental Health

- McEntee J., Himmelberger Y. (2008): "Diesel particulate matter, lung cancer, and asthma incidences along major traffic corridors in MA, USA: A GIS analysis"

Health and place

- Ostro B., Feng W., Broadwin R., Green S., Lipsett M. (2006): " The effects of components of fine particle air pollution on mortality in California: results from CALFINE".

Environmental Health Perspectives

- Park, Eun -Jung, Jinkyu R., Younghun K., Kwangsik Park, Dae-Seon Kim, Seong-Do Yu (2011): "PM_{2.5} collected in a residential area induced Th1-type inflammatory responses with oxidative stress in mice Environmental Research"

Medicine

- Pateraki St., V.D. Assimakopoulos, A. Bougiatioti, G. Kouvarakis, N. Mihalopoulos and Ch. Vasilakos (2012). Carbonaceous and ionic compositional patterns of fine particles over an urban Mediterranean area.

Science of the Total Environment

- Pateraki St., Th. Maggos, J. Michopoulos, D. N. Asimakopoulos and Ch. Vasilakos "Chemical characterization and seasonal variation of the ionic composition of PM_{1.0} and PM_{2.5} aerosols"

6th International Conference on Urban Air Quality, Cyprus, 2007

- Pateraki St., Th. Maggos K. Bairachtari, Ch. Vasilakos and D.N. Asimakopoulos "PAHs chemical composition in PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ measurements: correlations with other priority air pollutants and meteorology over an urban background area"

European Aerosol Conference 2008 (EAC 2008)

- Pateraki St., D.N. Asimakopoulos, Th. Maggos, A. Bougiatioti, N. Mihalopoulos, K. Bairachtari and Ch. Vasilakos "Particulate (PM_{2.5}, PM₁) transfer effects in the Greater Athens Area: concentrations, chemical characterization, (PAHs, Carbon Elements, Ion Species) "

Air Quality 2009

- Pateraki St., D. N. Asimakopoulos, Th. Maggos, H. A. Flocas, S. Tsakanikas and Ch. Vasilakos, "Influence of traffic and meteorology on the TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ urban aerosol fractions",

European Aerosol Conference 2009 (EAC 2009)

- Peng R., Bell M., Geyh A., McDermott A., Zeger S., Samet J., Dominici F. (2009): "Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution"

Environmental Health

- Perrone M., Gualtieri M., Ferrero L., Lo Porto C., Udisti R., Bolzacchini E., Camatini M. (2010): "Seasonal variations in chemical composition and in vitro biological effects of fine PM from Milan"

Chemosphere

- Peters A. (2005): "Particulate matter and heart disease: Evidence from epidemiological studies"

Toxicology and Applied Pharmacology

- Polichetti G., Coccoa S., Spinalia A., Trimarcoa V., Nunziatab A. (2009): "Effects of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) on the cardiovascular system".

Toxicology

- Pope A. and Dockery D. (2006): "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. J Air Waste

Epidemiology

Ramgolam K., Chevaillier S., Marano F., Baeza-Squiban A., Martinon L. (2008): "Proinflammatory effect of fine and ultrafine particulate matter using size-resolved urban aerosols from Paris"

Chemosphere

- R Development Core Team (2007). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reiss R., Anderson E., Cross C., Hidy G., Hoel D., McClellan R., Moolgavkar S. (2007): "Evidence of health impacts of sulfate-and nitrate-containing particles in ambient air"

Toxicology

- Ren C., Fang S., Wright R., Suh H., Schwartz J (2011): “Urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine as a biomarker of oxidative DNA damage induced by ambient pollution in the Normative Aging Study”

Environmental Medicine

- R  ckerl R., Ibal  -Mulli A., Koenig W., Schneider A., Woelke G., Cyrys J., Heinrich J., Marder V., Frampton M., Wichmann H., Peters A. (2006): “Air pollution and markers of inflammation and coagulation in patients with coronary heart disease”

Medicine

- Samet M., Dominici F., Curriero F., Coursac I., Zeger S. (2000): “fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities”

Medicine

- Samoli E., Kougea E., Kassomenos P., Analitis A., Katsouyanni K. (2011): “Does the presence of desert dust modify the effect of PM10 on mortality in Athens, Greece?”

Science of the total Environment

- Sanghwan S., Kiyoun   Lee b, Young-Mi Lee a, Jung-Hyun Lee c, Sang Lee , Seung-Do Yu, Domyung P.(2011): “Acute health effects of urban fine and ultrafine particles on children with atopic dermatitis”.

Epidemiology

- Schlesinger B. (1995): “Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: does it support the human experience?”

Toxicology

- Schneider A., Hampel R., Ibal  -Mulli A., Zareba W., Schmidt G., Schneider R., R  ckerl R., Couderc J., Mykins B., Oberd  rster G., W  lke G., Pitz M.,

Wichmann H., Peters A. (2010): “Changes in deceleration capacity of heart rate and heart rate variability induced by ambient air pollution in individuals with coronary artery disease”

Toxicology

- Schwartz J. (1994): “What are people dying of on high air pollution days”

Environmental Research

- Schwartz J., Litonjua A., Suh H., Verrier M., Zanobetti A., Syring M., Nearing B., Verrier R., Stone P., MacCallum G., Speizer F., Gold D. (2005): “Traffic related pollution and heart rate variability in a panel of elderly subjects”

Medicine

- Seaton A., Macnee W., Donaldson K., Godden D, (1995): “Particulate air pollution and acute health effects”.

Epidemiology

- von Klot S., Gryparis A., Tonne C., Yanosky J., Coull B., Goldberg R., Lessard D., Melly S., Suh H., Schwartz J. (2009): “Elemental carbon exposure at residence and survival after acute myocardial infarction”

Epidemiology

- Wang X., Bi X., Sheng G., Fu J. (2005): “Hospital indoor PM₁₀/PM_{2.5} and associated trace elements in Guangzhou, China”.

Environmental physics

- World Health Organization (2006): “Air Quality Guidelines. Global update 2006”

WHO

- World Health Organization (2001): “Quantification of the health effects of exposure to air pollution”

WHO

- Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Atkinson R, LeTertre A, Bobvos J, Celko M, Goren A, Forsberg B, Michelozzi P, Rabczenko D, Aranguez Ruiz E, Katsouyanni K. (2003): "The temporal pattern of mortality responses to air pollution: a multicity assessment of mortality displacement".

Epidemiology