



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ
ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ**

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΕΛΕΝΗ

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Γ. Μπίσκος Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου**

ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και ιδίως η ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί ένα μείζον πρόβλημα στα αστικά κέντρα λόγω των επιπτώσεων τους τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον. Ο σκοπός της παρούσας έκθεσης είναι η παρουσίαση του θέματος της διδακτορικής διατριβής, η έρευνα που έχει γίνει ως τώρα καθώς και οι στόχοι που αναμένεται να επιτευχθούν. Μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν με σκοπό την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την οποία θα συγκριθούν τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στην πόλη της Μυτιλήνης. Στο πλαίσιο της δημιουργίας βάσης δεδομένων πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην αναφορά Triantafyllou and Biskos (2011). Βάσει του χρονοδιαγράμματος της έρευνας θα εκτιμηθούν οι συγκεντρώσεις και θα προσδιοριστεί η χημική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Μυτιλήνης.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
2. Βιβλιογραφική Έρευνα.....	2
2.1. Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.....	4
2.1.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	4
2.1.2. Μείωση της ορατότητας.....	5
2.1.3. Επιδράσεις στην κλιματική αλλαγή.....	6
3. Ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων σε άλλες πόλεις.....	7
4. Μεθοδολογία.....	8
5. Χρονοδιάγραμμα και στόχοι της διατριβής.....	9

1. Εισαγωγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα μείζον πρόβλημα στα αστικά κέντρα. Η ποιοτική και ποσοτική μεταβολή της σύστασης της, αποτελεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο λόγω των επιπτώσεων της στην δημόσια υγεία (Dockery et al., 1993, Pope et al., 1995, Pope, 2000) όσο και στην συνεισφορά της στην αλλαγή του κλίματος (Pener et al., 1998, Seinfeld and Pandis, 1998, Jacobson, 2001, Kanakidou et al., 2005). Ως ατμοσφαιρικοί ρύποι θεωρούνται όλα τα είδη των υλικών που εσκεμμένα ή μέσω μιας φυσικής διαδικασίας εισέρχονται στην ατμόσφαιρα (Γεντεκάκης, 2003). Οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενής (π.χ. SO₂, NO, υδρογονάνθρακες), ενώ αυτοί που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών μετασχηματισμών των πρωτογενών ρύπων ή ως προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων ονομάζονται δευτερογενής. Στην ατμόσφαιρα βρίσκονται σε αέρια (αέριοι ρύποι) ή σε στερεή μορφή (σωματιδιακοί ρύποι) (Φυτιάνος & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009). Τα αερολύματα θεωρούνται ως ένα από τους πιο σημαντικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους λόγω των πολλών επιδράσεων τους και κυρίως λόγω της επίδρασής τους στην ανθρώπινη υγεία. Επομένως, η μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων δίνει μια σημαντική πληροφορία για την ποιότητα του αέρα στις αστικές πόλεις. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί δίκτυα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις μεγάλες πόλεις της Ελλάδας.

Η παρούσα έρευνα θα λάβει χώρα στην Λέσβο και συγκεκριμένα στην πόλη της Μυτιλήνης που αποτελεί παρθένα περιοχή στην έρευνα των αιωρούμενων σωματιδίων. Η πόλη της Μυτιλήνης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των χαρακτηριστικών και της τοποθεσίας της. Είναι μια πόλη 27.000 κατοίκων που αποτελεί διοικητικό κέντρο του Βορείου Αιγαίου. Στα σύνορα της πόλης βρίσκεται μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η αυξημένη κίνηση του λιμανιού λειτουργεί προσθετικά στην επιβάρυνση της φόρτισης της ατμόσφαιρας. Το γεγονός ότι βρίσκεται στα σύνορα με την Τουρκία και ότι είναι κοντά στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης χαρακτηρίζει την περιοχή ιδανική για τον έλεγχο της διασυνοριακά και διηπειρωτικά μεταφερόμενης ρύπανσης.

Η προτεινόμενη διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των ποσοτικών (συγκέντρωση και μέγεθος) και ποιοτικών (χημική σύσταση) χαρακτηριστικών των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Μυτιλήνης. Στα πλαίσια διεξαγωγής της διατριβής θα μετρηθούν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (κατά μάζα και αριθμό) σε εικοσιτετράωρη βάση στην πόλη της Μυτιλήνης και θα επιδιωχθεί η σύγκριση της με αυτή άλλων πόλεων τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς για να συγκριθούν τα επίπεδα της ρύπανσης. Μετεωρολογικοί παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως είναι η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία και η υγρασία θα παρακολουθούνται ταυτόχρονα με την δειγματοληψία. Επίσης, ο προσδιορισμός της χημικής

σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων με μεθόδους μη συνεχούς λειτουργίας (συλλογή δειγμάτων και ανάλυσή τους μέσω ιοντικής χρωματογραφίας και ατομικής απορρόφησης) θα ακολουθήσει για να εκτιμηθούν οι πιθανές πηγές των σωματιδίων καθώς και να εκτιμηθεί η συνεισφορά των τοπικών πηγών (πχ. λειτουργία του εργοστασίου της ΔΕΗ, δραστηριότητα του λιμανιού, κίνηση των οχημάτων κτλ.) στην επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ποιότητας στην πόλη της Μυτιλήνης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα έχει ο προσδιορισμός της συνεισφοράς της διασυνοριακής ρύπανσης μέσω της χρήσης μεθόδων υπολογισμού οπισθοτροχιάς λόγω της τοποθεσίας της εξεταζόμενης περιοχής.

Η έρευνα θα πραγματοποιηθεί από το Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου με επιβλέπων τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος κ. Γ. Μπίσκο και μέλη της τριμελούς επιτροπής τον Καθηγητή του Τμήματος κ. Χ. Πηλίνη και τον Ερευνητή Α' του Ινστιτούτο Πυρηνικής Τεχνολογίας & Ακτινοπροστασίας του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» κ. Κ. Ελευθεριάδη.

2. Βιβλιογραφική Έρευνα

Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) είναι μικροσκοπικά υγρά και στερεά σωματίδια όπως η σκόνη, τα σωματίδια του άνθρακα, γύρη, τα άλατα της θάλασσας και οι μικροοργανισμοί που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, και κυμαίνονται σε μέγεθος από μερικά νανόμετρα (nm) σε δεκάδες μικρόμετρα (μm) (Seinfeld and Pandis, 2006). Στην πλειοψηφία τους περιέχουν ανόργανα ιόντα, μεταλλικές ενώσεις, στοιχειακό άνθρακα, οργανικές ενώσεις και ενώσεις του γήινου φλοιού (EPA, 2004). Ο όρος των αερολυμάτων (αεροζόλ) συμπεριλαμβάνει τόσο την ύλη που βρίσκεται στην σωματιδιακή όσο και στην αέρια φάση (Hinds, 1999).

Οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα οφείλονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι κύριες φυσικές πηγές των σωματιδίων περιλαμβάνουν σωματίδια που παρασύρονται μέσω του ανέμου από το έδαφος, σωματίδια άλατος που προέρχονται από το νερό της θάλασσας, από βιογενείς εκπομπές, εκρήξεις ηφαιστείων και πυρκαγιές (Boubel et al., 1994). Ενώ οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής σωματιδίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εκπομπές μεταφοράς (βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα οχήματα, αεροσκάφη), εκπομπές βιομηχανικών διεργασιών καθώς και σε ποικίλες άλλες εκπομπές όπως είναι οι οικιακές και εμπορικές (Wark et al., 1998).

Τα ΑΣ εισέρχονται στην ατμόσφαιρα και απομακρύνονται από αυτήν με διάφορες διεργασίες (Colls, 2002). Εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είτε απευθείας ως σωματίδια (πρωτογενή αεροζόλ) ή σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω διαδικασιών μετατροπής από την αέρια στην σωματιδιακή φάση (δευτερογενή αεροζόλ) (Seinfeld and Pandis, 2006). Παραδείγματα

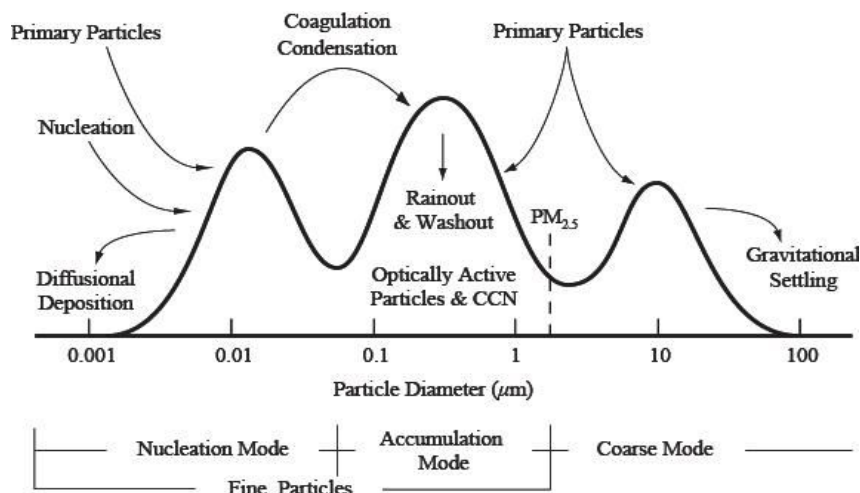
δευτερογενούς σχηματισμού των σωματιδίων αποτελούν (1) η μετατροπή του διοξειδίου του θείου (SO_2) σε σταγονίδια θειϊκού οξέος (H_2SO_4) που αντιδρούν με την ατμοσφαιρική αμμωνία (NH_3) για το σχηματισμό διαφόρων θειϊκών σωματιδίων (π.χ. θειϊκό αμμώνιο $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, αμμωνιακό άλας NH_4HSO_4 , κλπ.), (2) η μετατροπή του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) σε νιτρικό οξύ (HNO_3) που όταν υπάρχει αρκετή αμμωνία στην ατμόσφαιρα αντιδρά για να σχηματίσει σωματίδια νιτρικού αμμωνίου (NH_4NO_3) και (3) αντιδράσεις που αφορούν τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) στην αέρια φάση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (κορεσμός) και τάση ατμών που συμπυκνώνονται στα υπάρχοντα σωματίδια προς σχηματισμό δευτερογενών οργανικών σωματιδίων (Φυτιάνος Κ. & Σαμαρά-Κωνσταντίνου, 2009).

Η χημική σύσταση των ΑΣ αποτελείται από ανόργανα και οργανικά υλικά όπως θειϊκά, νιτρικά, αμμώνιο, είδη γήινου φλοιού, θαλασσινό αλάτι, ιόντα υδρογόνου και νερό. Η συνεισφορά των οργανικών και ανόργανων υλικών στην συνολική μάζα τους, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τις πηγές, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, και το μέγεθος τους. Νιτρικά άλατα μπορούν να βρεθούν τόσο στα λεπτόκοκκα όσο και στα χονδρόκοκκα σωματίδια, ενώ θειϊκά, αμμώνιο, οργανικός και στοιχειακός άνθρακας και ορισμένα μεταβατικά μέταλλα βρίσκονται κυρίως στα λεπτόκοκκα.

Τα αερολύματα μπορεί να συμμετέχουν σε φυσικές (συγκέντρωση, μέγεθος, και οπτικές ιδιότητες των σωματιδίων) και χημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, που μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας σε σημαντικό βαθμό. Οι αλλαγές που μεταβάλλουν το μέγεθος και την συγκέντρωση των σωματιδίων (βλ. Σχήμα 1) περιλαμβάνουν την πυρηνοποίηση, την συμπύκνωση, την εξάτμιση, την συσσωμάτωση, την καθίζηση και την συμμετοχή σε χημικές αντιδράσεις (Λαζαρίδης, 2005). Επειδή το μέγεθος των σωματιδίων παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στις φυσικές και κατ' επέκταση στις χημικές τους ιδιότητες στην ατμόσφαιρα, καθώς και στις επιδράσεις τους (π.χ. περιβάλλον, ανθρώπινη υγεία), είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την κατανομή του μεγέθους τους.

Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη ή περίπου ίση με $2.5 \mu\text{m}$ χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα ενώ εκείνα με διάμετρο μικρότερη ή περίπου ίση με $2.5 \mu\text{m}$ ονομάζονται λεπτόκοκκα. Η κατηγορία των λεπτόκοκκων σωματιδίων τυπικά περιλαμβάνει τα περισσότερα από τον συνολικό αριθμό των σωματιδίων και ένα μεγάλο μέρος της μάζας, και μπορεί περαιτέρω να ταξινομηθεί σε δυο κατηγορίες. Την κατηγορία accumulation που περικλείει σωματίδια με διάμετρο περίπου μεταξύ 0.08 και $1-2 \mu\text{m}$ και την κατηγορία nucleation ή κατηγορία Aitken nuclei που περιλαμβάνει τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από $0.08 \mu\text{m}$ (Finlaysson-Pitts and Pitts Jr, 1986). Τα σωματίδια που ανήκουν στην κατηγορία nucleation με τις διεργασίες της μεγέθυνσης και της σύμπτυξης περνούν στην κατηγορία accumulation (Jacobson, 2002). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια που συνιστούν την κατηγορία coarse, συνήθως δημιουργούνται με μηχανικές διεργασίες όπως είναι

η τριβή ή η διάβρωση. Λόγω των διεργασιών δημιουργίας τους έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος και εγκαταλείπουν την ατμόσφαιρα μέσω της εναπόθεσης (Finlaysson-Pitts and Pitts Jr, 1986).



Σχήμα 1: Οι κύριες κατηγορίες, οι διεργασίες σχηματισμού και οι μηχανισμοί απομάκρυνσης των σωματιδίων.

Η κατηγορία accumulation είναι σημαντική γιατί τα σωματίδια που ανήκουν σε αυτήν επηρεάζουν την ορατότητα μιας και το μέγεθος τους είναι κοντά στα μεγαλύτερα μήκη κύματος του ορατού φωτός. Γενικά, η κατηγορία nucleation έχει την μεγαλύτερη επιφάνεια συγκεντρώσεων και η κατηγορία coarse τον μεγαλύτερο όγκο και μάζα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (Jacobson, 2002). Η διάρκεια ζωής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ποικίλλει από λίγες ημέρες, όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι μεγαλύτερο από 1 μm και λίγες εβδομάδες για τα σωματίδια που είναι μικρότερα από 1 μm (Λαζαρίδης, 2005).

2.1. Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα έχουν πολλές σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, μειώνουν την ορατότητα μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης του φωτός και επιδρούν στο κλίμα της Γης τόσο άμεσα (μέσω της σκέδασης και απορρόφησης της ακτινοβολίας) όσο και έμμεσα (μέσω της συνεισφοράς τους ως πυρήνες στον σχηματισμό των νεφών).

2.1.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Τα σωματίδια αποτελούν έναν πολύ σοβαρό κίνδυνο για την υγεία. Εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα, κυρίως μέσω του αναπνευστικού συστήματος και προκαλούν βλάβη στα αναπνευστικά

όργανα. Η εναπόθεση των σωματιδίων σε διάφορα μέρη του ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα τους. Έχει εκτιμηθεί ότι 20-60% των εισπνεόμενων σωματιδίων μεγέθους μεταξύ 0.01 και 2.5 μm διεισδύουν και αποθέτονται στους πνεύμονες (Wark et al., 1998).

Η επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό επηρεάζεται επίσης από την χημική σύσταση των σωματιδίων, την διάρκεια της έκθεσης και την ατομική ευαισθησία. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η νοσηρότητα και η θνησιμότητα συνδέονται στενά με τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων στον αέρα. (π.χ., Dockery et al., 1993, Ostro et al., 2006, Goldberg et al., 2006, Theofanides et al., 2007), και ιδίως τα λεπτόκοκκα σωματίδια μπορεί να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 2006) οι πιο σημαντικές βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες επιπτώσεις της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια είναι:

Επιδράσεις που σχετίζονται με την βραχυχρόνια έκθεση

- Φλεγμονή στους πνεύμονες
- Αναπνευστικά προβλήματα
- Δυσμενείς επιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα
- Αύξηση της χρήσης φαρμάκων
- Αύξηση των εισαγωγών σε νοσοκομείο
- Αύξηση της θνησιμότητας

Επιδράσεις που σχετίζονται με τη μακροχρόνια έκθεση

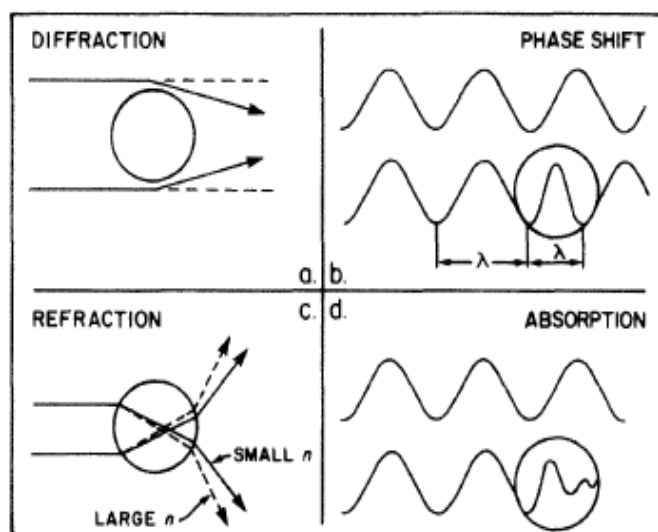
- Αύξηση των συμπτωμάτων στο χαμηλό αναπνευστικό
- Μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων στα παιδιά
- Αύξηση της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας
- Μείωση της πνευμονικής λειτουργίας στους ενήλικες
- Μείωση του προσδόκιμου επιβίωσης, λόγω κυρίως της καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας και πιθανώς του καρκίνου των πνευμόνων

2.1.2. Μείωση της ορατότητας

Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια και τα αέρια που είναι κοντά στο ίδιο μέγεθος με το μήκος κύματος του φωτός μειώνουν την ορατότητα μέσω της σκέδασης και απορρόφησης του φωτός (Malm, 1999). Οι διεργασίες της σκέδασης του φωτός εμπλέκουν την αλληλεπίδραση του φωτός με άλλα αέρια ή σωματίδια με τέτοιον τρόπο ώστε να μεταβάλουν την κατεύθυνση ή την συχνότητα του

φωτός. Οι διεργασίες της απορρόφησης λαμβάνουν χώρα όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με αέρια ή σωματίδια και μεταφέρεται εσωτερικά στο αέριο ή στα σωματίδια (Boubel et al., 1994).

Τα σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο ($<0.03 \mu\text{m}$) σκεδάζουν το φως σύμφωνα με τον μηχανισμό του Rayleigh που εφαρμόζεται στα μόρια. Στην ατμόσφαιρα υπάρχουν σχετικά λίγα από αυτά τα μικρά σωματίδια επειδή η συσσωμάτωσή τους είναι ταχεία. Από την άλλη πλευρά, το σκεδαζόμενο φως από σωματίδια με μεγαλύτερη διάμετρο περιγράφονται από την θεωρία του Mie. Οι οπτικές ιδιότητες είναι πιο πιθανό να επηρεάζονται πιο έντονα από την επιφάνεια των σωματιδίων, παρά από την κατανομή του αριθμού τους και της μάζας τους (Colls, 2002). Αυτό δείχνει την σημασία των ατμοσφαιρικών σωματιδίων με διάμετρο 0.1 έως 1.0 μm ως αποτελεσματικά μέσα σκέδασης φωτός (Boubel et al., 1994). Έτσι, τα σωματίδια που είναι κάπως μεγαλύτερα από το μήκος κύματος του φωτός μπορούν να σκεδάσουν το φως ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των φαινομένων (Σχήμα 2) της διάθλασης, της μετατόπισης, της διάθλασης και της απορρόφησης (Malm, 1999).



Σχήμα 2: Τα φαινόμενα της αλληλεπίδρασης του φωτός με τα αερολύματα όπως είναι της διάθλασης, της μετατόπισης, της διάθλασης και της απορρόφησης (Boubel et al., 1994).

2.1.3. Επιδράσεις στην κλιματική αλλαγή

Οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου και των αερολυμάτων, της ηλιακής ακτινοβολίας και των ιδιοτήτων της επιφάνειας της γης μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο του κλιματικού συστήματος. Αυτές οι αλλαγές εκφράζονται σε αντιστοιχία της έντασης της

ακτινοβολίας, η οποία χρησιμοποιείται για να συγκρίνουμε το πώς μια σειρά ανθρώπινων και φυσικών παραγόντων προκαλεί θέρμανση ή ψύξη στο παγκόσμιο κλίμα (IPCC, 2007).

Τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα άμεσα μέσω της διασποράς και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και έμμεσα μέσω του ρόλου τους ως πυρήνες συμπύκνωσης για το σχηματισμό νεφών (Seinfeld and Pandis, 2006). Η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αερολύματα αυξάνουν την υπεριώδη ανάκλαση του εδάφους της Γης, επειδή ένα μέρος του σκεδασμένου φωτός αντανακλάται πίσω στο διάστημα. και επιφέρει την ψύξη της γήινης επιφάνειας (Jacob, 1999). Σε αντίθεση με τα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία δρουν μόνο στην εξερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία, τα αερολύματα μπορούν να επηρεάσουν τις δύο πλευρές του ενεργειακού ισοζυγίου (Seinfeld and Pandis, 2006).

Τα ανθρωπογενή αερολύματα μπορεί να εξηγήσουν εν μέρει τουλάχιστον γιατί η γη δεν έχει γίνει τόσο θερμή όσο θα περίμενε κανείς από την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Η έμμεση ή άμεση παραγωγή των αερολυμάτων μέσω των μετατροπών αερίου – σωματιδίου επιδεινώνεται από την αύξηση του πληθυσμού και την καύση των ορυκτών καυσίμων που αποτελούν την κύρια αιτία για τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (Colls, 2002). Όλες οι ανθρωπογενής συνεισφορές των αερολυμάτων (κυρίως θεικών, οργανικού άνθρακα, μαύρου άνθρακα, νιτρικών και σκόνης) προκαλούν ένα φαινόμενο ψύξης, με άμεση ολική ένταση ακτινοβολίας ίση με -0.5 (-0.9 έως -0.1) Wm^{-2} και έμμεση ένταση της υπεριώδους ανάκλασης του εδάφους ίση με -0.7 (-1.8 έως -0.3) Wm^{-2} (IPCC, 2007). Η διάρκεια ζωής αυτών των αερολυμάτων όταν παραμένουν στην τροπόσφαιρα είναι μόνο κάποιες ημέρες ή βδομάδες, ενώ μπορεί να διαρκέσει για χρόνια εφόσον εισάγονται στην στρατόσφαιρα μέσω αρκετά βίαιων διεργασιών όπως είναι η ηφαιστειακή έκρηξη (Colls, 2002).

3. Ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων σε άλλες πόλεις

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε μεγάλες πόλεις της Ευρώπης και των ΗΠΑ πραγματοποιούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Aarnio et al., 2002, Bardouki et al., 2003, Calvo et al., 2008, Houthuijs et al., 2001, Ketzel et al., 2007, Querol et al., 2004). Στην Ελλάδα μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων πραγματοποιούνται από την δεκαετία του 1980, αρχικά ως ολικά αιωρούμενα σωματίδια και καπνός (αιθάλη), ενώ από το 1990 ως αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος μικρότερα των 10 μm (μετρήσεις χονδρόκοκκων σωματιδίων, PM_{10}) (Chaloulakou et al., 2005, Samara et al., 2005, Triantafyllou et al., 2001, Vassiliakos et al., 2005). Σήμερα, οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM_{10} καταγράφονται από οργανωμένα δίκτυα σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις μεγάλες πόλεις της Ελλάδας. Μικρότερες πόλεις

όπως η Κοζάνη, η Καβάλα, και το Ηράκλειο διαθέτουν περιορισμένο αριθμό σταθμών, ενώ πολλές πόλεις, συμπεριλαμβανομένου και της Μυτιλήνης, δεν διαθέτουν σταθμούς παρακολούθησης της αέριας ρύπανσης. Για ορισμένες περιοχές υπάρχουν αποσπασματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ή πραγματοποιούνται στα πλαίσια ερευνητικών δραστηριοτήτων. Οι συνηθέστερες μέθοδοι χημικής ανάλυσης των αιωρούμενων σωματιδίων περιλαμβάνουν ιοντική χρωματογραφία (προσδιορισμός ιόντων), αέρια χρωματογραφία (προσδιορισμό οργανικών ενώσεων), και ατομική απορρόφηση (μέταλλα). Στο πρόσφατο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες με σκοπό την χημική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Οι περισσότερες από τις μελέτες μετρήσεων έχουν λάβει χώρα στις πόλεις της Αθήνας (Manalis et al., 2005, Pateraki et al., 2008, Siskos et al., 2001), της Θεσσαλονίκης (Samara et al., 2005, Tsitouridou et al., 2003), της Κρήτης (Lazaridis et al., 2008, Mihalopoulos et al., 1997) και της Δυτικής Μακεδονίας (Terzi et al., 2008).

4. Μεθοδολογία

Στα πλαίσια διεξαγωγής της διατριβής θα μετρηθούν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (κατά μάζα και αριθμό) και η κατανομή του μεγέθους τους σε εικοσιτετράωρη βάση στην πόλη της Μυτιλήνης. Οι μετρήσεις και η συλλογή των δειγμάτων θα υλοποιηθεί με την χρήση δειγματοληπτών του Εργαστηρίου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», και η κατά μάζα συγκέντρωση τους θα προσδιοριστεί μέσω της σταθμικής μεθόδου. Επίσης θα υλοποιηθούν μετρήσεις μάζας και αριθμητικής συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων συναρτήσει των διαμέτρων τους καθώς και μετρήσεις κατανομής του μεγέθους τους. Οι δειγματολήπτες που θα χρησιμοποιηθούν για τις προαναφερθέντες μετρήσεις αντίστοιχα είναι οι MOUDI impactor model 110, OPC Grimm model 1.108 και TSI SMPS 3034 και ανήκουν στον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Ποιότητας Υδάτων και Αέρα του Τμήματος Περιβάλλοντος. Ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των συγκεντρώσεων θα πραγματοποιηθεί μέσω της μεθόδου της ιοντικής χρωματογραφίας για τα ιόντα και μέσω της μεθόδου της αέριας φασματοσκοπίας για τα μέταλλα μέσω του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Ποιότητας Υδάτων και Αέρα.

Με την επεξεργασία των μετρήσεων μάζας και αριθμού των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων προβλέπεται να εκτιμηθούν τα επίπεδα της ρύπανσης στην πόλη και κατ' επέκταση οι πιθανές επιπτώσεις τους (π.χ. σωματίδια με μικρή διάμετρο μπορεί να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία). Επίσης ο προσδιορισμός της χημικής τους σύστασης θα προσδώσει την συνεισφορά των πιθανών πηγών, είτε τοπικών (π.χ. κυκλοφοριακή κίνηση,

λειτουργία του εργοστασίου της ΔΕΗ) είτε θαλάσσιων (θαλάσσιο αερολύματα).

5. Χρονοδιάγραμμα και στόχοι της διατριβής

Η έναρξη της διδακτορικής διατριβής ορίστηκε τον Μάρτιο του 2009. Λόγω της αναμονής των αποτελεσμάτων για την χρηματοδότηση της συγκεκριμένης έρευνας από το πρόγραμμα Ηράκλειτος II, από την άνοιξη του 2009 έως και τις αρχές του 2010 συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων από τις κύριες πόλεις της Ελλάδας. Ο σκοπός αυτής της συλλογής είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων ατμοσφαιρική ρύπανσης με την οποία θα συγκριθούν τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στην πόλη της Μυτιλήνης.

Στο πλαίσιο της δημιουργίας βάσης δεδομένων με μετρήσεις συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στην αναφορά Triantafyllou and Biskos (2011). Η συγκεκριμένη αναφορά ολοκληρώθηκε εντός του έτους 2010 και έχει κατατεθεί για δημοσίευση στο περιοδικό Atmospheric Environment τον Ιανουάριο του 2011.

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη συλλέχθηκαν από εννέα σταθμούς (τέσσερις αστικούς και πέντε προαστιακούς) στην Αθήνα κατά την περίοδο 2002-2008 και πέντε σταθμούς (τρεις αστικούς και δυο προαστιακούς) στη Θεσσαλονίκη κατά την περίοδο 2001-2008. Η χρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων διερευνήθηκε στα πλαίσια αυτών των χρονικών περιόδων.

Και στις δύο πόλεις, όλοι οι αστικοί σταθμοί υπερέβησαν τα ετήσια και ημερήσια όρια των αιωρούμενων σωματιδίων όπως έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθ' όλη την περίοδο μελέτης. Οι προαστιακοί σταθμοί παρουσίασαν χαμηλότερα επίπεδα συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) από τα όρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις στους αστικούς σταθμούς της Αθήνας κυμαίνονται από 29.1 έως 62.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στους προαστιακούς σταθμούς από 21.5 έως 62.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στην Θεσσαλονίκη οι αντίστοιχες τιμές των συγκεντρώσεων κυμαίνονται από 41.6 έως 70.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 26.0 έως 51.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε σύγκριση των συγκεντρώσεων μεταξύ των δύο πόλεων υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης παρουσιάστηκαν στην πόλη της Θεσσαλονίκης από αυτά στην Αθήνα, τα οποία μπορούν να αποδοθούν στην έντονη βιομηχανική δραστηριότητα κοντά στην πόλη.

Η εποχική διακύμανση φάνηκε να είναι διαφορετική μεταξύ των αστικών και προαστιακών σταθμών στην Αθήνα και την Θεσσαλονίκη. Στην Αθήνα οι συγκεντρώσεις στους αστικούς σταθμούς είναι υψηλότερες κατά την διάρκεια του χειμώνα και χαμηλότερες το καλοκαίρι, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τους προαστιακούς σταθμούς είναι την άνοιξη και τον χειμώνα. Αυτή η διαφορά μπορεί να εξηγηθεί λόγω της επιρροής σε μεγάλο βαθμό των αστικών σταθμών από την

οικιακή θέρμανση σε σύγκριση με άλλες πηγές των PM₁₀. Στην Θεσσαλονίκη οι εποχικές διακυμάνσεις βρέθηκαν να είναι παρόμοιες τόσο στους αστικούς όσο και στους προαστιακούς σταθμούς (εκτός ενός προαστιακού σταθμού) και παρουσίασαν τις υψηλότερες και χαμηλότερες συγκεντρώσεις το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, αντίστοιχα. Οι ημερήσιες μέσες διακυμάνσεις των PM₁₀ συγκεντρώσεων σε όλους τους σταθμούς και των δύο πόλεων πλην μικρών εξαιρέσεων, ήταν υψηλότερες κατά την διάρκεια των ημερών εργασίας (Δευτέρα έως Παρασκευή) και χαμηλότερες τα σαββατοκύριακα και ιδίως την Κυριακή, επισημαίνοντας ότι η κυκλοφοριακή κίνηση είναι η κύρια πηγή ρύπανσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαμόρφωση της ερευνητικής πρότασης. Ο σκοπός της μελέτης και το θεωρητικό υπόβαθρο διευκρινίστηκαν κατά τους τελευταίους έξι μήνες του 2010 και η συγγραφή της πρότασης ολοκληρώθηκε το χειμώνα του 2011. Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα της διατριβής, το τεχνικό υπόβαθρο της λειτουργίας των οργάνων και ο προσδιορισμός των σημείων δειγματοληψίας θα επιτευχθεί τους πρώτους μήνες του 2011. Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας θα καθοριστεί υπολογίζοντας τόσο την μορφολογία όσο και τις κύριες πηγές ρύπανσης της εξεταζόμενης περιοχής. Επίσης, κάποιοι γενικοί κανόνες για τη μέθοδο της δειγματοληψίας θα ληφθούν υπόψη όπως είναι το ύψος στο οποίο πρέπει να τοποθετηθούν τα όργανα μέτρησης (οι εισοδοί των οργάνων πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2 μέτρα από το έδαφος), τα σημεία δειγματοληψίας που δεν πρέπει να τοποθετηθούν κοντά σε εμπόδια (όπως ψηλά κτίρια), τις πιθανές πηγές κοντά στις εισόδους μέτρησης των οργάνων και η συνεχής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την ομαλή λειτουργία των δειγματοληπτών.

Η έναρξη της πρώτης δειγματοληψίας θα ξεκινήσει την άνοιξη του 2011 και προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέσα στους καλοκαιρινούς μήνες. Η πρώτη δειγματοληψία θα υλοποιηθεί σε ελεγχόμενο περιβάλλον για την ομαλή λειτουργία των οργάνων, όπως είναι το εργαστήριο Ποιότητας Υδάτων και Αέρα του Τμήματος Περιβάλλοντος. Παράλληλα θα υπάρξει και μέτρηση μετεωρολογικών παραμέτρων της περιοχής όπως η κατεύθυνση και η ταχύτητα το ανέμου, η θερμοκρασία καθώς και η υγρασία. Με την λήξη της δειγματοληψίας θα ακολουθήσει χημική ανάλυση των μετρούμενων συγκεντρώσεων για την ανίχνευση ιόντων και μετάλλων.

Το διάστημα του φθινοπώρου του 2010 θα πραγματοποιηθεί επεξεργασία των μετρήσεων και η συγγραφή των αποτελεσμάτων έως τις αρχές του 2011 θα δημοσιευθεί σε εγκεκριμένο περιοδικό. Στο ίδιο διάστημα υπολογίζεται να αρχίσει η εγκατάσταση των δειγματοληπτών στην δεύτερη επιλεγμένη τοποθεσία δειγματοληψίας.

Η δεύτερη περίοδος δειγματοληψίας προβλέπεται να αρχίσει το χειμώνα του 2012 στην δεύτερη επιλεγμένη τοποθεσία στο κέντρο της πόλης για τη εκτίμηση των αστικών πηγών ρύπανσης και να ολοκληρωθεί τον Μάρτιο του 2012. Οι μετεωρολογικές συνθήκες θα παρακολουθούνται ταυτόχρονα με την περίοδο των μετρήσεων και η χημική ανάλυση των

δειγμάτων αναμένεται να ολοκληρωθεί έως τον Απρίλιο του ίδιου έτους. Τον τελευταίο μήνα της άνοιξης θα επεξεργαστούν τα δεδομένα μέσω στατιστικής ανάλυσης και έως τις αρχές του φθινοπώρου υπολογίζεται η συγγραφή των αποτελεσμάτων. Παράλληλα θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση των οργάνων στην τρίτη επιλεγμένη τοποθεσία δειγματοληψίας για την εκτίμηση της σωματιδιακής ρύπανσης από τις θαλάσσιες μεταφορές. Από τον Οκτώβριο του 2012 έως τα τέλη Δεκεμβρίου αναμένεται να υλοποιηθούν οι μετρήσεις στην τρίτη επιλεγμένη τοποθεσία δειγματοληψίας και οι ακόλουθες χημικές αναλύσεις των δειγμάτων.

Τους πρώτους μήνες του χειμώνα το 2013 θα επεξεργαστούν τα δεδομένα της τρίτης δειγματοληψίας και ακολουθήσει η συγγραφή της τέταρτης δημοσίευσης. Η συγγραφή του τελικού κειμένου της διδακτορικής διατριβής θα ολοκληρωθεί έως το καλοκαίρι του 2013.

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τίτλος		ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΗΝΗΣ																																															
		ΕΤΟΣ																																															
Πακέτα εργασίας-Δραστηριότητες		2010												2011												2012												2013											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
ΠΕ 1	1	Συλλογή και δημιουργία βάσης δεδομένων. Συγγραφή δημοσίευσης 1.																																															
	2																																																
ΠΕ 2	1	Τεχνικό υπόβαθρο λειτουργίας των οργάνων μέτρησης. Καθορισμός των σημείων δειγματοληψίας.																																															
	2																																																

Βιβλιογραφία

Άρθρα

Aarnio, P., Martikainen, J., Hussein, T., Valkama, I., Vehkamäki, H., Sogacheva, L., Harkonen, J., Karppinen, A., Koskentalo, T., Kukkonen, J., Kulmala, M. Analysis and evaluation of selected PM10 pollution episodes in the Helsinki Metropolitan Area in 2002. *Atmospheric Environment*, 42, 3992-4005, 2008.

Bardouki, H., Liakakou, H., Economou, C., Sciare, J., Smolík, J., Ždímal, V., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M., Dve, C., Mihalopoulos, N. Chemical composition of size-resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter. *Atmospheric Environment*, 37, 195-208, 2003.

Calvo, A.I., Pont, V., Liousse, C., Dupre, B., Mariscal, A., Zouiten, C., Gardrat, E., Castera, P., Lacaux, C.G., Castro, A., Fraile, R. Chemical composition of urban aerosols in Toulouse, France during CAPITOUL experiment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2008. 102, 307-323, 2008.

Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Grivas, G., Syrellis, N. Particulate matter and black smoke concentration levels in central Athens, Greece. *Environment International*, 31, 651-659, 2005.

Dockery D. W., Pope C. A., III, Xu X., Spengler J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris B. G., Speizer F. A. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *The New England Journal of Medicine*, 329: 1753-1759, 1993.

Houthuijs, D., Breugelmans, O., Hoek, G., Vaskövi, É., Miháliková, E., Pastuszka, J.S., Jirik, V., Sachelarescu, S., Lolova, D., Meliefste, K., Uzunova, E., Marinescu, C., Volf, J., de Leeuw, F., van de Wiel, H., Fletcher, C., Lebret, E., Brunekreef, B. PM10 and PM2.5 concentrations in Central and Eastern Europe: : results from the Cesar study. *Atmospheric Environment*, 35, 2757-2771, 2001.

Goldberg, M.S., Burnett, R.T., Yale, J.F., Valois, M.F., Brook, J.R. Associations between ambient air pollution and daily mortality among persons with diabetes and cardiovascular diseases. *Environmental Research*, 100, 255–267, 2006.

Jacobson, M.Z. Strong Radiative Heating due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols. *Nature*, 409, 695-697, 2001.

Kanakidou, M., Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., Barnes, I., Dentener, F.J., Facchini, M.C., Van Dingenen, R., Ervens, B., Nenes, A., Nielsen, C.J., Swietlicki, E., Putaud, J.P., Balkanski, Y., Fuzzi, S., Hoth, J., Moortgat, G.K., Winterhalter, R., Myhre, C.E.L., Tsigaridis, K., Vignati, E., Stephanou, E.G., Wilson, J. Organic aerosol and global climate modelling: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 1053-1123, 2005.

Ketzel, M., Omstedt, G., Johansson, C., Doring, I., Pohjola, M., Oetl, D., Gidhagen, L., Wahlin, P., Lohmeyer, A., Haakana, M., Berkowicz, R. Estimation and validation of PM_{2.5}/PM₁₀ exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. *Atmospheric Environment*, 41, 9370-9385, 2007.

Lazaridis, M., Dzumbova, L., Kopanakis, I., Ondracek, J., Glytsos, T., Aleksandropoulou, V., Voulgarakis, A., Katsivela, E., Mihalopoulos, N., Eleftheriadis, K. PM₁₀ and PM_{2.5} levels in the eastern Mediterranean (Akrotiri research station, Crete, Greece). *Water Air and Soil Pollution*, 189, 85-101, 2008.

Manalis, N., Grivas, G., Protonotarios, V., Moutsatsou, A., Samara, C., Chaloulakou, A. Toxic metal content of particulate matter (PM₁₀), within the Greater Area of Athens. *Chemosphere*, 60, 557-566, 2005.

Mihalopoulos, N., Stephanou, E., Kanakidou, M., Pilitsidis, S., Bousquet, P. Tropospheric aerosol ionic composition in the Eastern Mediterranean region. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 49, 314-326, 1997.

Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W.Y., Lipsett, M. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in Nine California Counties: Results from CALFINE. *Environmental Health Perspectives*, 114, 1, 2006.

Pateraki, S., Maggos, Th., Michopoulos, J., Flocas, H.A., Asimakopoulos, D.N., Vasiliakos, Ch. Ions species size distribution in particulate matter associated with VOCs and meteorological conditions over an urban region. *Chemosphere*, 72, 496-503, 2008.

Pener, J.E., Chuang, C.C., Grant, K., Climate Forcing by Carbonaceous and Sulphate Aerosols. *Climate Dynamics*, 14, 839-851, 1998.

Pope 3rd, C.A., Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E., Heath Jr., C.W. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults. *American Journal of Respiratory & Critical Care Medicine*, 151, 669-674, 1995.

Pope, C.A. Review: Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards. *Aerosol Science & Technology*, 32, 4-14, 2000.

Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., Artinano, B., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Buringh, E., ten Brink, H.M., Lutz, M., Bruckmann, P., Straehl, P., Schneider, J. Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in selected European cities. *Atmospheric Environment*, 2004. 38, 6547-6555, 2004.

Samara, C. Chemical mass balance source apportionment of TSP in a lignite-burning area of Western Macedonia, Greece. *Atmospheric Environment*, 39, 6430-6443, 2005.

Samara, C. and Voutsas, D. Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment. *Chemosphere*, 59, 1197-1206, 2005.

Siskos, P.A., Bakeas, E.B., Lioli, I., Smirnioudi, V.N., Koutrakis, P. Chemical Characterization of PM2.5 Aerosols in Athens-Greece. *Environmental Technology*, 22, 687 -695, 2001.

Terzi, E., Anatolaki, C., Samara, C., Tsitouridou, R. Mass closure of total suspended particles over the coal burning power production area of western Macedonia, Greece. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 59, 171-186, 2008.

Theophanides, M., Anastassopoulou, J., Vasilakos, C., Maggos, T. Mortality and pollution in several Greek cities. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 42, 741-746, 2007.

Triantafyllou, A.G. PM10 pollution episodes as a function of synoptic climatology in a mountainous industrial area. *Environmental Pollution*, 112, 491-500, 2001

Tsitouridou, R., Voutsas, D., and Kouimtzis, T. Ionic composition of PM10 in the area of Thessaloniki, Greece. *Chemosphere*, 52, 883-891, 2003.

Vassilakos, C., Saraga, D., Maggos, Th., Michopoulos, J., Pateraki, S., Helmis, C.G. Temporal variations of PM_{2.5} in the ambient air of a suburban site in Athens, Greece. *Science of the Total Environment*, 349, 223-231, 2005.

Βιβλία

Boubel R. W., Fox D. L., Turner D. B., Stern A. C. *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Ed., Academic Press, 1994.

Colls J. *Air Pollution*, 2nd Ed. Spon Press, London and New York, 2002.

Finlayson-Pitts B. J., Pitts J. N. Jr. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. John Wiley & Sons, Inc., 1986.

Hinds, W. C. *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles* (2 ed.). John Wiley & Sons, Inc., 1999.

Jacob D. J. *Introduction To Atmospheric Chemistry*, Princeton University Press Princeton, New Jersey, 1999.

Jacobson M. Z. *Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation*, Cambridge University Press, 2002.

Malm W. C. *Introduction to Visibility*. Colorado State University, 1999.

Seinfeld J. H., Flagan, R.C. *Fundamentals of air pollution engineering*. Prentice Hall, 1988.

Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2006.

Wark K., Warner C. F., Davis W.T. *Air pollution Its Origin and Control*., 3rd Ed. Addison Wesley Longman, Inc., 1998.

Γεντεκάκης I.B. *Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες*.

Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003.

Φυτιάνος Κ.& Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ. Χημεία Περιβάλλοντος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2009.

Λαζαρίδης Μ. Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005.

Άλλες πηγές

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, Air Quality Criteria for Particulate Matter Volume I. EPA/600/P-99/002aF, October 2004.

IPCC, 2007. Intergovernmental panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

WHO, 2006. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution.