

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ
ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ**

ΛΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΜΙΧΑΗΛ (Α.Μ. 36694)

Επιβλέπων Καθηγητής: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Γ. ΠΑΛΙΑΤΣΟΣ



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Το φυσικό περιβάλλον.....σελ. 3
1.2 Η ατμόσφαιρα.....σελ.4
1.3 Η ατμοσφαιρική ρύπανση.....σελ.10
1.4 Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι.....σελ.11
1.5 Βασικοί αέριοι ρύποι.....σελ.14

Κεφάλαιο 2^ο Τα αιωρούμενα σωματίδια

2.1 Πηγή προέλευσης αιωρούμενων σωματιδίων.....σελ. 19
2.2 Η αεροδυναμική διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων.....σελ.23
2.3 Ο μηχανισμός σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων.....σελ.24
2.4 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία.....σελ.25
2.5 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον.....σελ.35
2.6 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων.....σελ.39

Κεφάλαιο 3^ο Μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των αιωρούμενων σωματιδίων

3.1 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων σωματιδιακής ρύπανσης.....σελ.42
3.2 Συζήτηση – Συμπεράσματα.....σελ.63

Βιβλιογραφία.....σελ.67

Κεφάλαιο 1

1.1 Το φυσικό περιβάλλον

Το φυσικό περιβάλλον, το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημονικών κλάδων, όπως της Φυσικής, της Γεωλογίας, της Γεωγραφίας, της Γεωφυσικής, της Υδρολογίας, της Ιστορίας, της Βιοτεχνολογίας κ. ά. (<http://www.newagepublishers.com/samplechapter/001773.pdf>), περιλαμβάνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και τα έμβια όντα που υπάρχουν στη Γη, ή σε κάποια περιοχή της π.χ. τη βλάστηση, τους μικροοργανισμούς, τα ζώα, το έδαφος, τα πετρώματα, τον αέρα, το νερό, την ατμόσφαιρα, τα φυσικά φαινόμενα, το κλίμα, την ακτινοβολία, το ηλεκτρικό φορτίο, το μαγνητισμό κ. ά. (<http://www.environment.gen.tr/what-is-environment/669-environment.html>).

Το περιβάλλον υποστηρίζει τη ζωή στη Γη και ευνοεί την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία μεταξύ των έμβιων οργανισμών και του περιβάλλοντος (http://www.du.ac.in/fileadmin/DU/Academics/course_material/SE_01.pdf), αλλά και την αλληλεπίδραση μεταξύ των φυσικών και βιολογικών στοιχείων του. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του περιβάλλοντος και των οργανισμών που ζουν σε αυτό ονομάζεται οικοσύστημα (<http://www.differencebetween.info/difference-between-environment-and-ecosystem>) Ως περιβάλλον ορίζεται επίσης και «η αλληλεπίδραση μεταξύ των τριών βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος -του νερού, του αέρα και του εδάφους-, αλλά και η αμοιβαία επίδραση μεταξύ αυτών των στοιχείων, του ανθρώπου και των άλλων έμβιων οργανισμών» (<http://www.newagepublishers.com/samplechapter/001773.pdf>). Ο Mayank Kumar ταυτίζει την έννοια του περιβάλλοντος με την έννοια της φύσης παραθέτοντας τον ορισμό του Raymond Williams σύμφωνα με τον οποίον «η φύση είναι ο υλικός κόσμος ο οποίος περιλαμβάνει ή δεν περιλαμβάνει τους ανθρώπους» (http://www.du.ac.in/fileadmin/DU/Academics/course_material/SE_01.pdf).

Ο άνθρωπος κατέχει μια ιδιαίτερη θέση στο περιβάλλον, αφού έχει την ικανότητα να το επηρεάζει και να το διαμορφώνει με διάφορους τρόπους (http://www.du.ac.in/fileadmin/DU/Academics/course_material/SE_01.pdf). Το περιβάλλον που έχει δεχτεί τις επιδράσεις του ανθρώπου ονομάζεται δομημένο και αντιπαραβάλλεται με το φυσικό περιβάλλον. Οι παρεμβάσεις των ανθρώπων στο φυσικό περιβάλλον έχουν αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου. Μέχρι και πριν τη βιομηχανική επανάσταση, οι παρεμβολές του ανθρώπου στο περιβάλλον ήταν ήπιου τύπου και αντιστρέψιμες.

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση έως και σήμερα οι παρεμβάσεις έχουν γίνει πιο έντονες, μη αναστρέψιμες (π.χ. ρύπανση των υδάτων, ρύπανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους) και οφείλονται, σε μεγάλο βαθμό, στις ολοένα αυξανόμενες καταναλωτικές και διατροφικές ανάγκες των ατόμων (Τσαμπούκου-Σκαναβή 2004).

Η προστασία του περιβάλλοντος και η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων (Σχήμα 1.1.) είναι πλέον επιβεβλημένη σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται μια σειρά από μη-κυβερνητικές Οικολογικές-Περιβαλλοντικές Οργανώσεις, που έχουν ως στόχο τους την προστασία της χλωρίδας, της πανίδας και του θαλάσσιου περιβάλλοντος όπως η WWF Ελλάδας, η Greenpeace, ο Αρκτούρος, η Ελληνική Εταιρία Προστασίας της Φύσης, η Ελληνική Ένωση Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος κ. ά. (Τσαμπούκου-Σκαναβή 2004).



Σχήμα 1.1. Η προστασία του περιβάλλοντος είναι επιβεβλημένη σε παγκόσμιο επίπεδο (<http://us.123rf.com/400wm/400/400/nexusplexus/nexusplexus1010/nexusplexus101000515/7989298-human-hand-and-multicolored-butterflies-grass-and-a-symbol-of-the-environment-collage.jpg>).

1.2. Η ατμόσφαιρα

Ενώ το περιβάλλον αναφέρεται σε όλα τα έμβια ή μη στοιχεία που διαμορφώνουν όλα όσα μας περιβάλλουν στη Γη, η ατμόσφαιρα αποτελεί το σύνολο των αερίων τα οποία περιβάλλουν την επιφάνειά της (<http://www.differencebetween.info/difference-between-atmosphere-and-environment>). Η ατμόσφαιρα αποτελείται από μια σειρά μόνιμων, αλλά και μεταβλητών αερίων. Μεταβλητά είναι τα αέρια εκείνα των οποίων

οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα δεν είναι σταθερές, δηλαδή μεταβάλλονται (αυξομειώνονται). Τα βασικά αέρια της ατμόσφαιρας είναι το οξυγόνο, το άζωτο, το αργό και οι υδρατμοί, ενώ υπάρχουν και πολλά αέρια σε μικρές συγκεντρώσεις (trace gases) π.χ. το υδρογόνο, το ξένο κ. ά. (Πίνακας 1). Η σύσταση των αερίων της ατμόσφαιρας έχει παραμείνει σχετικά σταθερή σχεδόν καθ' όλη την ιστορία της Γης (<http://www.learner.org/courses/envsci/unit/pdfs/unit2.pdf>).

Πίνακας 1. Η σύσταση της ατμόσφαιρας (<http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopaideia/5034-atmos-composition>).

Αέρια της ατμόσφαιρας (τα επτά πρώτα ονομάζονται μόνιμα αέρια και τα επτά τελευταία ονομάζονται μεταβλητά αέρια)	Συγκέντρωσή κάθε αερίου στην ατμόσφαιρα (%)
Άζωτο (N ₂)	78.08
Οξυγόνο (O ₂)	20.95
Αργό (Ar)	0.93
Νέον (Ne)	0.0018
Ήλιο (He)	0.0005
Υδρογόνο (H ₂)	0.00005
Ξένο (Xe)	0.000009
Υδρατμοί (H ₂ O)	0 – 4
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0.038
Μεθάνιο (CH ₄)	0.00017
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	0.00003
Όζον (O ₃)	0.000004
Σωματίδια (PM)	0.000001
Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	0.0000002

1.2.1 Η σημαντικότητα της ατμόσφαιρας

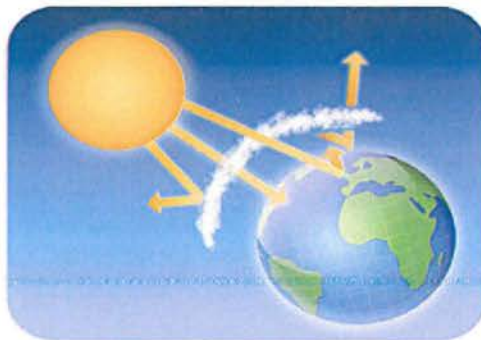
Η σπουδαιότητα της ατμόσφαιρας είναι μεγάλη. Χωρίς αυτήν δε θα μπορούσε να υπάρξει ζωή στη Γη. Η Γη θα ήταν δηλαδή ένα στείρο και άγονο μέρος όπως πιστεύεται ότι είναι οι υπόλοιποι πλανήτες του Ηλιακού μας Συστήματος. Η ζωή στη Γη είναι δυνατή χάρη στο διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο, δύο σημαντικών αερίων της ατμόσφαιρας. Τα φυτά χρησιμοποιούν το διοξείδιο του άνθρακα για να λειτουργήσουν το μηχανισμό της φωτοσύνθεσης, μιας διαδικασίας μέσω της οποίας

δεσμεύουν το ηλιακό φως, για να μετασχηματίσουν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε τροφή (<http://www.misterwems.com/importance-of-the-atmosphere.html>). Το διοξείδιο του άνθρακα δηλαδή συμβάλλει στην επιβίωση των φυτών.

Η επιβίωση των φυτών διασφαλίζει την επιβίωση των φυτοφάγων ζώων ή/και οργανισμών (που τρέφονται με φυτά), των σαρκοφάγων ζώων (που λεία τους είναι τα φυτοφάγα ζώα), αλλά και του ανθρώπου. Η ύπαρξη του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα- το οποίο εκλύεται μέσω της φωτοσύνθεσης- επιτρέπει τη διαδικασία της αναπνοής. Χωρίς το οξυγόνο τόσο οι άνθρωποι όσο και τα ζώα δε θα μπορούσαν να ζήσουν παρά μόνο για λίγα λεπτά.

Η ατμόσφαιρα ευνοεί τη ζωή στη Γη και με άλλους τρόπους αφού:

- λειτουργεί σα φίλτρο που απορροφά και αντανακλά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, κάποια από τα οποία είναι βλαβερά για τους ανθρώπους και για άλλους έμβιους οργανισμούς στη Γη (<http://telstar.ote.cmu.edu/envIRON/m3/s2/04solarad.shtml>),
- ελέγχει την ηλιακή ακτινοβολία (Σχήμα 1.2) που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και ρυθμίζει τα επίπεδα της ακτινοβολία που διαφεύγουν από τη Γη στο διάστημα (<http://telstar.ote.cmu.edu/envIRON/m3/s2/04solarad.shtml>),



Σχήμα 1.2. Συστατικά της ατμόσφαιρας προφυλάσσουν τη Γη από βλαβερές συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας (<http://www.misterwems.com/importance-of-the-atmosphere.html>).

- ρυθμίζει τη θερμοκρασία της Γης. Τα αέρια της ατμόσφαιρας που «τυλίγουν» τη Γη διατηρούν τη θερμοκρασία της σε τέτοια επίπεδα, ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη ζωής. Τα αέρια αυτά απομακρύνουν τις πρωινές ώρες τις καυτές ακτίνες του ηλίου, ενώ το βράδυ συγκρατούν τη ζέστη κοντά στην επιφάνεια, για να μη διαφύγει στο διάστημα (<http://www.misterwems.com/importance-of-the-atmosphere.html>),

- διατηρεί σταθερές τις κλιματικές συνθήκες και τη θερμοκρασία στις διάφορες περιοχές της Γης, με αποτέλεσμα να μη διαταράσσεται η ζωή που έχει αναπτυχθεί σε αυτές (<http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s2/04solarad.shtml>),
- ευνοεί τη μετάδοση του ήχου. Η μετάδοση του ήχου πραγματοποιείται με τη βοήθεια των αερίων της ατμόσφαιρας, αφού τα κύματα του ήχου δεν μπορούν να μεταδοθούν σε κενό χώρο (<http://www.misterwems.com/importance-of-the-atmosphere.html>),
- διυλίζει και καθαρίζει το νερό της Γης. Το νερό εξατμίζεται δημιουργώντας υδρατμούς που ανέρχονται από την επιφάνεια της Γης, εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας, προς την ατμόσφαιρα. Εκεί ψύχονται, υγροποιούνται, σχηματίζουν τα νέφη και επιστρέφουν στη Γη με το μηχανισμό της βροχής, σαν «καθαρό» νερό (<http://www.misterwems.com/importance-of-the-atmosphere.html>). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται κύκλος του νερού ή υδρολογικός κύκλος (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 Ο κύκλος του νερού (<http://www.kidzone.ws/imageschanged/water/swatercycle1.gif>).

- διαμορφώνει τον καιρό. Χωρίς την ατμόσφαιρα δε θα υπήρχαν σύννεφα, βροχή ή χιόνι, δε θα υπήρχε στην πραγματικότητα καθόλου καιρός, αφού ο καιρός προκύπτει επειδή η ατμόσφαιρα θερμαίνεται σε κάποιες περιοχές της Γης περισσότερο, σε σχέση με άλλες λόγω του διαφορετικού τρόπου με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία φωτίζει τις διάφορες γήινες επιφάνειες ([Παλιατσός 1999](#)).

1.2.2. Τα στρώματα της ατμόσφαιρας

Ένας πρώτος διαχωρισμός της ατμόσφαιρας γίνεται με βάση τη μεταβολή ή όχι της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος. Με τον τρόπο αυτό διαχωρίζεται η ατμόσφαιρα σε δύο μεγάλες περιοχές, την ομοιόσφαιρα και την ετερόσφαιρα και η διαχωριστική

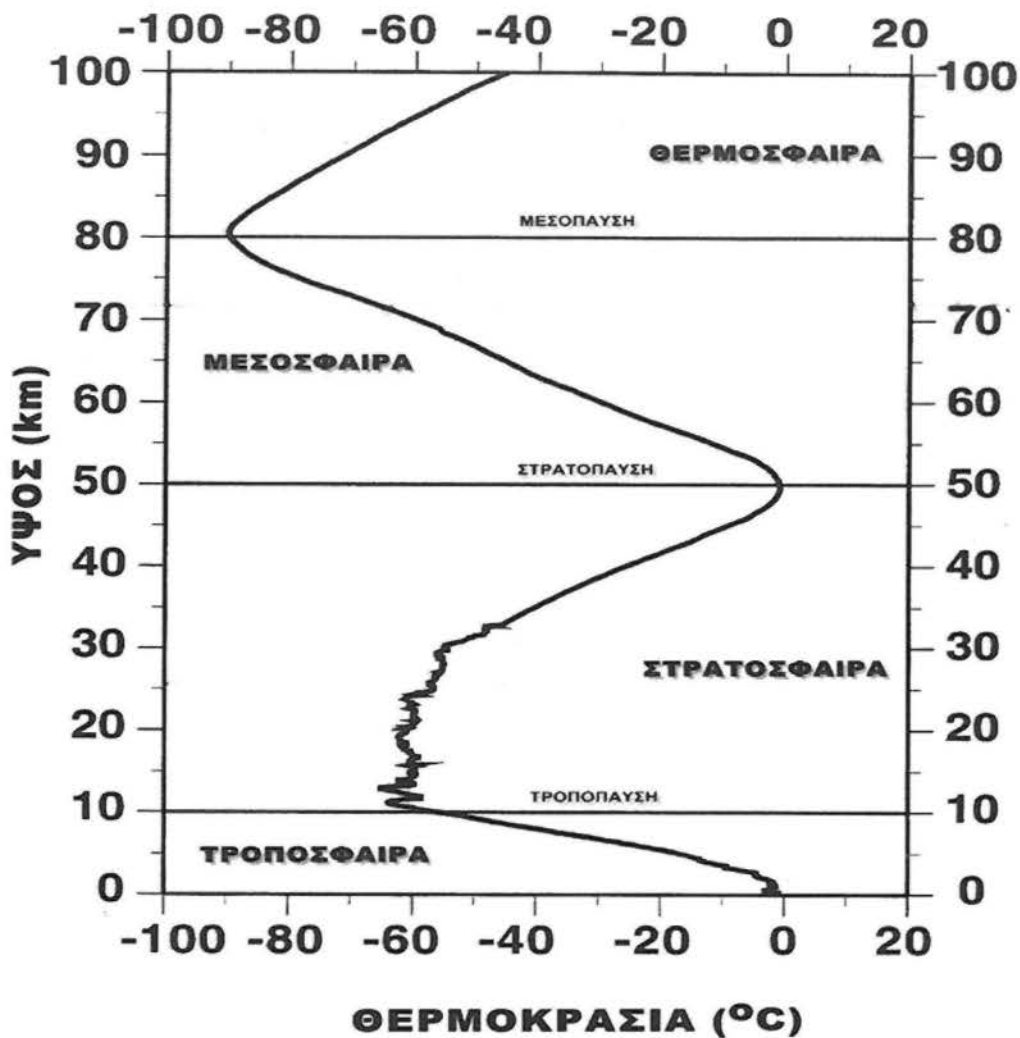
τους περιοχή βρίσκεται περίπου στο ύψος των 100km. Η σύσταση της ομοιόσφαιρας φαίνεται στον Πίνακα 1.

Στην ετερόσφαιρα η διάχυση και η μοριακή διάσπαση των ατμοσφαιρικών αερίων έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυξανόμενου του ύψους, το μέσο μοριακό βάρος του αέρα να ελαττώνεται.

Εκτός όμως από τη μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας με το ύψος, ο διαχωρισμός της σε περιοχές με κοινά ή σχεδόν κοινά χαρακτηριστικά μπορεί να γίνει και με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος. Με αυτό το διαχωρισμό η ομοιόσφαιρα μπορεί, σε πρώτη προσέγγιση, να χωριστεί σε τρεις βασικές περιοχές, την τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα, τη μεσόσφαιρα και τη βάση της θερμόσφαιρας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4. Η περιοχή πάνω από την τροπόσφαιρα και μέχρι το ύψος περίπου των 100km ονομάζεται μέση ατμόσφαιρα. Η ετερόσφαιρα μπορεί να χωριστεί στην κυρίως θερμόσφαιρα και στην εξώσφαιρα. Πιο αναλυτικά, αυτές οι επιμέρους ατμοσφαιρικές περιοχές, με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος, είναι:

Τροπόσφαιρα: Είναι η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 12 ± 4 km, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Στην περιοχή αυτή γίνονται όλες σχεδόν οι μετεωρολογικές διεργασίες και αποτελεί το χώρο συλλογής και εξάπλωσης των διαφόρων ρυπαντικών ουσιών. Χαρακτηρίζεται από την ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος η οποία κατά μέσο όρο είναι ίση με $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας με το ύψος ονομάζεται θερμοβαθμίδα. Η άνω οριακή περιοχή της τροπόσφαιρας ονομάζεται τροπόπαυση.

Στρατόσφαιρα: Πάνω από την τροπόπαυση η θερμοκρασία για λίγα χιλιόμετρα παραμένει σχεδόν σταθερή με το ύψος και μετά αυξάνει συνέχεια μέχρι περίπου τα 50km, όπου η περιοχή είναι σχεδόν ισόθερμη και ονομάζεται στρατόπαυση. Η αύξηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας με το ύψος οφείλεται βασικά στην απορρόφηση μεγάλου μέρους της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το όζον (O_3) και αυτή η διεργασία αποτελεί τη βασική πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας.



Σχήμα 1.4. Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος μέχρι 100 Km και οι περιοχές που καθορίζονται από αυτήν (Reid 2000).

Μεσόσφαιρα: Χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος και εκτείνεται μέχρι περίπου τα 80km, όπου βρίσκεται η περιοχή της μεσόπαυσης. Η μεσόπαυση είναι η πιο ψυχρή περιοχή της ατμόσφαιρας.

Θερμόσφαιρα: Η θερμόσφαιρα εκτείνεται πάνω από τη μεσόπαυση και μέχρι περίπου το ύψος των 400km όπου βρίσκεται η περιοχή της θερμόπαυσης. Χαρακτηρίζεται από μονότονη αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος, η οποία φθάνει στους 1000°K στο ανώτερο όριο της περιοχής αυτής. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας και στην εν συνεχεία διάσπαση και ιονισμό των αερίων.

Εξώσφαιρα: Το όριο όπου παύει η αύξηση της θερμοκρασίας είναι η περιοχή της θερμόπαυσης και από εκεί και πάνω η ατμόσφαιρα είναι ισόθερμη και ονομάζεται

εξώσφαιρα. Η βάση της, εξαρτώμενη από την ηλιακή δραστηριότητα, βρίσκεται στα ύψη μεταξύ των 400 και 500km.

1.3. Η Ατμοσφαιρική ρύπανση

Άλλο ένα μείζονος σημασίας πρόβλημα σχετικό με την ατμόσφαιρα είναι η ρύπανσή της. Ο ατμοσφαιρικός αέρας χαρακτηρίζεται σαν ρυπασμένος όταν η παρουσία ξένων ουσιών ή η μεταβολή της αναλογίας των συστατικών του μπορούν να δημιουργήσουν επιβλαβείς συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του.

Ρύπος είναι κάθε ουσία που προστίθεται άμεσα ή έμμεσα στην ατμόσφαιρα από φυσικές πηγές ή ανθρωπογενείς δραστηριότητες, σε ποσότητες ικανές να επηρεάσουν τη δομή, τα χαρακτηριστικά ή τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας. Οι ρύποι εισερχόμενοι στην ατμόσφαιρα προκαλούν βλάβες στους έμβιους οργανισμούς, το φυσικό ή δομημένο περιβάλλον. Ειδικότερα, στον άνθρωπο προκαλούν ασθένειες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν ακόμη και στον θάνατο.

Η υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που διαμορφώνουν την ποιότητα ζωής στις σύγχρονες πόλεις και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπινου οργανισμού. Μέρος των ατμοσφαιρικών ρύπων, κυρίως μέσω της αναπνευστικής οδού, εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλώντας σοβαρά νοσήματα. Από επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν ως τώρα έχει προκύψει όχι μόνο συσχέτιση μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εξάρσεων χρόνιων πνευμονικών νόσων αλλά και αύξηση των θανάτων από καρδιαγγειακές παθήσεις, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένα άτομα και άτομα με υποκείμενες καρδιοπνευμονικές παθήσεις (Glantz 1993, Seaton et al. 1995). Η σχέση της καρδιοαγγειακής θνησιμότητας και νοσηρότητας με την ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και τις κλιματολογικές μεταβολές έχει αποτελέσει ιδιαίτερο θέμα συζήτησης στην επιστημονική κοινότητα τα τελευταία χρόνια (Glantz 1993, Seaton et al. 1995, Bartzokas et al. 2004, Paliatsos et al. 2006a, Nastos et al. 2010, Samoli et al. 2011).

1.3.1 Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στις ανθρωπογενείς και στις φυσικές. Οι κύριες σύγχρονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον είναι:

- η γεωργία εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης φυτοφαρμάκων και παρασιτοκτόνων,
- η λειτουργία των τομέων λειτουργίας της βιομηχανίας και παραγωγής ενέργειας που προκαλεί έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρύπων,
- οι εξορύξεις ορυκτών ή μεταλλευμάτων από το υπέδαφος της Γης,
- ο τομέας των μεταφορών (θαλάσσιες, εναέριες και χερσαίες) και
- οι οικιακές δραστηριότητες (π.χ. η λειτουργία συστημάτων οικιακής θέρμανσης).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι βέβαια μόνο αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, αλλά προκαλείται και από άλλους παράγοντες. Οι γεωγενείς και βιογενείς εκπομπές πιστεύεται ότι συμβάλλουν και αυτές, με τη σειρά τους- ίσως και περισσότερο- στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι γεωγενείς εκπομπές προκαλούνται από τον άβιο κόσμο. Παραδείγματα γεωγενών εκπομπών είναι οι εκρήξεις των ηφαιστειών, οι εκπομπές θαλάσσιων σωματιδίων και οι εκπομπές από τις δασικές πυρκαγιές που ξεσπούν με φυσικό τρόπο. Οι βιογενείς εκπομπές προκύπτουν από τους έμβιους οργανισμούς όπως οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από τα δάση και οι εκπομπές μεθανίου από τους βάλτους (Daly and Zannetti 2007).

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα τείνει να επηρεάζει τις γεωγενείς και βιογενείς εκπομπές. Για παράδειγμα, οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων επηρεάζονται από το κόψιμο ή το φύτεμα δέντρων (βιογενείς εκπομπές), ενώ οι εκπομπές της σκόνης αλλάζουν ανάλογα με την ανθρώπινη παρέμβαση στο έδαφος (Daly and Zannetti 2007).

1.4. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Ατμοσφαιρικοί ρύποι θεωρούνται οι αέριες, οι υγρές και οι στερεές ουσίες που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε τόσο υψηλές συγκεντρώσεις, ώστε να θεωρούνται επιζήμιες για το περιβάλλον, για τους ανθρώπους, για τα ζώα και για τα φυτά. Αέριος ρύπος είναι κάθε ουσία που εκπέμπεται στον αέρα από μια γεωγενή, βιογενή ή ανθρωπογενή πηγή, η οποία (ουσία) είτε δεν είναι συστατικό στοιχείο της ατμόσφαιρας, είτε αποτελεί συστατικό στοιχείο της σε πολύ υψηλότερη όμως συγκέντρωση από φυσιολογικό. Οι αέριοι ρύποι μπορεί να προκαλέσουν μακροπρόθεσμες ή βραχυπρόθεσμες δυσμενείς ή ανεπιθύμητες επιπτώσεις (Daly and Zannetti 2007).

Οι ρύποι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους πρωτογενείς και στους δευτερογενείς. Οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας στον αέρα από μια πηγή ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι, ενώ αυτοί που δεν εκπέμπονται, αλλά σχηματίζονται

στην ατμόσφαιρα από την αλληλεπίδραση πρωτογενών ρύπων, ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι. Ένας από τους πιο γνωστούς δευτερογενείς ατμοσφαιρικούς ρύπους είναι η όξινη βροχή, η οποία σχηματίζεται όταν το διοξείδιο του θείου ή τα οξείδια του αζώτου αλληλεπιδρούν με το νερό (<http://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/primary-pollutant-secondary-pollutant.htm>).

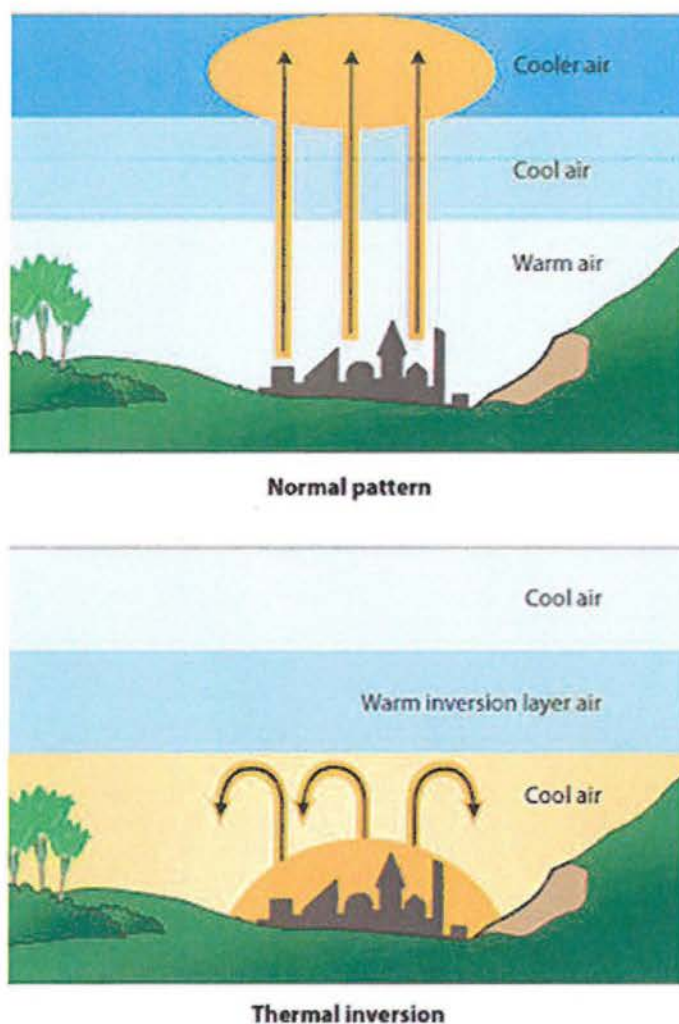
Το είδος και η ποσότητα των εκπεμπόμενων ατμοσφαιρικών ρύπων καθορίζει και την περιοχή επίδρασής τους. Έτσι, υπάρχουν ρύποι που επηρεάζουν μια μόνο περιοχή (τοπική επίδραση) και άλλοι που ενεργούν σε ευρύτερο επίπεδο (ευρύτερη επίδραση). Ο καπνός, για παράδειγμα, που προέρχεται από τη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης ή την κυκλοφορία των αυτοκινήτων ήταν ένας ρύπος που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος μιας πόλης ή μιας γειτονιάς. Αντίθετα, ο καπνός από μια μεγάλη δασική πυρκαγιά επηρεάζει μια πολύ ευρύτερη περιοχή. Σημαντικό ρόλο στην επίδραση που έχουν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι παίζει και η χρονική διάρκεια εκπομπής τους. Η μακροπρόθεσμη έκθεση δηλαδή σε κάποιον ή κάποιους ρύπους τείνει να δημιουργεί περισσότερα προβλήματα από τη βραχυπρόθεσμη (<http://www.bcairquality.ca/101/pollutants-intro.html>).

1.4.1. Η διασπορά και η αραίωση των ατμοσφαιρικών ρύπων

Όταν οι αέριοι ρύποι εκλύονται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μπορούν να διασκορπιστούν μέσω του πνέοντος ανέμου σε συνάρτηση πάντοτε με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Ο τρόπος διασποράς των αέριων ρύπων στον στην ατμόσφαιρα- εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: από την πηγή εκπομπής τους (μια ή περισσότερες πηγές), από την ποσότητα του εκπομπόμενου ρύπου, από τις μετεωρολογικές συνθήκες (ταχύτητα και διεύθυνση πνέοντος ανέμου, θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική σταθερότητα ή αστάθεια), αλλά και από χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία εκπέμπονται, όπως τοπογραφία και το γεωγραφικό ανάγλυφο της περιοχής (Παλιατσός 1999).

Για παράδειγμα, η διεύθυνση και η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου καθορίζουν το βαθμό αραίωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Όταν ο άνεμος πνέει μόνο από μια μόνο διεύθυνση, θα επηρεάσει τα επίπεδα συγκέντρωσης προς αυτή τη διεύθυνση ανάλογα βέβαια και με την ταχύτητα που πνέει ο άνεμος. Αντίθετα, αν η διεύθυνση του ανέμου είναι μεταβλητή, ενδεχομένως να προκληθεί διασκορπισμός των αέριων ρύπων σε μεγαλύτερο βαθμό. Η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου καθορίζει την ταχύτητα απομάκρυνσης των αέριων ρύπων από την πηγή εκπομπής τους. Αν η

ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη, θα απομακρυνθούν πιο γρήγορα από την πηγή, και το αντίστροφο (Μελάς κ. ά. 2000).



Σχήμα 1.6. Σε συνθήκες εμφάνισης (κάτω μέρος) και μη εμφάνισης (άνω μέρος) του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής (http://www.google.gr/imgres?imgurl=http://playingintheworldgame.files.wordpress.com/2013/01/temperature_inversion_full_size_portrait.jpg&imgrefurl=http://playingintheworldgame.wordpress.com/tag/weather/&h=509&w=339&sz=30&tbnid=eZmnqPQgGgQxFM:&tbnh=90&tbnw=60&zoom=1&usg=__ns9GPZ0DiIBtveez8O5C7SSCJNw=&docid=Tn8sU3lk8gjoQM&sa=X&ei=faObUvzHGYYTtAbIwoDwCA&ved=0CEEQ9QEwBA).

Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα ανάμειξης και διασποράς των αέριων ρύπων. Η ατμοσφαιρική αστάθεια οδηγεί σε μεγαλύτερης κλίμακας αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (π.χ. σε ακανόνιστες ανοδικές/καθοδικές κινήσεις του αέρα ή σε κατακόρυφες κινήσεις του αέρα) σε

σύγκριση με την ατμοσφαιρική σταθερότητα. Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα οδηγούν σε αραιώση των ατμοσφαιρικών ρύπων η οποία ονομάζεται και διάχυση (Μελάς κ. ά. 2000).

Με αυτή τη λογική, όταν επικρατούν συνθήκες αστάθειας (μεγάλης κλίμακας αναταρακτικές κινήσεις του αέρα), τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μειώνονται, γιατί οι ατμοσφαιρικοί ρύποι αραιώνονται πολύ, ενώ όταν επικρατούν συνθήκες ευστάθειας (μικρότερης κλίμακας αναταρακτικές κινήσεις αέρα), τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης αυξάνουν, γιατί δεν γίνεται αραιώση σε υψηλό βαθμό (Μελάς κ. ά. 2000). Μια ακραία μορφή ευστάθειας είναι η εμφάνιση του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής (Σχήμα 1.6), Σε συνθήκες εμφάνισης αυτού του φαινομένου, η ατμόσφαιρα είναι πολύ σταθερή, οι πνέοντες άνεμοι ασθενείς και η διάχυση των ατμοσφαιρικών ρύπων εμποδίζεται, με αποτέλεσμα να καταγράφονται πολύ υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης (Παλιατσός 1999).

1.5 Βασικοί αέριοι ρύποι

Οι βασικοί αέριοι ρύποι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το επιφανειακό ή τροποσφαιρικό όζον, ο μόλυβδος, οι πτητικές οργανικές ενώσεις και τα αιωρούμενα σωματίδια.

1.5.1. Το διοξείδιο του θείου

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ένα άχρωμο τοξικό αέριο, το οποίο έχει μια ασφυκτική και έντονη οσμή. Η κύρια πηγή εκπομπής του είναι η καύση καυσίμων που περιέχουν θείο π.χ. ο άνθρακας. Η έκθεση στο SO₂ μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στους ιστούς των πνευμόνων, βλάβες στην υγεία αλλά και στα αντικείμενα (Βασιλικιώτης 1989).

1.5.2. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) είναι ένα αέριο μίγμα μονοξειδίου του αζώτου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) που παράγεται από την αλληλεπίδραση/αντίδραση μεταξύ αζώτου και οξυγόνου σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται από την ανθρωπογενή δραστηριότητα (τομέας λειτουργίας της βιομηχανίας, τομέας παραγωγής ενέργειας και τομέας μεταφορών, κυρίως δε σε μεγαλουπόλεις στις οποίες κυκλοφορούν πολλά οχήματα) και από φυσικές πηγές (από τις αστραπές) (Παλιατσός 1999). Οι μεγάλες συγκεντρώσεις κυρίως του NO₂

μειώνεται η ορατότητα και αυξάνει ο κίνδυνος για εμφάνιση έντονων και χρόνιων αναπνευστικών νοσημάτων (Daly and Zannetti 2007).

1.5.3. Το μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άοσμο και άχρωμο αέριο το οποίο δημιουργείται από την ατελή καύση καυσίμων. Η μεγαλύτερη πηγή εκπομπής CO είναι τα βενζινοκίνητα παλαιάς τεχνολογίας αυτοκίνητα. Η εισπνοή του μονοξειδίου του άνθρακα συνδέεται με μείωση του ποσοστού του οξυγόνου στο κυκλοφορικό σύστημα. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις φαίνεται ότι συνδέεται με προβλήματα υγείας όπως πονοκεφάλους, ζαλάδες ή ακόμη και με θανάτους (Daly and Zannetti 2007).

1.5.4. Το Τροποσφαιρικό Όζον

Το τροποσφαιρικό ή επιφανειακό όζον (O₃) είναι ένας δευτερογενής αέριος ρύπος που δημιουργείται όταν το ηλιακό φως προκαλεί φωτοχημικές αντιδράσεις με πρωτογενείς ρύπους όπως τα οξειδία του αζώτου και τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στην ατμόσφαιρα φαίνεται ότι φτάνουν στο μέγιστό τους τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες (Paliatsos 2006b). Το O₃ μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, επιδείνωση των αναπνευστικών νοσημάτων και βλάβες σε ζώα και φυτά (White 1994, Paliatsos 2006b, Daly and Zannetti 2007).

1.5.5. Ο μόλυβδος

Η μεγαλύτερη πηγή μολύβδου (Pb) στην ατμόσφαιρα έχει προκύψει από την καύση της μολυβδούχου βενζίνης. Η καύση αμόλυβδης βενζίνης σε παγκόσμιο επίπεδο έχει μειώσει και την παραγωγή μολύβδου στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά υπάρχουν και άλλες πηγές από τις οποίες προκύπτει ο μόλυβδος όπως η καύση στερεών αποβλήτων και άνθρακα, οι εκπομπές από εργοστάσια παραγωγής σιδήρου και χάλυβα και από ο καπνός του τσιγάρου. Η έκθεση στο μόλυβδο τείνει να επηρεάζει το αίμα, τα νεφρά και διάφορα συστήματα όπως το νευρικό, το ανοσοποιητικό, το καρδιαγγειακό και το αναπαραγωγικό (Daly and Zannetti 2007).

1.5.6. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOCs) ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε αέρια κατάσταση, αλλά

που υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης θα ήταν υγρές ή στερεές. Αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι αποτέλεσμα των ρύπων που εκπέμπουν τα αυτοκίνητα, αλλά πηγάζουν και από την καύση βενζίνης, πετρελαίου, ξυλάνθρακα και φυσικού αερίου. Έχουν επίπτωση στο περιβάλλον με καταλυτικό ρόλο στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, στους ανθρώπους που ευθύνονται με την πρόκληση προβλημάτων υγείας όπως οι νεοπλασίες και τέλος είναι επιβλαβείς και για τα φυτά (<http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2010/10/VOCs.pdf>).

1.5.7. Τα αιωρούμενα σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matters- SPM) θεωρούνται όλα τα σώματα στερεά και υγρά, εκτός του νερού, που βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα και έχουν αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002 μm και μικρότερη από 500 μm περίπου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων είναι η σκόνη, η ιπτάμενη τέφρα, ο καπνός κ.λπ. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα και ορατά με σκούρο χρώμα και γίνονται αντιληπτά ως καπνός. Άλλα είναι τόσο μικρά που δεν είναι ορατά παρά μόνο από ειδικά ηλεκτρονικά μικροσκόπια (Βασιλικιώτης 1989, Κουϊμτζής κ. ά. 1998). Τα αιωρούμενα σωματίδια βρίσκονται σε υγρή, αέρια ή υγρή μορφή και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο χωρίζονται σε χονδρόκοκκα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10 μm (PM₁₀), στα λεπτόκοκκα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm (PM_{2.5}) και στα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm (PM₁) (<http://www.epa.gov/airscience/air-particulate-matter.htm>). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων είναι ο καπνός, η σκόνη, τα αερολύματα, και η γύρη. Οι κύριες πηγές εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι κατεδαφίσεις, οι βιομηχανίες/εργοστάσια, οι αγροτικές δραστηριότητες, τα οχήματα με κινητήρα π.χ. τα αυτοκίνητα και η καύση ξύλων. Η μακροπρόθεσμη εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων αυξάνει μεταξύ άλλων και το ρίσκο για χρόνια αναπνευστική νοσήματα (Daly and Zannetti 2007).

Κεφάλαιο 2

2. Τα αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια, (Particulate Matter -PM, ή Suspended Particulate Matter - SPM) ορίζονται με διάφορους τρόπους. Ως αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζεται το σύνολο όλων των στερεών και υγρών σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα (<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/>) το μείγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων που βρίσκονται στον αέρα (<http://www.epa.gov/pm/basic.html>) τα αερομεταφερόμενα σωματίδια που βρίσκονται σε στερεή ή σε υγρή μορφή (<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=2C68B45C-1>) κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός από το νερό, το οποίο έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002 μm και μικρότερη από 500 μm , περίπου (<http://www.air-quality.gr/pm.php>) και οποιουδήποτε μεγέθους υλικό στον αέρα σε στερεή η υγρή μορφή από μερικά nm μέχρι κάποιες δεκάδες μm (http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/3_particulates.pdf).

Τα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν τόσο οργανικά όσο και ανόργανα σωματίδια -όπως η σκόνη (ανόργανο σωματίδιο), η γύρη (οργανικό σωματίδιο), η αιθάλη (ανόργανο σωματίδιο), ο καπνός (ανόργανο σωματίδιο) και βρίσκονται στα δύο πρώτα στρώματα της ατμόσφαιρας, δηλαδή στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα. Η κύρια διαφορά μεταξύ των οργανικών και ανόργανων ενώσεων είναι ότι οι πρώτες εξάγονται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι τα φυτά ή τα ζώα, ενώ οι δεύτερες προέρχονται από αβιοτικά στοιχεία όπως οι πέτρες κ.λπ. (<http://www.diffbtwn.com/2010/01/difference-between-organic-and.html>). Η χωρική, η χρονική κατανομή, αλλά και η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλάζει ανάλογα με το στρώμα της ατμόσφαιρας στο οποίο βρίσκονται. Για παράδειγμα, τα σωματίδια που βρίσκονται στη στρατόσφαιρα παραμένουν περισσότερο χρόνο σε αυτή, εξαιτίας της ευσταθούς θερμοκρασιακής δομής της στρατόσφαιρας, σε αυτή σε σχέση με τα σωματίδια της τροπόσφαιρας τα οποία παρουσιάζουν μικρότερο χρόνο παραμονής (<http://www.physics.ntua.gr/~papayanis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>).

Τα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν σωματίδια με διαφορετική το καθένα μορφή και σχήμα. Έτσι, η γεωγραφική τους διάμετρος δεν μπορεί να περιγράψει τις διαστάσεις τους και δεν επιτρέπει τη μελέτη των ιδιοτήτων των σωματιδίων. Με τον όρο «αεροδυναμική διάμετρος» ορίζεται η διάμετρος που πρέπει να έχει ένα σφαιρικό

σώμα πυκνότητας 1g/cm^3 , ώστε κάτω από τις ίδιες συνθήκες να έχει την ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο (Samet and Krewski 2007, Dockery et al. 1993).

Η αεροδυναμική διάμετρος, άρα το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα όπως και τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Έτσι, ο μέσος όρος ζωής τους στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι πέντε ημέρες, ενώ στην ανώτερη τροπόσφαιρα φθάνει τον ένα μήνα. Όταν τα σωματίδια βρεθούν στην στρατόσφαιρα π.χ. λόγω έκρηξης ηφαιστείου, ο χρόνος παραμονής τους φτάνει τα 2-3 χρόνια. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των αερολυμάτων βρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σημαντικές εκπομπές βρίσκονται κοντά στο έδαφος, οπότε μικροί σχετικά χρόνοι παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν αφήνουν μεγάλα χρονικά περιθώρια για τη μεταφορά τους σε μεγαλύτερα ύψη. Στον πίνακα 2.1 απεικονίζεται η εξάρτηση της διαμέτρου σωματιδίου με τον χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα μέχρι και την καθίζησή του στο έδαφος.

Πίνακας 2.1 Χρόνος που απαιτείται για την κάθοδο ενός σωματιδίου λόγω βαρυτικής καθίζησης κατά 1km στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ. ά. 2000)

Αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (μm)	Χρόνος καθόδου 1 km
0.02	228 χρόνια
0.1	36 χρόνια
1	328 ημέρες
10	3.6 ημέρες
100	1.1 ώρες
1000	4 λεπτά

Τα αιωρούμενα σωματίδια της τροπόσφαιρας διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την περιοχή προέλευσής τους. Έτσι, υπάρχουν σωματίδια που προέρχονται από τη θάλασσα, σωματίδια που προέρχονται από το ηπειρωτικό τμήμα της Γης και σωματίδια που προέρχονται από τους πόλους. Τα θαλάσσια, τα ηπειρωτικά και τα πολικά αιωρούμενα σωματίδια διαφέρουν τόσο οπτικά, όσο και στη σύσταση. Τα σωματίδια με ηπειρωτική προέλευση, μάλιστα, χωρίζονται σε τρεις επιπλέον κατηγορίες, και πάλι σε σχέση με την προέλευσή τους. Όταν προέρχονται από αστικές περιοχές ονομάζονται αστικά αερολύματα, όταν προέρχονται από

απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, ονομάζονται αγροτικά αερολύματα και όταν προέρχονται από τις ερήμους, ονομάζονται αερολύματα της ερήμου (Σχήμα 2.1) (<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>).

Τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές τόσο ως προς τη χημική τους σύσταση όσο ως προς άλλες ιδιότητές τους. Για παράδειγμα, διάφορες έρευνες έχουν δείξει ότι διακρίνονται ανάλογα τα συστατικά από τις οποίες αποτελείται η μάζα τους σε: θειικά, νιτρικά, χλωριόντα, αμμωνιακά, οργανικού ή στοιχειακού άνθρακα, βιολογικών ή γεωλογικών υλικών, ισχυρών οξέων και μετάλλων (Μηνά, 2011).

Τα αιωρούμενα σωματίδια διαφέρουν επίσης ως προς (http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/3_particulates.pdf):

- την προέλευση,
- το σχήμα,
- ο μέγεθος,
- τη σύνθεση,
- την πυκνότητα,
- τη χημική σύσταση (που σχετίζεται με την ικανότητα διάβρωσης, την τοξικότητα και την αντιδραστικότητα τους),
- τη φάση και
- την κατανομή μεγέθους .

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε τρία μόνο χαρακτηριστικά τους: την πηγή προέλευσής τους, το μηχανισμό σχηματισμού τους και την αεροδυναμική τους διάμετρο.

2.1 Πηγές προέλευσης αιωρούμενων σωματιδίων

Οι βασικές πηγές προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι δύο: οι φυσικές πηγές και οι πηγές που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι κύριες φυσικές πηγές προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι τα ηφαιστεια (ηφαιστειακή τέφρα) (Σχήμα 2.1α), η θάλασσα (θαλάσσια αερολύματα), ο άνεμος (σκόνη που μεταφέρεται με τον άνεμο, κυρίως από Αφρική), η γύρη των φυτών (http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/3_particulates.pdf), οι πυρκαγιές δασών ή βοσκότοπων (καπνός), οι καταιγίδες πυκνής σκόνης, η έμβια βλάστηση και η

αλατονέφωση (<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>) Οι ανθρώπινες δραστηριότητες από τις οποίες προέρχονται αιωρούμενα σωματίδια είναι η γεωργία, οι μεταφορές, οι βιομηχανικές και μεταλλευτικές δραστηριότητες/διαδικασίες (όπως είναι η τριβή, η θραύση ή φόρτωση ορυκτών) (http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/3_particulates.pdf), οι καύσεις υλικών (π.χ. καύση ορυκτών καυσίμων από τα οχήματα ή η καύση κάρβουνου για θέρμανση ή παραγωγή ενέργειας, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες) και τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2.1β) (Πίνακας 2.2.) (<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>).



Σχήμα 2.1 (α) Ηφαίστειο και (β) εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (<http://www.emfnews.org/images/Nuclear%20Power%20Plant%20Fuel%20a%20source%20of%20Plutonium%20for%20Weapons.jpg>), (http://static.bbc.co.uk/earthscience/images/ic/640x360/natural_disasters/volcano.jpg).

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι τόσο πρωτογενούς (εκπέμπονται απευθείας ως σωματίδια) όσο και δευτερογενούς (δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα με διαδικασίες μετατροπής αερίων σε σωματίδια) προέλευσης και προέρχονται τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όσο και από φυσικές πηγές.

Μάλιστα, οι φυσικές πηγές είναι υπεύθυνες για το 70-90% του συνόλου των αιωρούμενων σωματιδίων. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται κυρίως από τη συμπύκνωση αερίων και τη δράση του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της Γης. Τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από τη συμπύκνωση πρόδρομων αερίων, όπως για παράδειγμα του

θεικού οξέως, το οποίο συμπυκνώνεται για το σχηματισμό των υδάτινων θεικών αλάτων.

Ο οργανικός άνθρακας αποτελεί ένα μεγάλο μέρος των μικρών σωματιδίων και αποδίδεται κυρίως στην συμπύκνωση υδρογονανθράκων τόσο βιογενούς, όσο και ανθρωπογενούς προέλευσης. Μια ακόμη σημαντική συνιστώσα των μικρού μεγέθους σωματιδίων είναι η αιθάλη η οποία παράγεται από τη συμπύκνωση αερίων κατά τη διάρκεια της καύσης. Η αιθάλη περιλαμβάνει τόσο στοιχειώδη τεμάχια άνθρακα, όσο και συμπυκνώσεις μαύρων οργανικών ενώσεων.

Πίνακας 2.2. Πηγές ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (WHO 2005).

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ
Σκόνη από πετρώματα, έδαφος	Μονάδες παραγωγής ενέργειας
Ηφαιστειακή δραστηριότητα	Βιομηχανική δραστηριότητα
Πυρκαγιές δασών	Μεταφορές, κατασκευές
Θάλασσες	Αγροτική εκμετάλλευση Γης
Μετατροπή αερίων σε σωματίδια	Μετατροπή αερίων σε σωματίδια
Φωτοχημική μετατροπή αερίων σε σωματίδια	Φωτοχημική μετατροπή αερίων σε σωματίδια
Καύση βιομάζας	Καύσεις

Η μηχανική δράση του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της Γης εκπέμπει θαλάσσιο αλάτι και, σκόνη από χώμα, και σωματίδια από τη βλάστηση διαμέτρου 1-10μm. Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 μm είναι δύσκολο να ανυψωθούν από τον άνεμο και έχουν μεγάλες ταχύτητες καθίζησης. Συμπληρωματικά, αξίζει να αναφέρουμε τις εκρήξεις ηφαιστειών οι οποίες τροφοδοτούν την ανώτερη τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα με σωματίδια τα οποία περιέχουν στοιχεία της γήινης επιφάνειας. Ωστόσο, η καύση ορυκτών καυσίμων είναι ίσως η σημαντικότερη ανθρωπογενής πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Στον Πίνακα 2.2. παρουσιάζονται οι διάφορες, φυσικές και ανθρωπογενείς, πηγές ατμοσφαιρικών αιωρημάτων.

Εκτός από την ανθρωπογενή δραστηριότητα, υπάρχουν φυσικά φαινόμενα τα οποία συνεισφέρουν στην αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρά. Στη διάρκεια μιας καταιγίδας σκόνης που συνέβη στο διάστημα μεταξύ 10 και 16 Μαρτίου 2004, πολύ μεγάλη ποσότητα σκόνης πέρασε πάνω από την παραλιακή πόλη Kangnung (Κορέα) εξ αιτίας των πνεόντων δυτικών ανέμων.

Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος ήταν η συγκέντρωση των PM_{10} να φτάσει τα $340\mu\text{g}/\text{m}^3$, οι συγκεντρώσεις των $PM_{2.5}$ και $PM_{0.1}$ να φτάσουν τα 105 και $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το διπλασιασμό της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των PM_{10} . Η μεγαλύτερη ποσότητα αυτής της σκόνης που μεταφέρθηκε από την Κίνα αποτελείτο από σωματίδια που το μέγεθός τους ήταν μεγαλύτερο από αυτό των $PM_{2.5}$ και $PM_{0.1}$ (Choi and Choi 2008).

Το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα δεν είναι νέο. Η αρχαιότερη αναφορά έγινε από τον Όμηρο στην Ιλιάδα ως «ματωμένη βροχή» και ήταν ένα μέσο εκδίκησης του Δία για το σκοτωμό του γιου του Σαρπηδόνα από τον Πάτροκλο στην πολιορκία της Τροίας. Είναι, ίσως η παλαιότερη αναφορά στο φαινόμενο της λασποβροχής, ενδεικτική της διαχρονικότητας του φαινομένου (Prezerakos et al. 2002, 2010). Το φαινόμενο μεταφοράς της σκόνης από τη Σαχάρα που αρκετές φορές επισκέπτεται την Ελλάδα προκαλεί, τις περισσότερες φορές, σοβαρά προβλήματα υγείας ιδιαίτερα σε ευάλωτες ομάδες πληθυσμού. Τέτοιες περιπτώσεις μεταφοράς σκόνης από άλλες περιοχές, παρατηρούνται 15-20 φορές το χρόνο οπότε έχουμε έντονες «εισαγωγές» ρύπανσης από τη Σαχάρα (Kosmopoulos et al. 2008). Από την περιοχή, λοιπόν, αυτή που έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων, μεταφέρονται τα σωματίδια αυτά και διερχόμενα πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας εμπλουτίζονται σε ρυπαντές, με αποτέλεσμα το πρόβλημα που δημιουργείται είναι ότι τα σωματίδια αυτά από αθώα, γίνονται πολύ πιο επικίνδυνα.

Σε πρόσφατη μελέτη (Grigoropoulos et al. 2009) παρουσιάζονται αποτελέσματα σύμφωνα με τα οποία υψηλές συγκεντρώσεις των PM_{10} ($\sim 1000\mu\text{g}/\text{m}^3$) εμφανίζονται στη διάρκεια επεισοδίων εισβολής σκόνης από τη Σαχάρα. Ειδικότερα, η παραπάνω τιμή συγκέντρωσης καταγράφηκε στη διάρκεια ενός έντονου επεισοδίου, 07/04/2006, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις ($\sim 150\mu\text{g}/\text{m}^3$) καταγράφηκαν στη διάρκεια ενός πιο ήπιου επεισοδίου της 22^{ας} Απριλίου 2008.

Τα σωματίδια της αφρικανικής σκόνης, που φθάνουν στην Ελλάδα, είναι τα μικρότερα και ελαφρύτερα, διότι τα μεγαλύτερα, ως βαρύτερα, καθιζάνουν καθοδόν. Το μέγεθος των μικρότερων σωματιδίων είναι της τάξης του ενός μικρομέτρου ή λιγότερο. Αυτό τα καθιστά απόλυτα εσπνεύσιμα και ως εκ τούτου, «επικίνδυνα» για τα άτομα με αναπνευστικά κυρίως προβλήματα, τα οποία πρέπει να αποφεύγουν την παραμονή τους στην ύπαιθρο ειδικά στις περιπτώσεις έντονων επεισοδίων. Τα σωματίδια της αφρικανικής σκόνης «εμπλουτίζονται» από χημικές ρυπαντικές

ενώσεις, όπως διάφορα οξείδια, με αποτέλεσμα όταν φτάνουν στον οργανισμό μας να μην είναι καθόλου αθώα.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν τη μεταφορά αφρικανικής σκόνης προς την Ελλάδα, από τη Βορειοδυτική Αφρική (Μαυριτανία, Αλγερία και Μάλι) την άνοιξη κυρίως, οφείλονται στη ύπαρξη ενός υψηλού βαρομετρικού συστήματος πάνω από τις συγκεκριμένες περιοχές και τη Δυτική Μεσόγειο. Η σκόνη ανυψώνεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα και με νοτιοδυτικούς ανέμους μεταφέρεται προς την Ανατολική Μεσόγειο. Αντίθετα, το καλοκαίρι χαμηλά βαρομετρικά συστήματα πάνω από την *έρημο της Σαχάρας* ευνοούν έντονες ανοδικές κινήσεις και διασκορπισμό της σκόνης στην ανώτερη ατμόσφαιρα, με σύγχρονη μεταφορά της από νότιους ανέμους προς την Ελλάδα. Άλλες φορές οι περιοχές εκκίνησης/εκτόξευσης της σκόνης προσδιορίζεται στη Βόρεια Αφρική (Prezerakos et al. 2002, 2010).

Ανάλογα με την περιοχή προέλευσης η σκόνη μπορεί να είναι λευκή ή ερυθρά. Στην πρώτη περίπτωση τα σωματίδια της σκόνης περιέχουν, σε μεγάλο ποσοστό, φώσφορο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο, στη δεύτερη, πυρίτιο, άργιλο και σίδηρο. Στην περίπτωση βροχόπτωσης τα σωματίδια σκόνης διαλύονται στα υδροσταγονίδια της βροχής και έτσι εμφανίζονται λευκές ή ερυθρωπές λασποβροχές (Prezerakos et al. 2002, 2010).

2.2 Η αεροδυναμική διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων

Όταν γίνεται αναφορά στις αεροδυναμικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων, υπονοείται ο τρόπος που αυτά μεταφέρονται στον αέρα και στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να αφαιρεθούν από αυτόν. Οι αεροδυναμικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζονται επίσης και με είσοδό τους στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα (<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=2C68B45C-1>).

Η αεροδυναμική διάμετρος ενός αιωρούμενου σωματιδίου ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μέγεθος του, παρόλο που κάποια σωματίδια μπορεί να έχουν ίδια αεροδυναμική διάμετρο, αλλά να έχουν διαφορετικές διαστάσεις και σχήματα. Κάποια σωματίδια, όπως η σκόνη, η αιθάλη ή ο καπνός, είναι μεγάλου μεγέθους και τόσο σκουρόχρωμα, ώστε μπορεί κάποιος να τα δει με γυμνό μάτι. Άλλα πάλι είναι τόσο μικρά, ώστε ανιχνεύονται αποκλειστικά με τη χρήση ηλεκτρικού μικροσκοπίου (<http://www.epa.gov/pm/basic.html>)

Με βάση πάντως το μέγεθος τους, τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε τρεις κύριες ομάδες:

- Στα χονδρόκοκκα σωματίδια, που είναι τα μεγαλύτερα σωματίδια, με αεροδυναμική διάμετρο από 2.5 έως 10 μm , τα λεγόμενα PM_{10-2.5}.
- Στα λεπτόκοκκα σωματίδια, με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm , τα λεγόμενα PM_{2.5}.
- Στα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια ή πυρήνες σωματιδίων, τα οποία είναι μικρότερα από 0.1 μm (<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm#0>).

Αρχικά οι μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων αναφέρονταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), χωρίς να γίνεται καμία διαφοροποίηση αυτών ανάλογα με το μέγεθός τους. Το αρχικό μέτρο TSP, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, αντικαταστάθηκε με τα PM₁₀ δηλαδή αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης ή ίσης των 10 μm . Στη συνέχεια προτάθηκε ένας επιπλέον διαχωρισμός στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου των 2.5 μm και 10 μm (χονδρόκοκκα σωματίδια) και στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm , τα PM_{2.5} ή λεπτόκοκκα σωματίδια.

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι εξαιρετικά σημαντική παράμετρος, καθώς παίζει ρόλο στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον, στην ορατότητα και στο σχεδιασμό τεχνολογιών απορρύπανσης. Το μέγεθος δεν αξιολογείται μόνο με την αεροδυναμική διάμετρό τους, αλλά και με άλλες τεχνικές όπως η ταχύτητα καθίζησής τους και η σκέδαση του φωτός (http://www.mie.uth.gr/ekp_vliko/3_particulates.pdf). Ο όρος σκέδαση του φωτός αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο διασκορπίζονται οι φωτεινές ακτίνες του φωτός όταν πέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%BA%CE%AD%CE%B4%CE%B1%CF%83%CE%B7>).

2.3 Ο μηχανισμός σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια, ανάλογα με τη διαδικασία σχηματισμού τους, διακρίνονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα π.χ. μέσω της καύσης ενός υλικού, από την καμινάδα ενός εργοστάσιου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ή μέσω της μεταφοράς τους από τον πνέοντα άνεμο. Αντίθετα, τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια σχηματίζονται έμμεσα, μέσω χημικών ή φυσικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα (<Http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=2C68B45C-1>). Τα δευτερογενή

αιωρούμενα σωματίδια δημιουργούνται όταν διάφορες αέριες ρυπαντικές ουσίες εκπέμπονται στον αέρα και μετατρέπονται σε σωματίδια (<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm>). Τα κύρια δευτερογενή σωματίδια είναι τα θειικά αερολύματα και τα οργανικά αερολύματα. Τα πρώτα προέρχονται από την οξείδωση του διοξειδίου του θείου, ενώ τα δεύτερα από τη φωτοχημική οξείδωση πτητικών οργανικών ενώσεων (<http://www.vipapharm.com/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>).

Πιο συγκεκριμένα, τα χονδρόκοκκα σωματίδια ή τα PM₁₀ τείνουν να σχηματίζονται από την εξάτμιση διάφορων σταγονιδίων, από τη μηχανική διατάραξη όπως η σύνθλιψη, η τριβή διαφόρων επιφανειών και το άλεσμα της επιφάνειας της Γης. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια, από την άλλη πλευρά, σχηματίζονται από αέρια και από την υγροποίηση ατμών που παράγονται από διαδικασίες καύσης (http://www.airinflow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf). Τα αερολύματα, πάλι, με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm, τα οποία είναι σωματίδια μικρού μεγέθους σε στερεή ή υγρή μορφή (σταγονίδια), σχηματίζονται είτε από συμπύκνωση είτε από διασπορά. Τα αερολύματα από συμπύκνωση σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ατμών ή από αντιδράσεις αερίων, ενώ τα αερολύματα από διασπορά σχηματίζονται από την άλεση στερεών ή το διασκορπισμό σκόνης (<http://www.vipapharm.com/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>).

2.4 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, πως προκαλείται, αν υπάρχουν τρόποι να αντιμετωπιστεί και ποιες οι επιπτώσεις στην υγεία μας. Στη σημερινή εποχή, η ατμοσφαιρική ρύπανση αναγνωρίζεται σαν ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, με αποτέλεσμα η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και όλες οι αναπτυγμένες χώρες να έχουν θεσμοθετήσει σχετική υποχρεωτική νομοθεσία που να εξασφαλίζει ένα αποδεκτό επίπεδο ποιότητας περιβάλλοντος (ΕΚ 2008). Η περιβαλλοντική ρύπανση είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, η πρόοδος των οποίων εκτός από σημαντικά οφέλη που προσφέρει στην ανθρωπότητα έχει επίσης και δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στην υγεία των ανθρώπων.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει αρχίσει να λαμβάνει ανησυχητικές διαστάσεις ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Ενδεικτικά 60000 θάνατοι κάθε χρόνο στις μεγαλουπόλεις της Ευρώπης και 3000000 σε παγκόσμια κλίμακα οφείλονται στην μακροχρόνια έκθεση ρύπων στην ατμόσφαιρα (Glantz 1993). Λευχαιμία διάφορων τύπων, καρκίνοι, καρδιαγγειακά νοσήματα, ηπατικές βλάβες, αναιμία, δηλητηριάσεις και έξαρση του άσθματος είναι οι σημαντικότερες ασθένειες της σύγχρονης εποχής που σχετίζονται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος (Johnson 2004).

Ωστόσο, επιδημιολογικές μελέτες κυρίως της τελευταίας δεκαετίας, έδειξαν ότι ακόμα και τα χαμηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν άμεσες επιδράσεις στην υγεία, συμπεριλαμβανομένης και της αύξησης της θνησιμότητας. Αρκετές ομάδες πληθυσμού είναι πιο ευάλωτες στη ρύπανση, κάποιες όμως κινδυνεύουν άμεσα ακόμα και από σχετικά χαμηλά επίπεδα ρύπανσης (Glantz 1993, Seaton et al. 1995). Νεότερες μελέτες όμως έχουν δείξει ότι οι αρνητικές επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ξεκινούν τελικά πολύ νωρίτερα απ' ό τι θεωρείται, ακόμα και πριν γεννηθούν τα παιδιά, δηλαδή κατά τη διάρκεια της εμβρυικής περιόδου. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί την πρώτη αιτία παιδικής νοσηρότητας η οποία σχετίζεται με το περιβάλλον στις βιομηχανικές χώρες και τη δεύτερη αιτία παιδικής νοσηρότητας στις αναπτυσσόμενες βιομηχανικά χώρες (Paliatsos et al. 2006, Nastos et al. 2007b).

Τα αιωρούμενα σωματίδια, ως ατμοσφαιρικός ρύπος, θεωρείται ότι αποτελούν ένα μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων που ποικίλουν σε μέγεθος, σύνθεση και προέλευση. Επειδή μόνο τα πολύ μικρά σωματίδια μπορούν με την εισπνοή να φτάσουν μέχρι τα τελικά τμήματα του αναπνευστικού δένδρου, ο όρος εισπνεόμενα σωματίδια εξ ορισμού περιλαμβάνει σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm. Είναι γνωστό ότι αυτά τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα αποτελέσματα της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων έχουν μελετηθεί ευρύτατα στον άνθρωπο και περιλαμβάνουν άσθμα, καρκίνο του πνεύμονα, καρδιαγγειακά προβλήματα, καθώς και πρόωρο θάνατο. Τα αιωρούμενα σωματίδια εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία (Churg and Brauer 2000). Η υπερβολική έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλει στη δημιουργία χρόνιων

αναπνευστικών προβλημάτων και μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο της καρδιακής ανακοπής και του πρόωρου θανάτου. Διάφορες μελέτες συνδέουν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων με τις αυξημένες εισαγωγές στα νοσοκομεία και ειδικά τις αυξημένες επισκέψεις στις πρώτες βοήθειες ατόμων με καρδιαναπνευστικά συμπτώματα-προβλήματα. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι εκείνες οι ομάδες του πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Saeton et al. 1995, Pope et al. 2002, Bartzokas et al. 2004, Paliatsos et al 2006, Nastos et al. 2007a, 2007b, 2008).

Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων, καρκινογόνων ουσιών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) με αποτέλεσμα να προκαλούνται ασθένειες και κακοήθειες νεοπλασίες του αναπνευστικού συστήματος. Οι επιδημιολογικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα στις αστικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρούμενων εισπνεόμενων σωματιδίων (ιδιαίτερα τα σωματίδια με μικρή αεροδυναμική διάμετρο, τα PM_{10} και $PM_{2.5}$) (Seaton et al. 1995, Pope et al. 2002). Συνεπώς, οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος τους όσο και από τη χημική τους σύσταση. Μακροχρόνια δε εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθματος ή και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

Οι ρύποι στην ατμόσφαιρα, αν και συχνά αόρατοι, μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία μας. Μια πολύπλοκη σειρά φυσικών και χημικών μηχανισμών είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά, το σχηματισμό, το μετασχηματισμό και την απόθεση των αερίων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Τα αέρια ρεύματα και οι άνεμοι μεταφέρουν τους αέριους ρύπους σε μεγάλες αποστάσεις. Η εναπόθεσή τους στο έδαφος και η επίδρασή τους στους έμβιους οργανισμούς γίνεται είτε μέσω της βροχής, του χιονιού και της υγρασίας, είτε με καταιονισμό κατά τη διάρκεια της αερομεταφοράς τους όπου λόγω βαρύτητας παραμένουν στο έδαφος.

Η είσοδος των ουσιών αυτών στον οργανισμό του ανθρώπου εξαρτάται από τη μορφή της ουσίας, τις χημικές και φυσικές της ιδιότητες, καθώς και από τα επίπεδα συγκέντρωσής τους. Οι κυριότερες πύλες εισόδου στον οργανισμό είναι το αναπνευστικό σύστημα (εισπνοή), το γαστρεντερικό σύστημα (λήψη τροφών και υγρών), το δέρμα, το ενδοκρινικό, το αιμοποιητικό και το κυκλοφορικό. Ειδικότερα,

το αναπνευστικό σύστημα είναι το πλέον ευπρόσβλητο, διότι οι πνεύμονες λόγω της θέσης τους και του ρόλου τους είναι το κύριο όργανο που συνδέει το περιβάλλον με τον οργανισμό και επομένως είναι και το πρώτο όργανο που δέχεται τις δυσμενείς επιδράσεις από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σημαντικό ρόλο έχουν τα σωματίδια PM_{10} και ιδίως τα $PM_{2.5}$, διότι το μέγεθός τους, επιτρέπει την είσοδο τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα. Τα μεγάλα σωματίδια απομακρύνονται γρήγορα από την ατμόσφαιρα, ενώ τα μικρότερα ίσως να παραμείνουν για ημέρες ή μήνες. Η βροχή βοηθά την απομάκρυνσή τους (Seinfeld and Pandis 2006). Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τα επίπεδα της ρύπανσης, από το είδος της ρύπανσης και από τη διάρκεια της έκθεσης στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Οι ρύποι που σήμερα θεωρούνται ότι έχουν αιτιολογική συσχέτιση με την αύξηση τόσο της νοσηρότητας, όσο και της θνησιμότητας των έμβιων όντων.

Είναι γνωστό ότι ένας ενήλικας αναπνέει περίπου 10000 λίτρα αέρα κάθε μέρα. Άρα, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέουμε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και στην ποιότητα της ζωής. Παγκοσμίως, η ατμοσφαιρική ρύπανση θεωρείται υπεύθυνη για μεγάλο αριθμό θανάτων, αλλά και ασθενειών του αναπνευστικού/καρδιαγγειακού συστήματος (Johnson 2004). Σήμερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις μας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, ειδικά για αυτούς που ζουν στα αστικά κέντρα.

Το πολυκεντρικό ευρωπαϊκό πρόγραμμα APHEA (Air Pollution and Health: A European Approach) βασίστηκε σε υλικό από 30 ευρωπαϊκές πόλεις και διερεύνησε τις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (Atkinson and Anderson 2001). Τα αποτελέσματα του APHEA έδειξαν ότι αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ σχετίζεται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό με αύξηση στην ημερήσια ολική θνησιμότητα κατά 0.6%, στην αναπνευστική κατά 1% και στην καρδιαγγειακή κατά 0.8% (Katsouyianni et al. 1995, 1997, 2003). Για την ίδια αύξηση στα επίπεδα του ρύπου, οι εισαγωγές στα νοσοκομεία από νοσήματα του αναπνευστικού αυξάνονται σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.3% για τις ηλικίες 15-64 και κατά περίπου 1% για τις ηλικίες άνω των 65 χρόνων (Poloniesci et al. 1997). Οι εισαγωγές για χρόνια αναπνευστική πνευμονοπάθεια αυξάνονται κατά 0.4% σε όλες τις ηλικίες και κατά 1% για άτομα άνω των 65 ετών. Οι εισαγωγές από καρδιακά νοσήματα αυξάνονται

σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά 0.5% για όλες τις ηλικίες και κατά 0.8% για τους άνω των 65 ετών (Brook et al. 2004).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι μειώνουν το μέσο προσδόκιμο επιβίωσης, σύμφωνα με το Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών το οποίο συντονίζει το ερευνητικό πρόγραμμα APHEA που επιχορηγήθηκε από την Ε.Ε. Στο πρόγραμμα, που ξεκίνησε το 1992 και συμμετείχαν 20 διαφορετικές χώρες (Katsouyianni et al. 2003). Έχουν αναλυθεί δεδομένα από 32 ευρωπαϊκές πόλεις και βάσει αυτών, εκτιμάται ότι το έτος 2020: (α) θα προκληθεί μείωση του προσδόκιμου ζωής των Ευρωπαίων κατά 5.5 μήνες, διάστημα που μπορεί να φτάσει και τους 12 μήνες στις μεσογειακές χώρες, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν και της πολύ αυξημένης κίνησης αυτοκινήτων που παρατηρείται στις χώρες αυτές, (β) εκτιμάται ότι 271000 άνθρωποι θα χάσουν τη ζωή τους πρόωρα και (γ) εκτιμάται ότι 66000 άνθρωποι θα εισαχθούν στα νοσοκομεία με σοβαρά καρδιαγγειακά προβλήματα.

2.4.1. Επιπτώσεις σε ομάδες υψηλού και χαμηλού κινδύνου

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τα άτομα. Πιο ευάλωτα στα αιωρούμενα σωματίδια εμφανίζονται άτομα στην πρώιμη παιδική ηλικία, στη μέση ηλικία, στην προχωρημένη ηλικία και σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού. Λιγότερο ευάλωτοι είναι οι υγιείς έφηβοι και οι υγιείς ενήλικες μικρής ηλικίας. Με αυτή τη λογική, τα παιδιά, οι μεγάλοι σε ηλικία ενήλικες, αλλά και τα άτομα που πάσχουν ήδη από καρδιακές νόσους ή ασθένειες των πνευμόνων διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο όταν εισπνέουν αυτά τα σωματίδια (<http://www.ygeia12n.gov.gr/web/guest/xap>). Τα άτομα με καρδιακές και πνευμονικές νόσους είναι σε αυξημένο κίνδυνο, γιατί τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να επιδεινώσουν τις ασθένειές τους, αλλά και γιατί επηρεάζονται αρνητικότερα σε σχέση με άλλα άτομα όταν επιδίδονται σε ενεργητικού τύπου δραστηριότητες π.χ. άσκηση ή φυσική δραστηριότητα. Η άσκηση και η φυσική δραστηριότητα οδηγεί σε γρήγορη και βαθιά εισπνοή και κατά συνέπεια επιτρέπει την είσοδο περισσότερων σωματιδίων στους πνεύμονες (<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>).

Το ρίσκο είναι μεγάλο και για τους μεγάλους σε ηλικία ενήλικες, γιατί μπορεί, χωρίς να το ξέρουν, να πάσχουν από ασθένειες των πνευμόνων ή της καρδιάς. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι όταν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι

υψηλά, τα μεγαλύτερα σε ηλικία άτομα τείνουν να νοσηλεύονται και κάποια από αυτά να πεθαίνουν. Η επαφή των παιδιών με τα αιωρούμενα σωματίδια είναι επίσης επικίνδυνη για πολλούς λόγους. Πρώτον, γιατί οι πνεύμονές τους είναι υπό ανάπτυξη και δεύτερον, γιατί εμπλέκονται σε υψηλή φυσική δραστηριότητα (δηλαδή τρέχουν, κινούνται περισσότερο από τους ενήλικες). Εξαιτίας των παραπάνω συνθηκών είναι πολύ πιθανό τα παιδιά να αναπτύξουν πνευμονικές νόσους όπως άσθμα και οξεία βρογχοπνευμονία όταν τα επίπεδα των σωματιδίων είναι υψηλά (<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>).

2.4.2. Βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συνέπειες της έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια

Τόσο η βραχυπρόθεσμη όσο και η μακροπρόθεσμη έκθεση των ατόμων σε αιωρούμενα σωματίδια έχει συνδεθεί με προβλήματα υγείας. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση (για λίγες ώρες ή μέρες) έχει διαφορετική επίδραση στα υγιή σε σχέση με τα άτομα που αντιμετωπίζουν ήδη προβλήματα υγείας. Έτσι, η μικρής χρονικής διάρκειας έκθεσή μπορεί να προκαλέσει:

- καρδιακές προσβολές ή αρρυθμίες στα άτομα με καρδιακά προβλήματα,
- κρίσεις άσθματος, επιπρόσθετα σε αναπνευστικές μολύνσεις και οξεία βρογχίτιδα, σε άτομα με νόσους των πνευμόνων (καθώς και επιδείνωση της πνευμονικής τους νόσου) και
- μικρής κλίμακας ερεθισμό σε υγιή άτομα (παιδιά και ενήλικες) κυρίως όταν είναι αυξημένα τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων.

Από την άλλη πλευρά, η μακροχρόνια έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια, κάτι που βιώνουν τα άτομα που ζουν για πολλά χρόνια σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σωματιδίων, έχει συνδεθεί με προβλήματα υγείας όπως η ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας, η μειωμένη λειτουργία των πνευμόνων ακόμη και ο πρόωρος θάνατος (<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>).

2.4.3. Συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων αντικειμένων

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) τόσο τα φυσικά όσο και τα χημικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι υπεύθυνα για διάφορα προβλήματα υγείας. Σε πολλές τοξικολογικές μελέτες -τόσο σε ανθρώπους όσο και σε ζώα- οι επιστήμονες έχουν

προσπαθήσει να καθορίσουν ποια χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων οδηγούν σε προβλήματα υγείας ή ασθένειες. Κάποιες μελέτες έχουν δείξει την αρνητική συνδρομή των φυσικών χαρακτηριστικών (π.χ. του μεγέθους, της επιφάνειας) των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία, ενώ κάποιες άλλες τη δυσμενή επίδραση κάποιων χημικών χαρακτηριστικών τους.

Για παράδειγμα, κάποιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε ζώα, έχουν αποκαλύψει ότι τα χονδρόκοκκα σωματίδια, τα λεπτόκοκκα σωματίδια, αλλά τα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια της ατμόσφαιρας έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία (μέγεθος των σωματιδίων). Σε γενικές γραμμές, τα μικρά σωματίδια προκαλούν περισσότερες μολύνσεις και φλεγμονές σε σχέση με τα μεγαλύτερα σωματίδια (http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf). Τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια έχουν περισσότερες πιθανότητες σε σχέση με τα μεγαλύτερα να εισχωρήσουν στους πνεύμονες, να εναποτεθούν στις κυψελίδες τους και να προκαλέσουν σε βάθος χρόνου διάφορες βλάβες (<http://www.vipapharm.com/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>). Τα εισπνεόμενα πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια έχει φανεί πειραματικά ότι περνούν στη ροή/κυκλοφορία του αίματος και διαταράσσουν τη διαδικασία πήξης του αίματος (http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf).

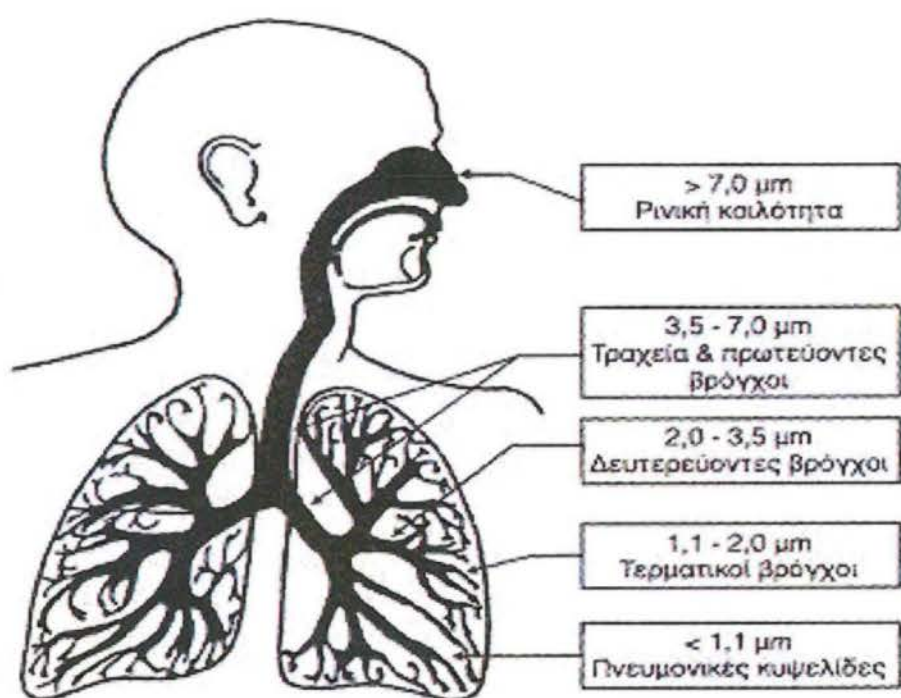
Πέρα από τις φυσικές τους ιδιότητες, η χημική δομή των αιωρούμενων σωματιδίων έχει συνδεθεί με διάφορα προβλήματα υγείας. Πολλά από αυτά τα σωματίδια περιλαμβάνουν μέταλλα, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, βακτηριακές ενδοτοξίνες (τοξίνες που παράγονται από συγκεκριμένα βακτήρια) και όξινα αερολύματα. Τα μέταλλα- τα διαλυτά, τα υδάτο-διαλυτά και τα μεταβατικά μέταλλα- που περιέχονται σε κάποια σωματίδια αυξάνουν την τοξικότητα των σωματιδίων, οδηγούν σε κυτταρικές βλάβες και σε καρδιαγγειακές βλάβες, αντίστοιχα. Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και οι βακτηριακές ενδοτοξίνες συνδέονται με προβλήματα φλεγμονών, ενώ τα όξινα αερολύματα προκαλούν προβλήματα σε άτομα που πάσχουν από άσθμα (http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf).

Τα αιωρούμενα σωματίδια γίνονται πιο επικίνδυνα, σύμφωνα με διάφορες τοξικολογικές έρευνες, όταν συνδυάζονται με άλλα αιωρούμενα σωματίδια ή με άλλους αέριους ρίπους. Ο συνδυασμός δηλαδή των αιωρούμενων σωματιδίων με τον καπνό του τσιγάρου, με το όζον και με κάποια αλλεργιογόνα θεωρείται ιδιαίτερα επιβαρυντικός για την ανθρώπινη υγεία. Κάποιες μελέτες που ασχολούνται με την

ατμοσφαιρική χημεία δείχνουν ότι όταν τα αιωρούμενα σωματίδια αλληλεπιδρούν με αέρια αλλάζει η σύνθεσή και η τοξικότητά τους (http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf).

2.4.4. Επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα

Πολλές επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει τη συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης στα PM₁₀ και της αύξησης των αναπνευστικών νόσων, όπως η βρογχίτιδα και ο χρόνιος βήχας, και των αναπνευστικών προβλημάτων (http://www.airinfnow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf).



Σχήμα 2.2 Ανατομία ανθρώπινου αναπνευστικού συστήματος και διαπερατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτό (http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/7333/3/afzalis_measurements.pdf).

Άλλες μελέτες έχουν επίσης αποκαλύψει ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση στα PM₁₀ αιωρούμενα σωματίδια συνδέεται με αύξηση του ερεθισμού του αναπνευστικού συστήματος, με δυσκολίες στην αναπνοή, με ανάγκη αυξημένης χρήσης φαρμάκων για το άσθμα -μια από τις διαδεδομένες ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος- και με αυξημένα επίπεδα νοσηλείας εξαιτίας του άσθματος (Schwartz et al. 1993). Τα άτομα με άσθμα, και ιδίως τα παιδιά, είναι πιο επιρρεπή στη ρύπανση των

αιωρούμενων σωματιδίων (http://www.airinforow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf). Μια σειρά από αναλύσεις σε παιδιά και ενήλικες έχει δείξει ότι η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια δημιουργεί ιδιαίτερα σοβαρά συμπτώματα στο αναπνευστικό σύστημα τους, με αποτέλεσμα να εμποδίζει τις καθημερινές δραστηριότητές τους. Ιδιαίτερα, Σχήμα 2.2, τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$, που προέρχονται από πηγές καύσης, τείνουν να προκαλούν βήχα, κοντανάσαιμα και λαχάνιασμα (http://www.airinforow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf).

2.4.5. Επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα

Η έκθεση των ανθρώπων στα αιωρούμενα σωματίδια έχει συνδεθεί με μια σειρά από καρδιαγγειακές παθήσεις, όπως το έμφραγμα του μυοκαρδίου, η αθηροσκλήρωση η μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού και η στεφανιαία νόσος. Οι μηχανισμοί μέσα από τους οποίους τα αιωρούμενα σωματίδια οδηγούν στις παραπάνω καρδιαγγειακές παθήσεις είναι δύο: ο πρώτος μηχανισμός έχει να κάνει με την έκθεση του αναπνευστικού συστήματος στα αιωρούμενα σωματίδια, στοιχείο που προκαλεί ανάπτυξη μολύνσεων, οι οποίες μέσα από τη ροή του αίματος επηρεάζουν την καρδιά. Ο δεύτερος μηχανισμός έχει προκύψει μέσα από πιο σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα και σχετίζεται με το γεγονός ότι τα αιωρούμενα σωματίδια-κυρίως τα λεπτόκοκκα, $PM_{2.5}$, και τα πολύ λεπτόκοκκα, $PM_{0.1}$, μπορούν να διεισδύσουν στην πνευμονική και στη συστηματική κυκλοφορία του αίματος και να επηρεάσουν την καρδιά και τα αιμοφόρα αγγεία (Nelin et al 2012).

2.4.6. Επιπτώσεις στο ανοσοποιητικό και στο κυκλοφορικό σύστημα

Τα αιωρούμενα σωματίδια φαίνεται ότι επηρεάζουν τόσο το κυκλοφορικό όσο και το ανοσοποιητικό σύστημα. Η μακροπρόθεσμη έκθεση των ανθρώπων σε αυτά φαίνεται ότι επιβαρύνει το ανοσοποιητικό σύστημα και μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νόσων, όπως ο καρκίνος. Τα μικρόκοκκα σωματίδια διεισδύουν στο κυκλοφορικό σύστημα και μεταφέρονται, μέσω του αίματος, σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα να δημιουργούν τοξικότητα σε όλα τα όργανα του (<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSL.pdf>).

2.4.7. Επιπτώσεις στους πνεύμονες

Τα μικρά, κυρίως, σωματίδια έχουν την ιδιότητα να εισέρχονται βαθιά στους πνεύμονες και να επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία τους. Οι κυριότερες βλάβες

που σημειώνονται στους πνεύμονες από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι η μείωση της ελαστικότητάς τους, της οξυγόνωσής τους, της κινητικότητάς τους και η δημιουργία φλεγμονών. Μια από τις πιο συνηθείς βλάβες που προκαλούν είναι η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>).

2.4.8. Επιπτώσεις στις γεννήσεις

Πολλές νέες μελέτες αναφέρουν ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων ενδέχεται να σχετίζεται με χαμηλό βάρος γέννησης των βρεφών, με πρόωρους τοκετούς αλλά και με εμβρυικούς ή βρεφικούς θανάτους (<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>). Σε μελέτη σχετική με τον κίνδυνο των εγκύων που εκτίθενται σε σωματιδιακή ρύπανση και τον ενδεχόμενο κίνδυνο εμφάνισης αυτισμού στο έμβρυο διαπιστώθηκε ότι η έκθεση σε υψηλά επίπεδα λεπτόκοκκων σωματιδίων PM_{2.5}, κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης κάποιας διαταραχής που να υπάγεται στο φάσμα του αυτισμού στον απόγονο (<http://www.ehf.org.il/en/generalpage/exposure-particulate-matter-air-pollution-during-pregnancy-associated-increased-risk-aut> 2011).

2.4.9. Επιπτώσεις στο DNA

Σε σχετική μελέτη (Wang et al. 2012) βρέθηκε πως η ακρολεΐνη, ένα αιωρούμενο σωματίδιο που περιέχεται στον καπνό του τσιγάρου, εκλύεται κατά τη λειτουργία των μηχανών των αυτοκινήτων προκαλεί βλάβη στο DNA και εμποδίζει την ανάπλαση του, κάτι που προκαλεί μεταλλαξιγένεση και αρχή καρκινογένεσης. Η παρακώλυση της ανάπλασης του DNA και η ενίσχυση της μεταλλαξιγένεσης από τα αιωρούμενα σωματίδια επισημάνθηκε και παλιότερα (Mehta et al. 2008).

2.4.10. Επιπτώσεις στη θνησιμότητα και νοσηλεία

Σε πολλά επεισόδια αέριας ρύπανσης, όπως αυτά που συνέβησαν στο Βέλγιο το 1930, στην Πενσυλβανία το 1948, στο Λονδίνο το 1952, στη Νέα Υόρκη το 1952 και στο Λονδίνο το 1962, υπήρξε θετική συσχέτιση μεταξύ χονδόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ και αριθμού θανάτων που προκλήθηκαν (Boubel et al. 1994. Σε μια από τις παρατεθειμένες μελέτες, στην έρευνα των Pope και των συνεργατών του (1995), φάνηκε ότι στο Birmingham της Alabama υπήρξε συσχέτιση μεταξύ της θνησιμότητας με τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀. Οι πιο πολλοί θάνατοι σε αυτή την

περιοχή προκλήθηκαν από προβλήματα στο αναπνευστικό (Pope et al 1995). Πολυάριθμες άλλες μελέτες συνδέουν τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων με αυξημένες εισαγωγές σε νοσοκομεία και σε τμήματα έκτακτων περιστατικών (μεταξύ άλλων Seaton et al 1995, Pope et al. 2002).

2.5 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον

Η ρύπανση των αιωρούμενων σωματιδίων έχει αρνητική επίδραση και στο περιβάλλον και, συγκεκριμένα, στους έμβιους οργανισμούς που εξαρτώνται από αυτό (στα ζώα και στα φυτά), στην ορατότητα, στην κλιματική αλλαγή και στα αντικείμενα (π.χ. κτίρια και μνημεία). Αλλά και η περιβαλλοντική καταστροφή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα βλαβερά αιωρούμενα σωματίδια.

2.5.1 Επιπτώσεις στη βλάστηση

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι πολύ επικίνδυνα για τα φυτά και τη βλάστηση, γενικότερα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει στην αναχαίτιση της ανάπτυξης των φυτών ή ακόμη και στο θάνατο κάποιων ειδών φυτών (<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>). Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στο σύστημα των φυτών με δύο τρόπους: μέσω του αέρα που αναπνέουν από τα στόματα των φυτών και μέσω του ριζικού τους συστήματος από το νερό με το οποίο ποτίζονται (Jimoda 2012). Στην πρώτη περίπτωση, τα αιωρούμενα σωματίδια τείνουν να φράξουν το άνοιγμα στομάτων των φυτών και να εμποδίσουν τη φωτοσυνθετική τους λειτουργία (<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>). Στη δεύτερη περίπτωση, η εναπόθεση επικίνδυνων για τα φυτά αιωρούμενων σωματιδίων στο έδαφος μπορεί να αλλάξει τη χημική σύσταση του εδάφους και τα θρεπτικά συστατικά που αυτό περιλαμβάνει (Jimoda 2012).

2.5.2 Επιπτώσεις στα ζώα

Έχει βρεθεί ότι τα βλαβερά αιωρούμενα σωματίδια που εναποτίθενται στη βλάστηση και στο νερό (π.χ. αυτά που περιέχουν υψηλή συγκέντρωση μετάλλων ή άλλες βλαπτικές ουσίες) και που καταναλώνονται από τα ζώα:

- είναι τοξικά τόσο για τα ζώα όσο και για τα ψάρια,
- προκαλούν βλάβη σε πολλά είδη ζώων π.χ. τα βοοειδή, στα άγρια ζώα και στα ψάρια,

- επιφέρουν μια σειρά από προβλήματα υγείας σε διάφορα ζώα εξαιτίας της σύστασή τους π.χ. σοβαρής φύσης κολικούς, έκκριση σιέλων, δίψα, εμετό, διάρροιες, αίμα στα κόπρανα, δυσσομία στην αναπνοή, κύρωση του ήπατος και του σπλήνα, τράβηγμα στους μύες, παράλυση των μυών του λάρυγγα, αφρούς στο στόμα, αναιμία, σκλήρυνση και ξεθώριασμα του χρώματος του τριχώματος (Jimoda 2012),
- τα ζώα και τα ψάρια που έχουν «μολυνθεί» έμμεσα βλάπτουν και τους ανθρώπους που τα καταναλώνουν.

2.5.3 Επιπτώσεις στην ορατότητα

Η μείωση της ορατότητας είναι μια εύκολα ορατή επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων (Σχήμα 2.3). Ιδίως τα λεπτόκοκκα σωματίδια, PM_{2.5}, απορροφούν το φως και το διασκορπίζουν προκαλώντας την πιο μεγάλη και σοβαρή μείωση ορατότητας. Σε πολλά μέρη των ΗΠΑ το οπτικό φάσμα-η απόσταση δηλαδή κατά την οποία μπορεί κάποιος να δει ένα αντικείμενα διά γυμνού οφθαλμού-έχει μειωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό (σε ένα ποσοστό της τάξης του 70%), εξαιτίας των φυσικών συνθηκών. Στα ανατολικά μέρη των ΗΠΑ το οπτικό φάσμα κυμαίνεται από 14 ως 24 μίλια, ενώ χωρίς την επίδραση της μειωμένης ορατότητας ήταν 70 μίλια (Jimoda 2012). Η ορατότητα, βέβαια, εξαρτάται και από την αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών με τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Όταν δηλαδή υπάρχει υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων και άπνοια, η ορατότητα είναι πολύ περιορισμένη.

Η μείωση της ορατότητας έχει αρνητικές συνέπειες στην αισθητική, αλλά και στην ανθρώπινη οικονομία και ψυχολογία (Rowe and Chestnut 1981). Η αυξημένη ορατότητα είναι πολύ προτιμότερη αισθητικά, γιατί τα χρώματα είναι πολύ πιο ζωντανά, η ατμόσφαιρα πιο διαυγής και η θέα καλύτερη. Από ψυχολογικής άποψης, η καλή ορατότητα βελτιώνει την ανθρώπινη διάθεση και διευκολύνει την οπτική αντίληψη και τον υπολογισμό του μέγεθος και της απόστασης μεταξύ των αντικειμένων (Rowe and Chestnut 1981). Αυτού του είδους ο υπολογισμός έχει μεγάλη σημασία για την κίνηση των ανθρώπων στο χώρο και για την επιτέλεση διάφορων κινητικών τους δραστηριοτήτων. Αναφορικά με την επίδραση της ορατότητας στην ανθρώπινη οικονομία, οι Rowe and Chestnut (1981) αναφέρουν ότι κάποιες οικονομικές/καταναλωτικές επιλογές των ατόμων επηρεάζονται από την ορατότητα της ατμόσφαιρας, όπως η αγορά ενός σπιτιού. Ένας από τους παράγοντες

δηλαδή που μπορεί να οδηγήσει στην αγορά ενός σπιτιού είναι και η ποιότητα του αέρα στην τοποθεσία που βρίσκεται το σπίτι (Rowe and Chestnut 1981).



Σχήμα 2.3 Η ορατότητα είναι ιδιαίτερα μειωμένη στις μεγαλουπόλεις (<http://sbbcnews.com/australia/wp-content/uploads/2013/08/900110-2e999e68-087b-11e3-842c-e58b8b7bc9c3.jpg>).

2.5.4. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν την ιδιότητα να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του ανέμου και να εναποτίθενται στο νερό και στο έδαφος. Οι βλαβερές ουσίες από τις οποίες αποτελούνται τείνουν να επηρεάζουν αρνητικά το οικοσύστημα, ρυπαίνοντας και αλλάζοντας τη χημική ισορροπία των λιμνών, των ποταμών, των παραθαλάσσιων νερών και των λεκανών απορροής ποταμών, μειώνοντας τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, καταστρέφοντας τα ευαίσθητα δάση και τις αγροτικές καλλιέργειες (<http://www.epa.gov/pm/health.html>).

2.5.5. Επιπτώσεις στα αντικείμενα

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να δημιουργήσουν λεκέδες και να διαβρώσουν την πέτρα και άλλα υλικά, όπως είναι τα αγάλματα και τα μνημεία (αρχαία ή σύγχρονα). Σε πρόσφατη μελέτη (Parazachou and Samara 2013) αναφέρεται ότι η εναπόθεση των ατμοσφαιρικών ρύπων στην επιφάνεια των κτιρίων και οι χημικές αντιδράσεις που προκαλούν όταν έρχονται σε επαφή με τα δομικά υλικά των μνημείων αποτελούν το μεγαλύτερο κίνδυνο για την πολιτισμική μας κληρονομιά. Το

φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο στα αστικά κέντρα της Ελλάδας (Σχήμα 2.4) όπου τα αιωρούμενα σωματίδια σε συνδυασμό με τα μόρια σκόνης έχουν αρνητική επίδραση στα δομικά υλικά από τα οποία αποτελούνται τα μνημεία, αφού δημιουργούν μαύρες κρούστες στην επιφάνειά τους, αλλά τους προκαλούν επίσης και αισθητική αλλοίωση, επειδή τα μαυρίζουν (Παπαζάχου 2012).



Σχήμα 2.4 Η Ακρόπολη είναι ένα από τα αρχαιότερα μνημεία που κινδυνεύει περισσότερο από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τα αιωρούμενα σωματίδια, αφού βρίσκεται στην Αθήνα, σε ένα αστικό κέντρο με μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση (<http://www.tovima.gr/oldPhotos/Article%20Photos/20090306/258085.jpg>).

2.5.6. Επιπτώσεις στο κλίμα

Τα αιωρούμενα σωματίδια οδηγούν σε κλιματική αλλαγή είτε άμεσα, είτε έμμεσα. Η κλιματική αλλαγή έχει να κάνει με τη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος, που προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου και από τα αερολύματα, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η άμεση κλιματική αλλαγή προκαλείται μέσω της διασκόρπισης/σκέδασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Jimoda 2012). Μέσω της σκέδασης, τα αιωρούμενα σωματίδια απομακρύνουν ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία, ενώ μέσω της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία (Μασσάρα 2011). Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν έμμεση κλιματική αλλαγή, καθώς

μεταβάλουν τη χημική δομή, τη διάρκεια ζωής και το μέγεθος των νεφών (Wang 2007).

2.6 Μηχανισμοί απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων

Η απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα γίνεται τόσο με φυσικό, όσο και με ανθρωπογενή τρόπο. Στις περισσότερες εκβιομηχανοποιημένες πόλεις έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια να ελεγχθούν τα επίπεδα των εκπομπών αυτών των σωματιδίων από τις πηγές παραγωγής τους (π.χ. τα εργοστάσια, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας, οι τσιμεντοβιομηχανίες). Ο έλεγχος της εκπομπής των βλαπτικών αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται στα πλαίσια της περιβαλλοντικής προστασίας. Έτσι, στις περισσότερες βιομηχανίες έχει επιβληθεί να χρησιμοποιούν κάποια συστήματα/τεχνολογίες ελέγχου των εκπομπών τους (<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>). Η επιλογή των τεχνολογιών ελέγχου εξαρτάται από πολλά κριτήρια όπως το βαθμό απόδοσής τους, το κόστος τους, αλλά και από τα χαρακτηριστικά και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων που καλούνται να αντιμετωπίσουν (π.χ. το βαθμό συγκέντρωσής τους, την υγροσκοπικότητα και την τοξικότητά τους) (http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2012/05/4-Particulatecontrol_2_1.pdf).

Κάποια από τα βασικά συστήματα ελέγχου των σωματιδιακών εκπομπών που χρησιμοποιούνται είναι: οι αδρανειακοί συλλέκτες, τα ηλεκτροστατικά φίλτρα ή οι ηλεκτροστατικοί κατακρημιστές, οι πλυντρίδες (Σχήμα 2.6) και τα σακκόφιλτρα (<Http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2012/09/Sax1265.pdf>). Οι αδρανειακοί συλλέκτες είναι πολύ χρήσιμοι, καθώς απομακρύνουν τα χοντρόκοκκα σωματίδια. Συχνά χρησιμοποιούνται πριν από άλλους, πιο εξειδικευμένους, συλλέκτες. Τα σακκόφιλτρα αποτελούν τα πιο ευρέως διαδεδομένα φίλτρα της βιομηχανίας, αφού χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του αέρα από τη σκόνη και από άλλους ρύπους οι οποίοι παράγονται π.χ. σε εγκαταστάσεις καύσεως υλικών (<http://www.pmengineering.gr/sakofiltra-filtra-skonis.html>). Οι πλυντρίδες αποτελούν ένα υγρό σύστημα συλλογής αποβλήτων (http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber). Τέλος, οι ηλεκτροστατικοί κατακρημιστές είναι μια συσκευή που απομακρύνουν τα σωματίδια από τον αέρα με τη βοήθεια ηλεκτροστατικού φορτίου (http://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator).



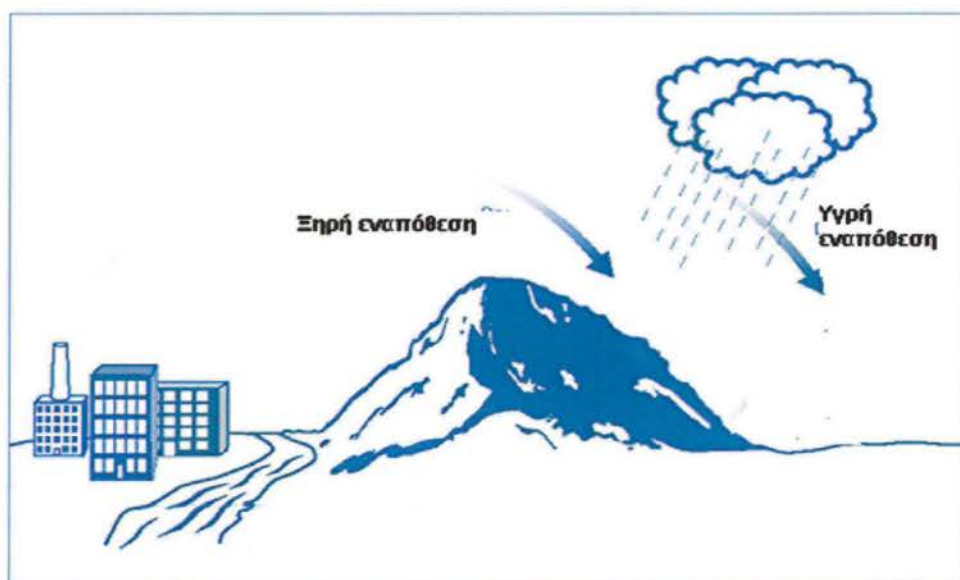
Σχήμα 2.6 Εικόνα πλυντρίδας (<http://www.pollutionsystems.com/assets/images/products/wet-particulate-scrubber.jpg>).

Τα αιωρούμενα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με δύο τρόπους: με την υγρή και τη ξηρή εναπόθεση (Σχήμα 2.7). Η ξηρή εναπόθεση είναι η διαδικασία της μεταφοράς των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον (στο έδαφος, στα δέντρα, στα κτίρια, στο νερό κ.λπ.) χωρίς ατμοσφαιρική κατακρήμνιση. Η ξηρή εναπόθεση και ο βαθμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από τους εξής παράγοντες (http://orise.orau.gov/emi/annual-meeting/2012/Presentations/SCAPA_Armstrong.pdf):

- από το επίπεδο στροβιλισμού (είδος κίνησης) του αέρα,
- από την τραχύτητα της επιφάνειας της Γης (είδος του εδάφους),
- από τη βλάστηση στην επιφάνεια της Γης,
- από το χρονικό διάστημα που θα λάβει χώρα η εναπόθεση (την εποχή, τις καιρικές συνθήκες, τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες),
- από τις φυσικές ή χημικές ιδιότητες των σωματιδίων που θα εναποτεθούν.

Για παράδειγμα ο στροβιλισμός του αέρα, ειδικά κοντά στο έδαφος, καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο τα αιωρούμενα σωματίδια θα κατανεμηθούν στην επιφάνεια της Γης. Το μέγεθος, η πυκνότητα, το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζει αν αυτά θα προσκολληθούν στο έδαφος. Αλλά και το είδος του εδάφους έχει να κάνει με την εναπόθεση. Ένα λείο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε ανάκαμψη των σωματιδίων, ενώ ένα περιβάλλον με βλάστηση θα τα προσελκύσει πιο εύκολα (Seinfeld and Pandis 2006).

Η υγρή εναπόθεση, από την άλλη πλευρά, αναφέρεται στις φυσικές διαδικασίες μέσα από τις οποίες τα αιωρούμενα σωματίδια περισυλλέγονται από την ατμόσφαιρα μέσω διάφορων κατακρημνισμάτων, όπως είναι η βροχή, το χιόνι και τα σταγονίδια νεφών και ομίχλης και στη συνέχεια εναποτίθενται στην επιφάνεια της Γης (Seinfeld and Pandis 2006). Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατόν να περισυλλεγούν με δύο τρόπους και στη συνέχεια να πέσουν στο έδαφος: ο ένας είναι η περισυλλογή τους κάτω από τα νέφη (τα αιωρούμενα σωματίδια σαρώνονται από τις σταγόνες της βροχής, από το χιόνι κ.ά. όταν αυτά πέφτουν στη Γη), ο δε δεύτερος τρόπος είναι η περισυλλογή τους εντός των νεφών, δηλαδή τα αιωρούμενα σωματίδια μπαίνουν μέσα στα σταγονίδια του νέφους και στους παγοκρυστάλλους των νεφών και λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών. Οι πυρήνες συμπύκνωσης νεφών είναι μικρά αιωρούμενα σωματίδια πάνω στα οποία ο υδρατμός μπορεί να υγροποιηθεί και να δημιουργήσει σταγονίδια νερού στα νέφη (Λαζαρίδης 2005).



Σχήμα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση της υγρής και της ξηρής εναπόθεσης (<http://earth1.epa.gov/air/oaqps/takingtoxics/images/sources4.gif>).

Κεφάλαιο 3

3. Μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των αιωρούμενων σωματιδίων

3.1 Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων σωματιδιακής ρύπανσης

Στην εργασία αυτή μελετώνται οι χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm (PM_{10}) από σταθμούς μέτρησης εγκατεστημένους στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, στο κέντρο της πόλης του Βόλου και στην Πάτρα.

3.1.1 Ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

Σχετικά με τις χρονοσειρές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm (PM_{10}) από τους σταθμούς μέτρησης εγκατεστημένους στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ) (Σχήμα 3.1). Ειδικότερα:



Σχήμα 3.1. Χάρτης της περιοχής Αττικής, όπου εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Δεδομένα από το δίκτυο των σταθμών της Διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην ΕΠΑ. Τα δεδομένα προέρχονται από τους επτά, εκ των οκτώ σταθμών μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων, που είναι εγκατεστημένοι στην ΕΠΑ και λειτούργησαν κανονικά κατά τη χρονική περίοδο 2001-2011. Οι θέσεις των σταθμών εμφανίζονται στο Σχήμα 3.1. Ο χαρακτήρας του κάθε χρησιμοποιούμενου σταθμού, όπως αυτός έχει καθοριστεί από τη ΔΕΑΡΘ, είναι: Θρακομακεδόνες (Περιαστικός-Υποβάθρου), Λυκόβρυση (Περιαστικός), Μαρούσι (Αστικός-Κυκλοφορίας), Αγία Παρασκευή (Περιαστικός-Υποβάθρου), Αριστοτέλους (Αστικός-Κυκλοφορίας) και Πειραιάς (Αστικός-Κυκλοφορίας).

Ανθρωπογενείς πηγές σωματιδίων είναι η βιομηχανία, η κεντρική θέρμανση και η κυκλοφορία. Η βιομηχανία επηρεάζει σημαντικά ορισμένες περιοχές της Αθήνας, ενώ κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες ο επηρεασμός αυτός είναι δυνατόν να φθάσει μέχρι το κέντρο της πόλης. Μετά το έτος 2010 στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, η θέρμανση κατοικιών έχει σημαντική συμμετοχή στις τελικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Στην υπόλοιπη περίοδο του έτους, τη σημαντικότερη συμμετοχή έχουν οι κινητές πηγές ρύπανσης. Η κυκλοφορία των οχημάτων επίσης συμμετέχει έμμεσα στην εκπομπή σωματιδίων με την επαναιώρηση της σκόνης που επικάθεται στους δρόμους.

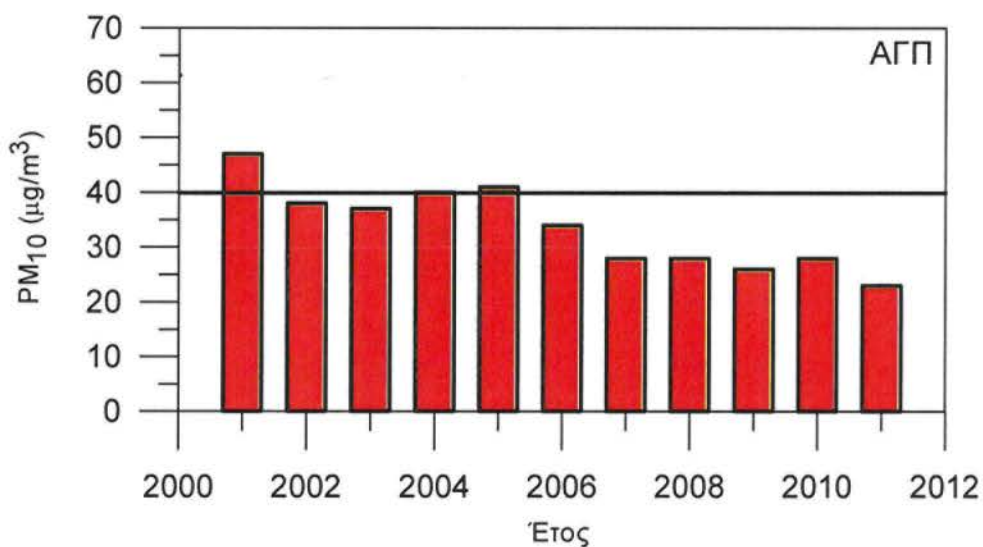
Σημειώνεται ότι ο σχηματισμός των σωματιδίων δεν οφείλεται μόνο στις εκπομπές, αλλά και στους μετασχηματισμούς που υφίστανται αυτά κατά την παραμονή τους στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δευτερογενούς δημιουργίας σωματιδίων είναι η αντίδραση του νιτρικού οξέος με την αμμωνία για τον σχηματισμό νιτρικού αμμωνίου ή και η αντίδρασή του με ιόντα θαλάσσιας προέλευσης (π.χ. νάτριο) για το σχηματισμό νιτρικού νατρίου. Επίσης, η αμμωνία αντιδρά και με τη θειική ρίζα προς το σχηματισμό θειικού αμμωνίου και τα θειικά ιόντα μεταπίπτουν στη στερεή φάση και κατά την ένωσή τους με σωματίδια θαλάσσιας προέλευσης. Τέλος, τμήματα του οργανικού σωματιδιακού άνθρακα αποτελούν δευτερογενή σωματίδια είτε βιογενούς, είτε ανθρωπογενούς προέλευσης (Τριανταφύλλου κ. ά. 2006).

Εκτός από τις ανθρωπογενείς πηγές, σημαντική υπολογίζεται και για τη χώρα μας και η συμμετοχή φυσικών πηγών, με κυριότερη αυτή που οφείλεται στη μεταφορά σκόνης από την έρημο της Σαχάρας (Papagiannis et al. 2005). Επειδή το φαινόμενο παρατηρείται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, ιδιαίτερα του νότου, υπάρχει ειδική πρόνοια στην κοινότητα ώστε να μη λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση της ρύπανσης από σωματίδια οι υπερβάσεις που οφείλονται σε φυσικά αίτια.

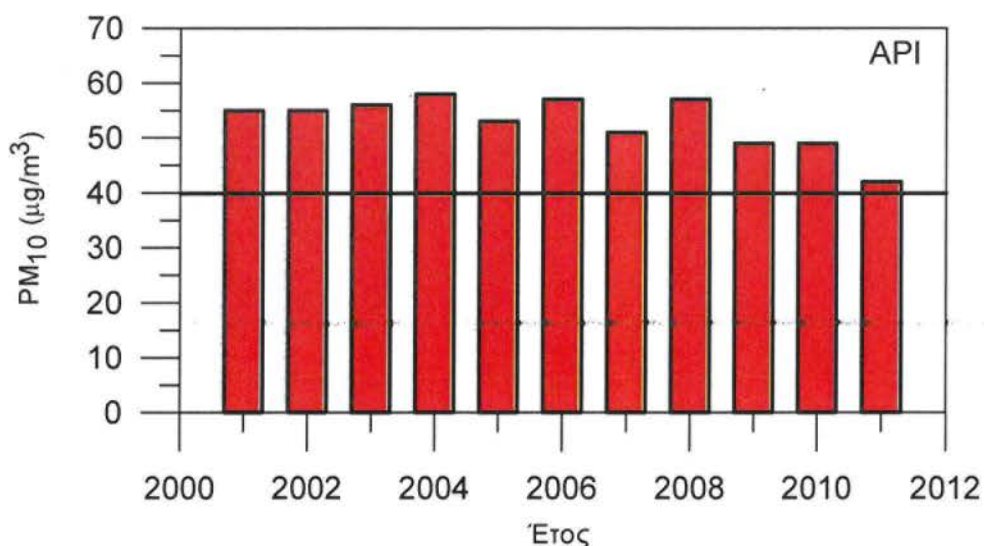
Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM_{10} για εκείνους τους σταθμούς του δικτύου της ΕΠΑ, που κατά την υπό μελέτη περίοδο λειτουργούσαν κανονικά, προσδιορίστηκαν οι μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις των PM_{10} σε κάθε σταθμό.

3.1.1.1 Διαχρονική εξέλιξη των ετησίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10}

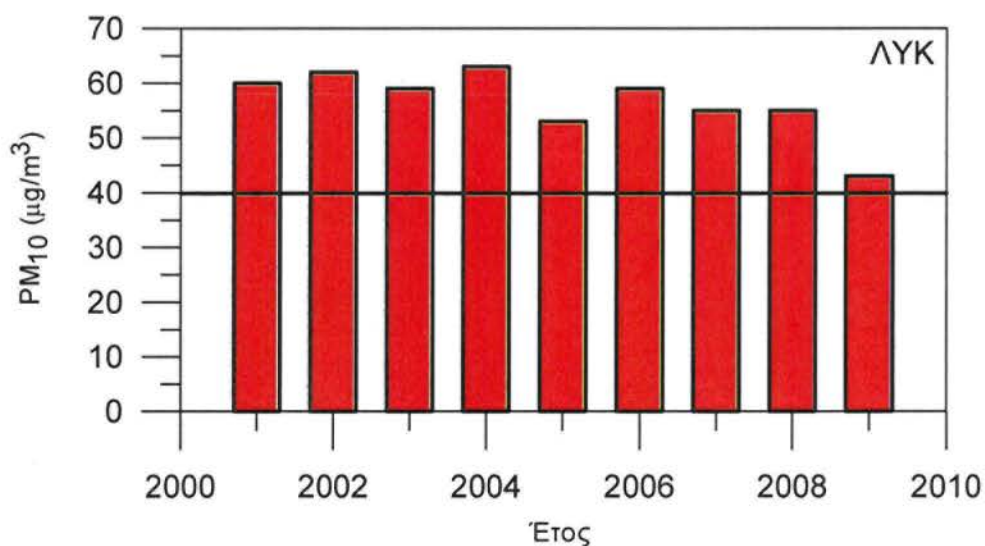
Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερησίων PM_{10} συγκεντρώσεων για εκείνους τους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΑΡΘ, που κατά τη υπό μελέτη χρονική περίοδο λειτουργούσαν κανονικά, προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες PM_{10} συγκεντρώσεις των PM_{10} σε κάθε σταθμό και απεικονίζονται στα Σχήμα 3.2-3.7.



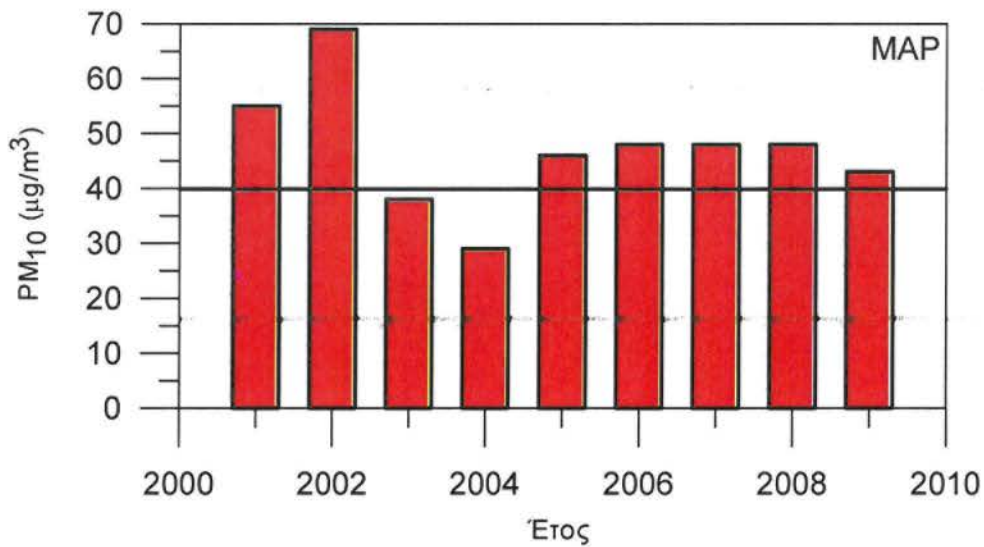
Σχήμα 3.2. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετησίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στο σταθμό «Αγ. Παρασκευή», στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$).



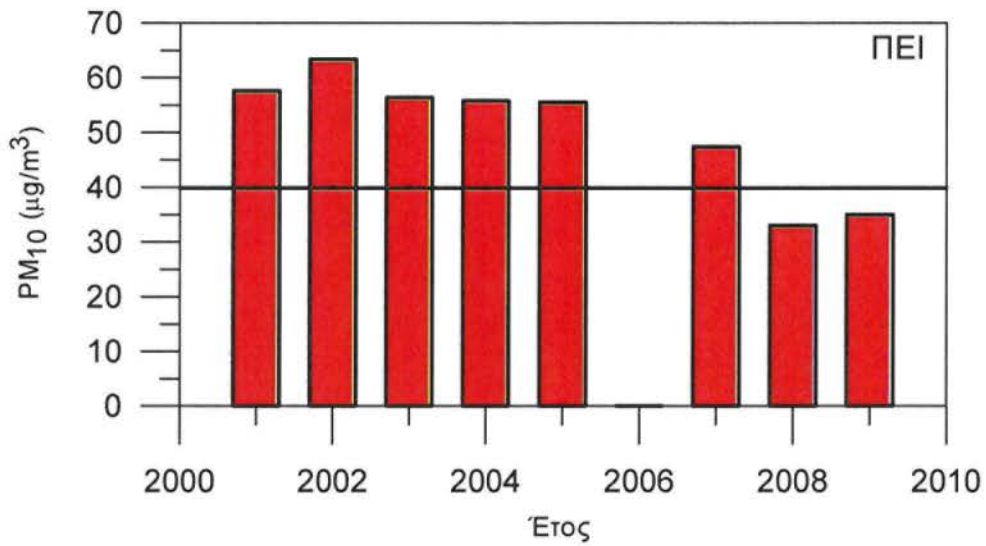
Σχήμα 3.3. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Αριστοτέλους», στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



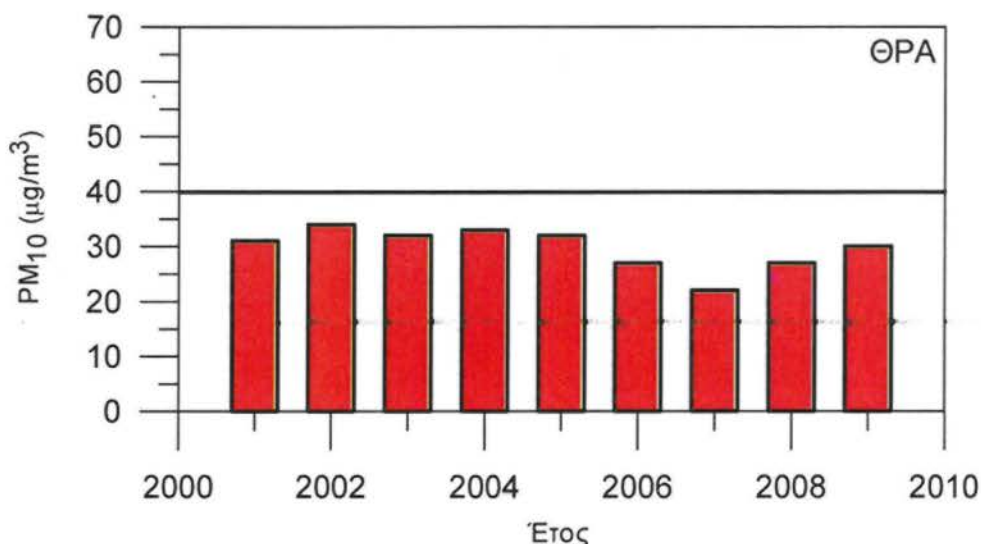
Σχήμα 3.4. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Λυκόβρυση», στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



Σχήμα 3.5. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Μαρούσι», στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



Σχήμα 3.6. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Πειραιάς» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



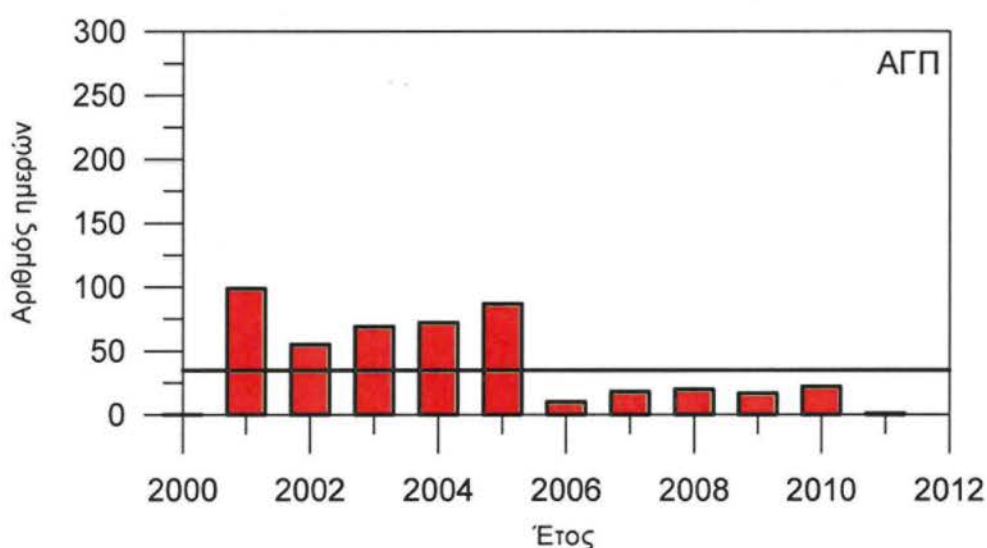
Σχήμα 3.7. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Θρακομακεδόνες» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).

Από τα Σχήματα 3.2-3.7 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής (40µg/m³) που έχει τεθεί σε ισχύ από 01-01-2005, σύμφωνα με την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία (Council Directive 99/30/EC). Οι υπερβάσεις παρατηρούνται αφενός μεν στο σταθμό «Αριστοτέλους» (αστικός σταθμός-κυκλοφορίας) και «Λυκόβρυση» (περιαστικός σταθμός) σε όλη τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, αφετέρου δε στους σταθμούς «Μαρούσι» (περιαστικός σταθμός), «Πειραιάς» (αστικός σταθμός – κυκλοφορίας) στο μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη χρονικής περιόδου. Τέλος, μεμονωμένες υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής παρατηρήθηκαν στον περιαστικό σταθμό «Αγ. Παρασκευή» κατά τα έτη 2001 και 2005, ενώ σε όλη τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου δεν παρατηρήθηκαν υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής στο σταθμό «Θρακομακεδόνες» (περιαστικός-υποβάθρου).

3.1.1.2 Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού υπερβάσεων της οριακής τιμής 50µg/m³ (μέση 24ώρη τιμή)

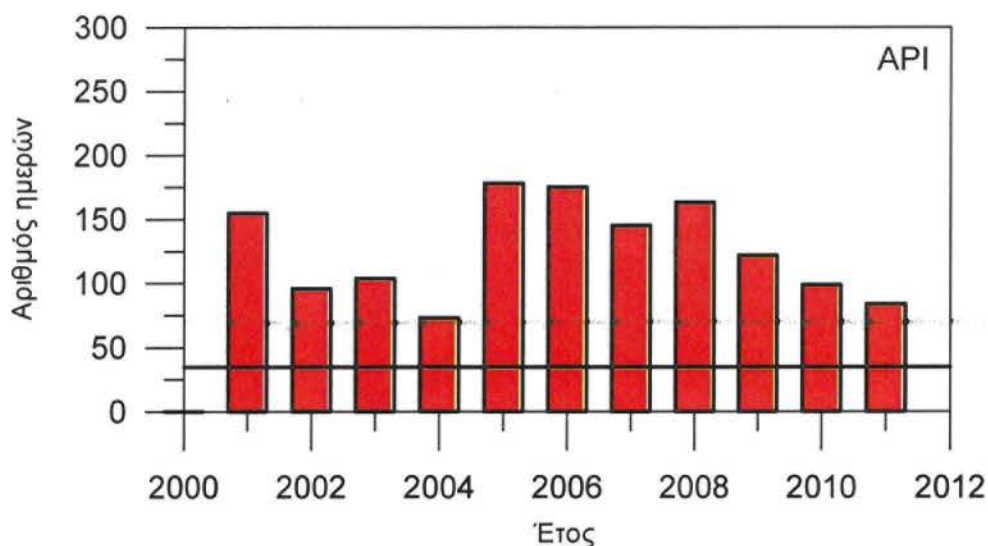
Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 99/30/EC (EC 1999), έχει θεσπιστεί οριακή τιμή και για τη μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM₁₀. Η οριακή αυτή τιμή είναι τα 50µg/m³ (μέση 24ώρη τιμή) και υπέρβαση της τιμής αυτής δεν πρέπει να σημειώνεται για περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο, μέχρι και την 31-12-2009. Δηλαδή, το μέγιστο ετήσιο επιτρεπτό ποσοστό υπερβάσεων φτάνει στο 9.6% επί του συνόλου των ημερών του έτους.

Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 3.8-3.13, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου παρατηρήθηκε μεγάλος αριθμός ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς «Λυκόβρυση», «Αριστοτέλους», «Μαρούσι» και «Πειραιάς» (μερικώς). Επίσης, από το Σχήμα 3.8 διαπιστώνεται ότι, ο ετήσιος αριθμός ημερών με υπέρβαση στο σταθμό «Αγ. Παρασκευή», τα τελευταία χρόνια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου έχει εναρμονιστεί με τις απαιτήσεις της κοινοτικής οδηγίας 99/30/EC. Τέλος, σχεδόν πλήρης εναρμόνιση με τις απαιτήσεις της κοινοτικής οδηγίας διαπιστώνεται στο σταθμό «Θρακομακεδόνες» (Σχήμα 3.11) που χαρακτηρίζεται ως περιαστικός-υποβάθρου, όπου μόνο στη διάρκεια του έτους 2010 παρατηρήθηκε υπέρβαση του επιτρεπτού αριθμού των αριθμών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής. Πιο συγκεκριμένα, το συγκεκριμένο έτος καταγράφηκαν 43 ημέρες με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

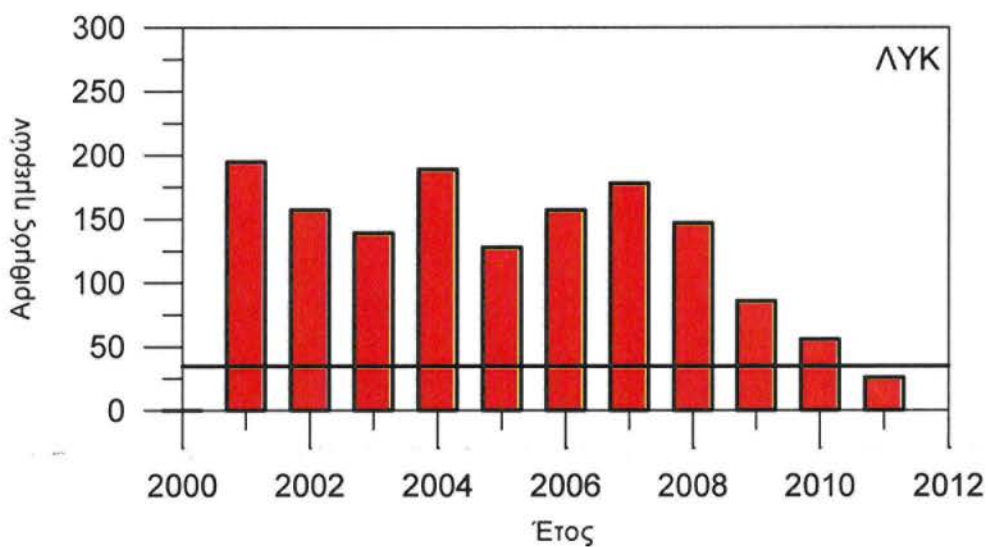


Σχήμα 3.8. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Αγία Παρασκευή». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).

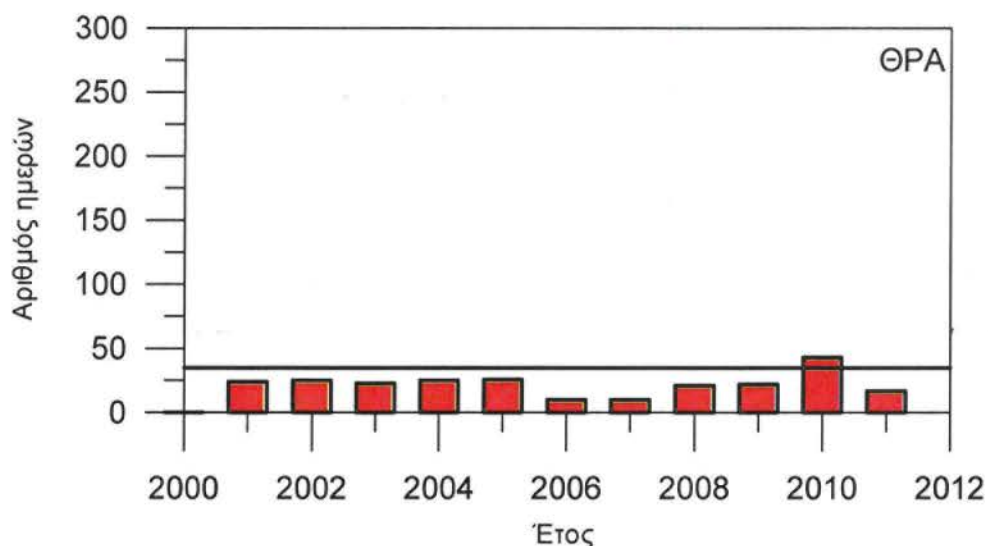
Τόσο στο σταθμό «Αριστοτέλους», «Μαρούσι», «Πειραιάς», όσο και στο σταθμό «Λυκόβρυση», ο αριθμός των ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής, που έχουν καταγραφεί, παραμένουν σε υψηλά επίπεδα και δεν μειώνονται σταδιακά, όπως απαιτείται από την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία. Ειδικότερα, στο σταθμό «Λυκόβρυση» οι καταγραφείσες υπερβάσεις εμφανίζουν καθοδική τάση στη διάρκεια της περιόδου 2007-2011. Μάλιστα, το έτος 2011 ο ετήσιος αριθμός των υπερβάσεων στο συγκεκριμένο σταθμό είναι μικρότερος από τον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



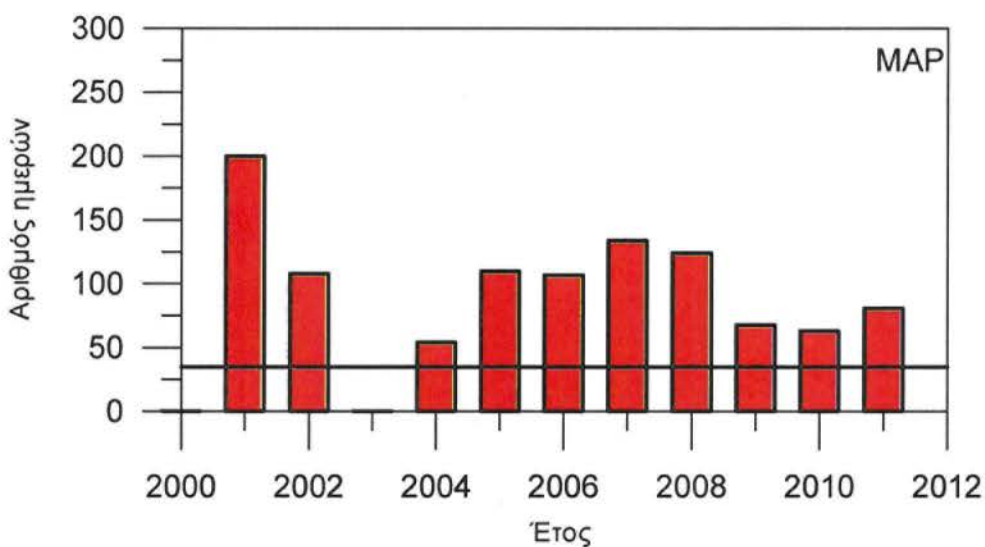
Σχήμα 3.9. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Αριστοτέλους». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



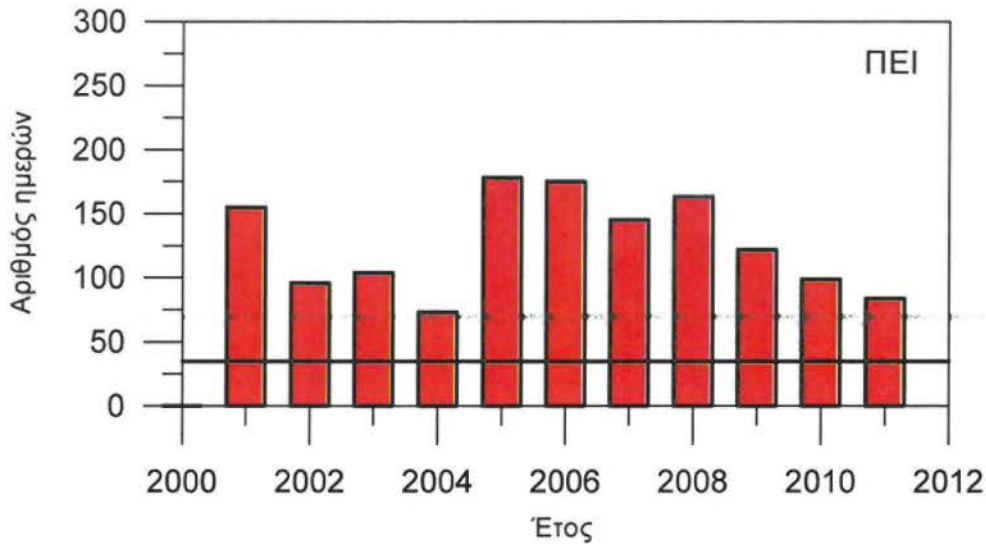
Σχήμα 3.10. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Δυκόβρυση». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



Σχήμα 3.11. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Θρακομακεδόνες». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



Σχήμα 3.12. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Μαρούσι». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



Σχήμα 3.13. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Πειραιάς». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).

Τέλος, σχετικά με τους σταθμούς «Αριστοτέλους» (Σχήμα 3.9), «Μαρούσι» (Σχήμα 3.12) και «Πειραιάς» (Σχήμα 3.13) στη διάρκεια της περιόδου μελέτης, ο ετήσιος αριθμός των ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής αν και εμφανίζει σχετικά μικρή πτωτική τάση, εντούτοις υπερβαίνει κατά πολύ τον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως) στους συγκεκριμένους σταθμούς. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι αν δεν μειωθούν οι τιμές τότε ο συγκεκριμένος ρύπος θα αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα για το μέλλον.

3.1.2 Πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης

Σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία αποτελεί υποχρέωση της χώρας η λειτουργία δικτύου σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό και με πόρους του Β΄ ΚΠΣ, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού προγράμματος «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ», το ΥΠΕΚΑ ως ΥΠΕΧΩΔΕ αναβάθμισε σταθμούς του λεκανοπεδίου των Αθηνών και άλλων πόλεων, που ήδη λειτουργούσαν, και παράλληλα εγκατέστησε νέους σταθμούς σε μεγάλες πόλεις, δημιουργώντας το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Το ΕΔΠΑΡ ξεκίνησε να λειτουργεί από το 2000. Το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Διεύθυνση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ) του ΥΠΕΚΑ είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής Αττικής.

Την ευθύνη της λειτουργίας των υπόλοιπων σταθμών του ΕΔΠΑΡ είχαν οι υπηρεσίες των πρώην Περιφερειών, σύμφωνα με το Ν. 2647/98. Ειδικότερα για τους σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στο Βόλο και στη Λάρισα τη λειτουργία τους είχαν αναλάβει οι αντίστοιχες Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, μέχρι το 2010. Προσφάτως, με την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης με το Ν. 3852/2010 (ΦΕΚ 87/Α) και της ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε.103/11 (488/Β/30.3.11) οι αρμοδιότητες που αφορούν στην εγκατάσταση και τη λειτουργία σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας μεταβιβάστηκαν από τις Αποκεντρωμένες Διοικήσεις στις Περιφέρειες της χώρας.

Στην εργασία αυτή μελετώνται οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των 10 μm (PM₁₀) από σταθμούς μέτρησης εγκατεστημένους στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (ΕΠΘ). Ειδικότερα: Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για τη μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις Περιφέρειες και την Αυτοδιοίκηση, η αρμοδιότητα των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει μεταβιβασθεί στις Περιφέρειες. Για την περιοχή της Θεσσαλονίκης η αρμοδιότητα μεταβιβάστηκε από το Υπουργείο Μακεδονίας-Θράκης στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Το δίκτυο που λειτουργεί στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας αποτελείται από 8 σταθμούς. Στο Σχήμα 3.14 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των σταθμών της ΕΠΘ.

Δεδομένα από το δίκτυο των σταθμών της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην ΕΠΘ. Τα δεδομένα προέρχονται από τους τέσσερις καταγραφές αιωρούμενων σωματιδίων, εκ των οκτώ σταθμών καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που είναι εγκατεστημένοι στην ΕΠΘ και λειτούργησαν κανονικά κατά τη χρονική περίοδο 2001-2011. Οι θέσεις των σταθμών εμφανίζονται στο Σχήμα 2.16. Ο χαρακτήρας του κάθε χρησιμοποιούμενου σταθμού, όπως αυτός έχει καθοριστεί από την αρμόδια υπηρεσία, είναι: Σίνδος (ΣΙΝ: Αγροτικός-Βιομηχανικός), Ελευθέριο-Κορδελιό (ΚΟΡ: Αστικός-Βιομηχανικός), Πανόραμα (ΠΑΝ: Περιαστικός) και Πλ. Αγ. Σοφίας (ΑΓΣ: Αστικός).



Σχήμα 3.14. Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης, όπου εμφανίζονται οι θέσεις μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Ο νομός Θεσσαλονίκης ο οποίος ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, έχει πληθυσμό 1104160 σύμφωνα με την τελευταία επίσημη απογραφή (2011). Ο πληθυσμός του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλης της Θεσσαλονίκης, φτάνει τους 790824 κατοίκους. Η πόλη κυκλώνεται από τον κόλπο του Θερμαϊκού για αυτό τον λόγο έχει σχήμα τοξοειδές που εκτείνεται σε 12km κατά μήκος των ακτών. Ωστόσο εκτείνεται τόσο από την βόρεια, όσο και από την ανατολική πλευρά από λόφους περίπου 200m. Βόρεια- βορειανατολικά της πόλης εκτείνεται ο Χορτιάτης, φυσική οχύρωση και πηγή μέρους του νερού που χρησιμοποιείται για την ύδρευση της. Στα δυτικά της πόλης εκβάλλουν οι ποταμοί Γαλλικός και Αξιός και η περιοχή είναι σχεδόν επίπεδη. Σε πλάτος, οι κατοικημένες περιοχές εκτείνονται σε απόσταση 3km περίπου από την ακτή και είναι κτισμένες κατά μήκος της ανατολικής πλευράς του Θερμαϊκού.

Το κλίμα στη Θεσσαλονίκη είναι μεσογειακού τύπου. Δηλαδή, κλίμα που χαρακτηρίζεται από θερμά – ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς – υγρούς χειμώνες. Οι

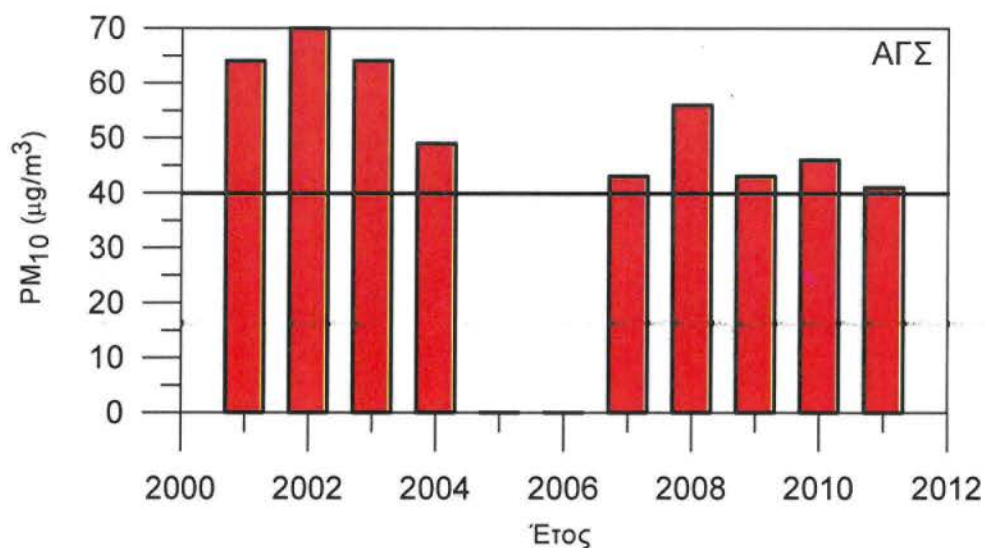
χειμώνες ενδέχεται να είναι και πολύ δριμείς όταν παρατηρείται απότομη εισβολή ψυχρές αέριες μάζες. Σύμφωνα με τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της χρονικής περιόδου 1958-2000, η μέση θερμοκρασία του αέρα ήταν περίπου 15.9⁰C και το ετήσιο ύψος βροχής φτάνει τα 445.7mm. Θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται τον Οκτώβριο και το Δεκέμβριο (Κόλλια 2012).

Καιρικά φαινόμενα όπως η θαλάσσια αύρα και οι τοπικές ομίχλες χαρακτηρίζουν την περιοχή και οφείλονται στην άμεση επίδραση της θάλασσας στο μικροκλίμα της πόλης. Η πόλη της Θεσσαλονίκης είναι ευπρόσβλητη σε απότομες καιρικές μεταβολές που εμφανίζονται σε βορειότερες περιοχές και όταν φτάνουν σε αυτήν έχουν ιδιαίτερη βιαιότητα (π.χ. ψυχρές και θερμές εισβολές (Βαρφή 2009)). Η Θεσσαλονίκη επηρεάζεται από μικρής, ή και μεγαλύτερης κλίμακας ανέμους. Οι άνεμοι αυτοί είναι η θαλάσσια και απόγειος αύρα, η αύρα βουνού και κοιλάδας, ο Βαρδάρης και ο Χορτιάτης (τοπικός καταβατικός άνεμος που πνέει στην περιοχή της Θεσσαλονίκης από ανατολικές διευθύνσεις και μπορεί να φτάσει στο βαθμό θύελλας όταν συμβαίνει να επικρατούν βαθιές υφέσεις στην Κεντρική Μεσόγειο) (Φλόκας 1997, Κόλλια 2012).

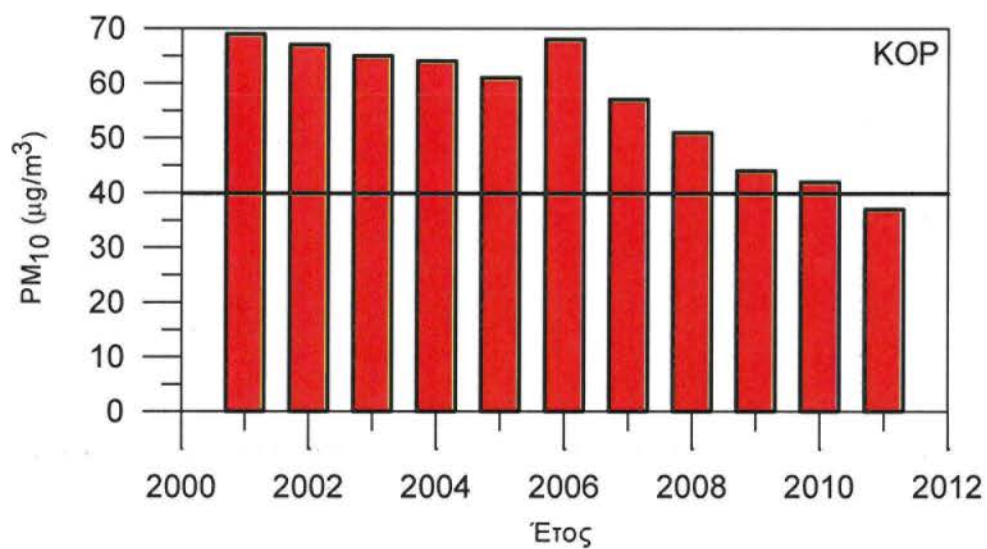
3.1.2.1 Διαχρονική εξέλιξη των ετησίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των μέσων ημερησίων PM₁₀ συγκεντρώσεων για εκείνους τους σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στην ΕΠΘ, που κατά τη υπό μελέτη χρονική περίοδο λειτουργούσαν κανονικά, προσδιορίστηκαν οι μέσες ετήσιες PM₁₀ συγκεντρώσεις των PM₁₀ σε κάθε σταθμό και απεικονίζονται στα Σχήματα 3.15-3.19.

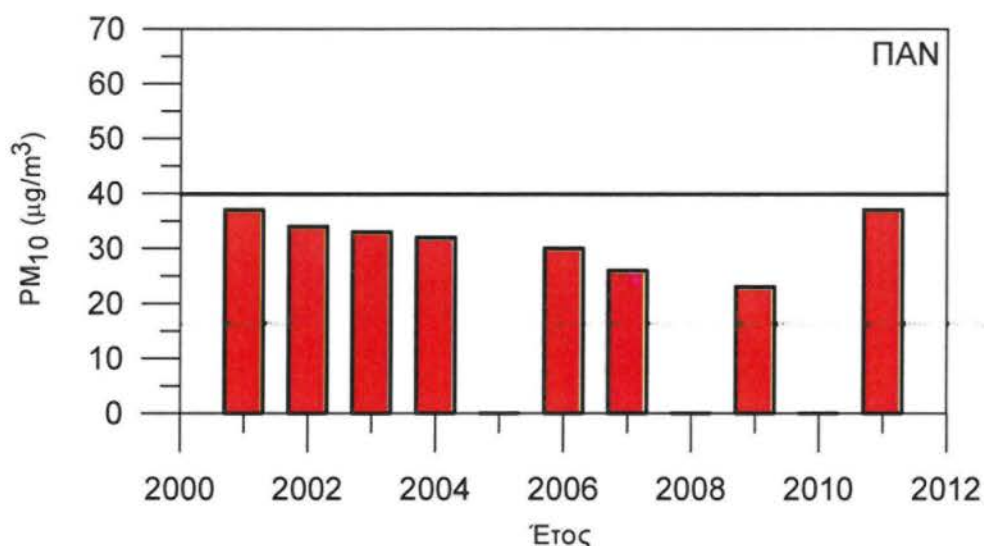
Από τα Σχήματα 3.15-3.19 διαπιστώνεται ότι στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου παρατηρούνται υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής (40μg/m³) που έχει τεθεί σε ισχύ από 01-01-2005, σύμφωνα με την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία 99/30/EC. Οι υπερβάσεις παρατηρούνται στους σταθμούς «Αγία Σοφία» (αστικός) και «Κορδελιό» (αστικός σταθμός – κυκλοφορίας) σε όλη τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου. Στον αγροτικό-βιομηχανικό σταθμό «Σίνδος», σε ολόκληρη την υπό μελέτη χρονική περίοδο, οι παρατηρούμενες αποκλίσεις από την οριακή τιμή των (40μg/m³) είναι μικρότερου μεγέθους.



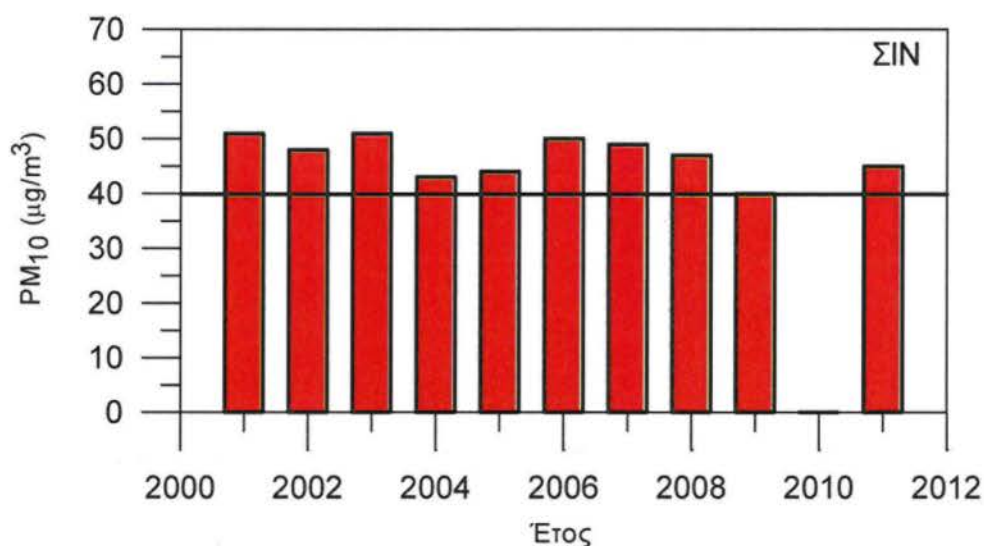
Σχήμα 3.15. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Αγία Σοφία» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



Σχήμα 3.16. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Κορδελιό» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



Σχήμα 3.17. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Πανόραμα» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).



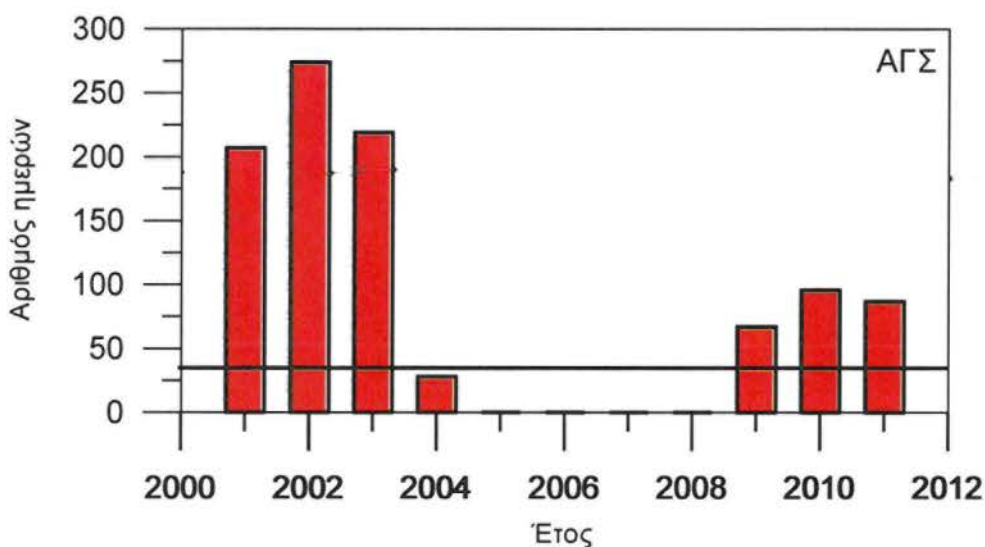
Σχήμα 3.19. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Σίνδος» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).

Τέλος, στον περιαστικό σταθμό «Πανόραμα» κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, δεν καταγράφηκαν υπερβάσεις της μέσης ετήσιας οριακής τιμής. Συνολικά, από επισταμένη παρατήρηση των Σχημάτων 3.15-3.19 διαπιστώνεται ότι οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του υπό μελέτη ρύπου (PM₁₀) εμφανίζουν μικρή τάση μείωσης στο σταθμό «Σίνδος», ενώ η εμφανιζόμενη τάση μείωσης στους σταθμούς «Αγία Σοφία» και «Κορδελιό» είναι μεγαλύτερη. Τέλος, οι

μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} εμφανίζουν τάση σταθεροποίησης, παρόλη την αύξηση των δραστηριοτήτων που συμβάλλουν στη δημιουργία της (ΥΠΕΚΑ 2012).

3.1.2.2 Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού υπερβάσεων της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή)

Σύμφωνα με την αντίστοιχη κοινοτική οδηγία (EC 1999), υπολογίζονται υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης από την θεσπισμένη οριακή τιμή, που είναι τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) και υπερβάσεις της τιμής αυτής δεν πρέπει να σημειώνεται για περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο.

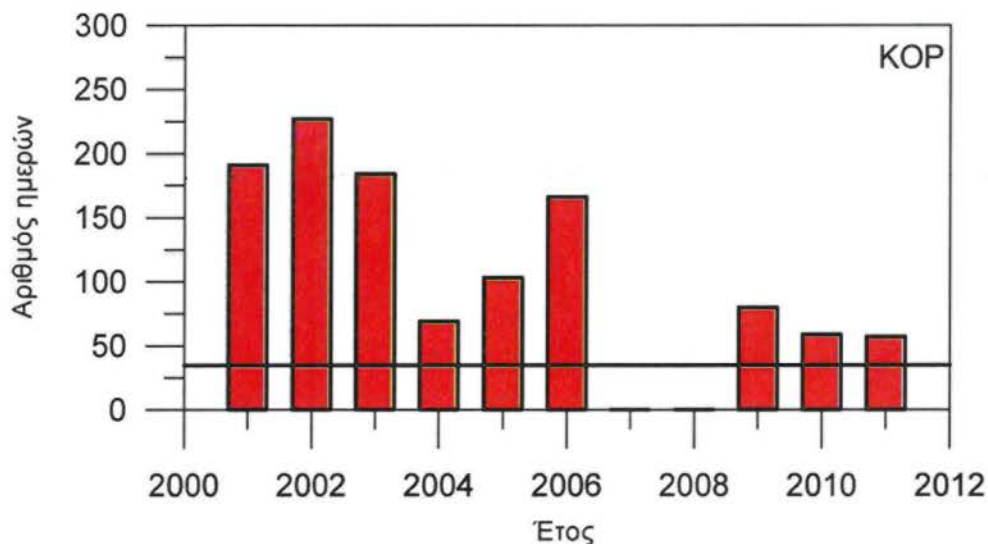


Σχήμα 3.20. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Αγία Σοφία». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).

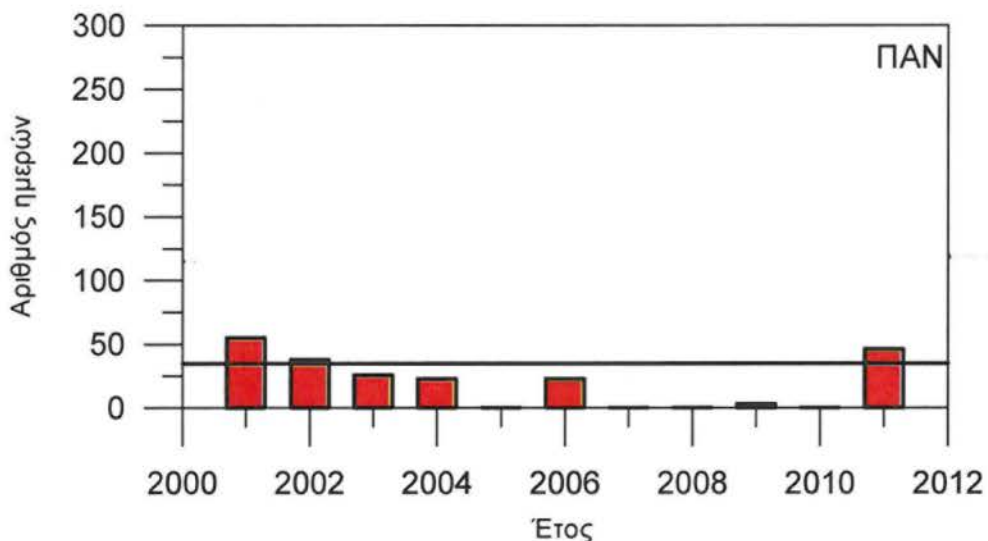
Όπως προκύπτει από τα Σχήματα 3.20-3.23, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου παρατηρήθηκε μεγάλος αριθμός ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς «Σίνδος», «Κορδελιό», «Αγία Σοφία». Επίσης, από το ίδιο σχήμα διαπιστώνεται ότι ο ετήσιος αριθμός ημερών με υπέρβαση στον περιαστικό σταθμό «Πανόραμα», τα τελευταία χρόνια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου έχει εναρμονιστεί με τις απαιτήσεις της κοινοτικής οδηγίας.

Από το Σχήμα 3.20 διαπιστώνεται μικρός αριθμός υπερβάσεων της 24ωρης οριακής τιμής στο σταθμό «Αγία Σοφία» στη διάρκεια του έτους 2004. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη πολύ μικρή διαθεσιμότητα δεδομένων που καταγράφεται στο συγκεκριμένο σταθμό (14.4%). Επίσης, τα έτη 2004 και 2005 ήταν έτη με χαμηλή πληρότητα τιμών για τους σταθμούς «Κορδελιό» (32.5% και 52.6%, αντίστοιχα),

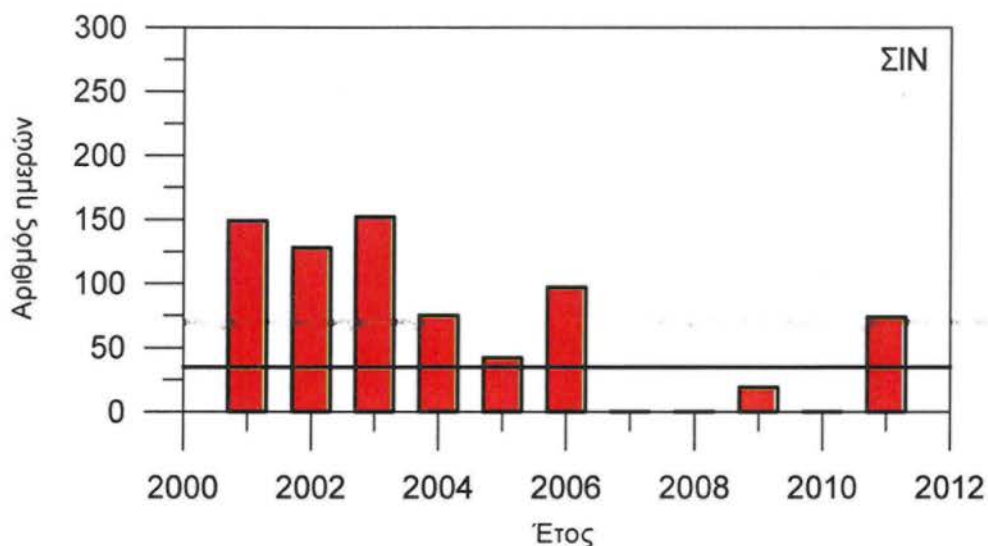
«Σίνδος» (78.3% και 38.3%, αντίστοιχα). Εξαιρέση αποτελεί η πληρότητα του περιστατικού σταθμού «Πανόραμα» που κυμαίνεται σε σταθερά χαμηλά επίπεδα.



Σχήμα 3.21. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Κορδελιό». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



Σχήμα 3.22. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Πανόραμα». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).



Σχήμα 3.23. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Σίνδος». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).

Ειδικότερα τόσο στο σταθμό «Αγία Σοφία», όσο και στο σταθμό «Σίνδος», ο αριθμός των ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής, που έχουν καταγραφεί, παραμένουν σε υψηλά επίπεδα και μειώνονται σταδιακά. Περίπου ίδια εξέλιξη εμφανίζουν οι ετήσιοι αριθμοί ημερών με υπερβάσεις της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση 24ώρη τιμή), αν και είναι χαμηλότερης τάξης μεγέθους των δύο προηγούμενων, στον σταθμό «Σίνδος» ο οποίος προοδευτικά εμφανίζεται να εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις της αντίστοιχης κοινοτικής οδηγίας, με εξαίρεση το έτος 2011. Επίσης, στο σταθμό «Πανόραμα» παρατηρείται σταδιακή μείωση του αριθμού των υπερβάσεων. Ειδικότερα, στη διάρκεια της περιόδου 2003-2010 οι ετήσιοι αριθμοί υπέρβασης της οριακής τιμής $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ είναι αισθητά χαμηλότεροι του ετήσιου επιτρεπτού αριθμού υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως), με εξαίρεση το έτος 2011. Τέλος, οι καταγραφείσες υπερβάσεις τόσο στον αστικό σταθμό «Αγία Σοφία», όσο και στον αστικό-βιομηχανικό σταθμό «Κορδελιό» μειώνονται μεν σταδιακά, παραμένουν όμως αισθητά μακριά από τον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων, γεγονός που σημαίνει ότι αν δεν μειωθούν οι τιμές τότε ο συγκεκριμένος ρύπος θα αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα για το μέλλον, στους συγκεκριμένους σταθμούς.

3.1.3 Πολυεδαμικό συγκρότημα του Βόλου

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 έχει καταστεί σαφές ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων και των ζώων, προκαλεί ζημιές στη

βλάστηση, υποβαθμίζει την ποιότητα του εδάφους και των υλικών και γενικά δεν επηρεάζει μόνο τις μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές, αλλά και τις μεσαίου μεγέθους αστικές περιοχές. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αντιμετωπίζουν πολλές από τις μεσαίου μεγέθους αστικές περιοχές που είναι πυκνοκατοικημένες και υπάρχουν μονάδες βαριάς βιομηχανίας (Ziomas et al. 1989, Papamanolis 2001, Triantafyllou et al. 2001, Karandinos-Riga and Saitanis 2005, Papanastasiou and Melas 2009, Papaioannou et al. 2010).

Η πόλη του Βόλου βρίσκεται στη Θεσσαλία και εκτείνεται κατά μήκος του βόρειου τμήματος του όρμου του Παγασητικού Κόλπου, στην ανατολική ακτή της κεντρικής Ελλάδας. Η περίπτωση του Βόλου είναι ένα ενδιαφέρον παράδειγμα μεσαίου μεγέθους πόλης με περιβαλλοντική υποβάθμιση δεδομένου ότι τα τελευταία χρόνια οι μεταβολές του πληθυσμού και η αυξημένη εκβιομηχάνιση έχουν οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα στην περιοχή. Ο Βόλος είναι μια μεσαίου μεγέθους πόλη και έχει πληθυσμό περίπου 144000 κατοίκους (απογραφή 2011). Αυτή η πόλη χαρακτηρίζεται από εμπορική και τουριστική δραστηριότητα μιας και αποτελεί το λιμάνι της Θεσσαλίας. Στην περιοχή της υπάρχει μεγάλος αριθμός βιοτεχνικών-βιομηχανικών και εμπορικών μονάδων καθώς και δραστηριότητες που σχετίζονται με τριτογενή τομέα των υπηρεσιών.

Η πόλη του Βόλου βρίσκεται σε μια περιοχή με σύνθετη τοπογραφία. Σε απόσταση περίπου 3km, βορειοανατολικά της πόλης, βρίσκονται οι πρόποδες του Πηλίου (1550m υψόμετρο) που εκτείνεται κατά μήκος της χερσονήσου της Μαγνησίας στην ανατολική ακτή. Στα βορειοδυτικά είναι περιτριγυρισμένη από λόφους των οποίων το ύψος φτάνει περίπου τα 500m. Το κλίμα του Βόλου είναι μεσογειακού τύπου με υγρούς και ήπιους χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Γνωρίζουμε ότι το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο του έτους ενώ οι περισσότερες βροχές εμφανίζονται τον Οκτώβριο και κατά τους χειμερινούς μήνες. Η ημερήσια διάρκεια της ηλιοφάνειας εμφανίζει ελάχιστο τον Ιανουάριο και μέγιστο τον Ιούλιο. Έτσι, η έντονη ηλιοφάνεια και η υψηλή θερμοκρασία, αποτελούν ιδανικές συνθήκες για την παραγωγή φωτοχημικών ρύπων. Επίσης, η παρουσία ορεινών όγκων, σε συνδυασμό με την γειτνίαση της θάλασσας, οδηγούν σε ανάπτυξη τοπικών παλινδρομικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, περίπτωση που απαντάται στα περισσότερα μεγάλα αστικά κέντρα, δυσχεραίνει σημαντικά την δυνατότητα καθαρισμού της ατμόσφαιρας, με τους μηχανισμούς διάχυσης και μεταφοράς. Σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση των επιπέδων ρύπανσης διαδραματίζει επίσης η ένταση του πνέοντος ανέμου και η εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών. Αναλυτικότερη περιγραφή των κλιματολογικών παραμέτρων της περιοχής υπάρχουν σε σχετικές εργασίες (μεταξύ άλλων Papamanolis 2001, Papanastasiou and Melas 2009, Proias et al, 2009a,

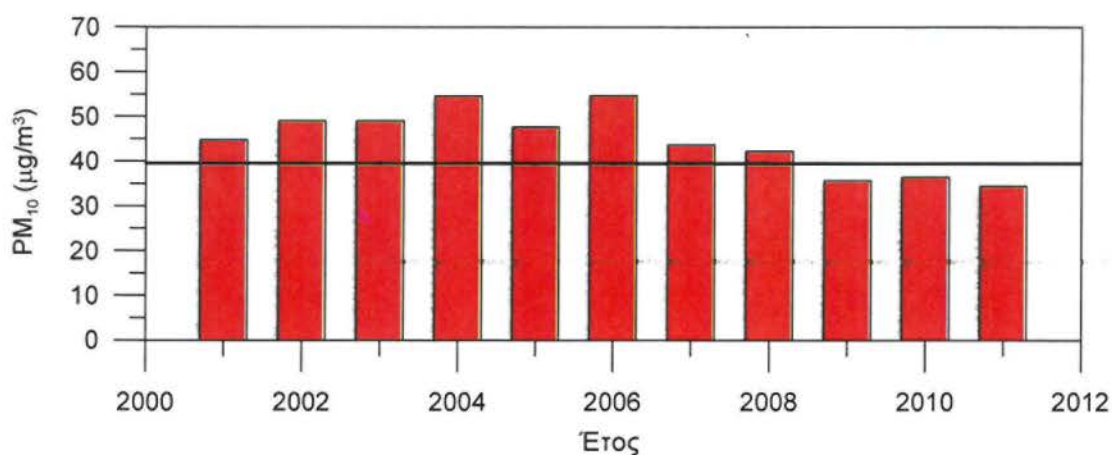
Papaioannou et al. 2010).

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή μελέτης σχετίζεται με την τοπογραφία της περιοχής και τον πολεοδομικό σχεδιασμό της πόλης του Βόλου, καθώς και με τις πηγές ρύπανσης. Οι πηγές διακρίνονται σε σταθερές (λειτουργία βιομηχανικών μονάδων και συστημάτων θέρμανσης) και κινητές πηγές (κυκλοφορία και λειτουργία λιμανιού). Στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου υπάρχουν δύο βιομηχανικές περιοχές. Η μία βρίσκεται στα δυτικά της πόλης και η άλλη σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων στα βορειοδυτικά της πόλης. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη του Βόλου έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Papamanolis 2001, Karandinos-Riga and Saitanis 2005, Papanastasiou and Melas 2009, Proias et al. 2009b, Papaioannou et al. 2010, Proias et al. 2012). Προκειμένου να αναδειχτούν κάποιες χαρακτηριστικές πτυχές του προβλήματος της ρύπανσης της ατμόσφαιρας στην πόλη του Βόλου παρουσιάζονται κάποια στοιχεία από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και τα αποτελέσματα τους έχουν ήδη παρουσιαστεί.

Οι Proias et al. (2011) ανέλυσαν τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM_{10} , στην πόλη του Βόλου και διαπίστωσαν ότι παρατηρούνται υπερβάσεις της ημερήσιας οριακής τιμής των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EU 1999).

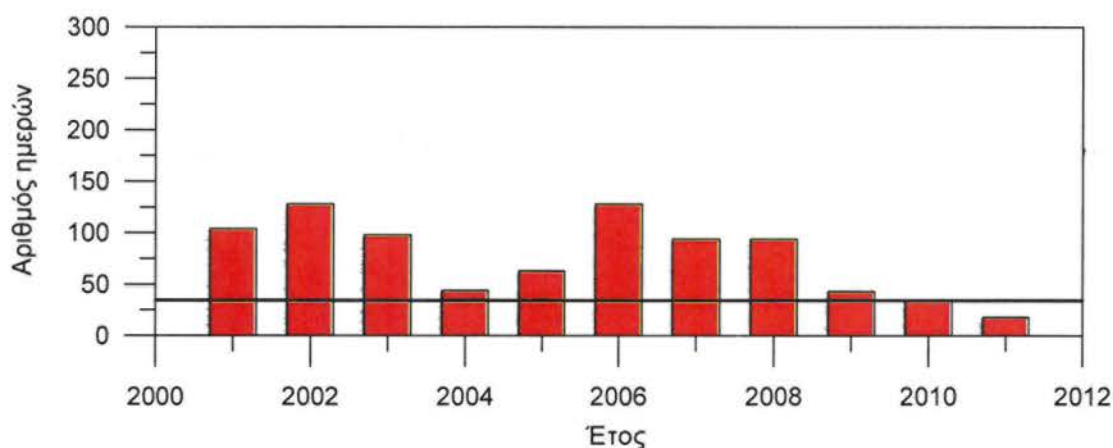
Στα πλαίσια διερεύνησης των επιπτώσεων της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην εργασία των Proias et al. (2009a) αναλύθηκαν περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα (Prezerakos et al. 2010) στη διάρκεια της περιόδου 2005–2007. Στη διάρκεια της 3ετούς αυτής περιόδου καταγράφηκαν 8 επεισόδια. Από την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας, η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} στο σταθμό του Βόλου αυξήθηκε κατά 240%, περίπου, σε σχέση με τη μέγιστη ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) που καθορίζεται από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (EU 1999).

Στην εργασία αυτή, εκτός των άλλων, μελετώνται οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης των $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) από σταθμό μέτρησης που είναι εγκατεστημένος στην πόλη του Βόλου. Τα δεδομένα αφορούν τη χρονική περίοδο 2001-2011. Ειδικότερα, από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007 και των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης του υπόλοιπου τμήματος της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, 2008-2011 καταλήγουμε στο Σχήμα 3.24 όπου απεικονίζεται ο ανά έτος αριθμός υπερβάσεων της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) του ρύπου, που έχει θεσμοθετηθεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ..



Σχήμα 3.24. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο σταθμό «Βόλος» στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέση ετήσια οριακή τιμή (40µg/m³).

Από το Σχήμα 3.24 διαπιστώνεται ότι παρατηρούνται υπερβάσεις στο σταθμό «Βόλος» (αστικός - υποβάθρου) στο μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη χρονικής περιόδου. Στο διάστημα 2009-2011 παρατηρείται μια σχετική συμμόρφωση, όσον αφορά τις υπερβάσεις των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ στο συγκεκριμένο σταθμό.



Σχήμα 3.25. Διαχρονική εξέλιξη για την περίοδο 2001-2011, του αριθμού των ημερών υπέρβασης της οριακής τιμής 50µg/m³ (μέση 24ώρη τιμή) στο σταθμό «Βόλος». Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στον ετήσιο επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες ετησίως).

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.25, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου παρατηρήθηκε αριθμός ημερών με υπέρβαση της 24ωρης οριακής τιμής (50µg/m³)

στο συγκεκριμένο σταθμό. Στο διάστημα 2006-2011 παρατηρείται μια πτωτική διαχρονική εξέλιξη όσον αφορά τον αριθμό των ημερών με υπέρβαση της μέσης 24ωρης οριακής τιμής στο συγκεκριμένο σταθμό.

3.2 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Από τη θεωρητική εμβάθυνση του προβλήματος «αιωρούμενα σωματίδια», διαπιστώθηκε ότι αυτά παρουσιάζουν ποικίλες θετικές και αρνητικές επιδράσεις για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα:

- Η παρουσία τους είναι απαραίτητη για τη συμπύκνωση των υδρατμών (πυρήνες συμπύκνωσης) και τη δημιουργία νεφών.
- Συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις και ανάλογα με τη χημική τους σύσταση μπορεί να είναι επικίνδυνα για τους ζωντανούς οργανισμούς.
- Επηρεάζουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσω των διαδικασιών της σκέδασης και της απορρόφησης.
- Σε μεγάλες συγκεντρώσεις μειώνουν σημαντικά την ορατότητα.

Επίσης, η ευαισθητοποίηση της επιστημονικής κοινότητας τόσο για τα επίπεδα διακύμανσης, όσο και για τη διαχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγάλη, λόγω του υποβιβασμού της ποιότητας της ατμόσφαιρας με επακόλουθο την πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο ετήσιος αριθμός των υπερβάσεων της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης των PM_{10} παραμένει πάνω από τις διεθνείς οριακές για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, όχι μόνο σε μεγαλουπόλεις όπως η Αθήνα (Chaloulakou et al. 2003, Grivas et al. 2004, Τριανταφύλλου κ. ά. 2006, Grivas et al. 2008, Λαρίσση κ. ά. 2009, Larissi et al. 2010, Nastos et al. 2013) και η Θεσσαλονίκη (Kelessis et al. 2002, Kalabokas et al. 2010), αλλά επίσης και σε μεσαίου μεγέθους πόλεις όπως η Κοζάνη (Triantafyllou et al. 2002, 2003, Τριανταφύλλου κ. ά. 2006) και ο Βόλος (Papanastasiou and Melas 2009, Proias et al. 2009a, 2009b, 2012). Σε σχετικές μελέτες (Λαρίσση κ. ά. 2009, Larissi et al. 2010) αναφέρεται ότι το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες οι ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} ξεπέρασαν την ημερήσια οριακή τιμή των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στους σταθμούς της ΕΠΑ κυμάνθηκε μεταξύ ενός ελάχιστου της τάξης του 9% (σε σταθμούς υποβάθρου) και ενός μέγιστου της τάξης του 57% (σταθμοί κυκλοφορίας).

Οι Grivas et al. (2008) αναφέρουν ότι οι περισσότεροι σταθμοί της ΕΠΑ υπερέβησαν κατά 9.6% του θεσμοθετημένου ορίου της Ε.Ε. στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2004. Το ποσοστό των υπερβάσεων κυμάνθηκε μεταξύ 23% σε αστικές περιοχές και 56% σε περιοχές με βιομηχανική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Κοζάνης (Τριανταφύλλου κ. ά. 2006). Δύο μελέτες για την πόλη του Βόλου καλύπτουν τις περιόδους 1/2001-12/2003 (Papanastasiou and Melas 2009) και 1/2001-12/2007 (Proias et al. 2009a) αναφέρουν υπερβάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 38% και 40%.

Στη μελέτη των Gerasopoulos et al. (2006) που πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} τη χρονική περίοδο 11/2000-9/2005, σε δύο περιοχές: στο Ηράκλειο (αστική περιοχή) και στην Φινοκαλιά (αγροτική περιοχή). Ένα από τα ευρήματα της έρευνας για το Ηράκλειο ήταν ότι παρατηρήθηκε μια αύξηση της τάξεως του 46% στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} το 2003-2004 (σε σύγκριση με το 2000-2002), η οποία αποδόθηκε στο θερμό κύμα που επηρέασε την Κεντρική Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα η ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) στο Ηράκλειο ξεπεράστηκε 1 στις 4 ημέρες το χειμώνα και την άνοιξη, ενώ ξεπεράστηκε 1 στις 8 ημέρες το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

Οι Katrangu et al. (2009) μελέτησαν τις μετρήσεις των PM_{10} στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και υπολόγισαν ένα μέσο όρο αστικής περιοχής της τάξης των $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ και ένα υπόβαθρο της τάξης των περίπου $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ για την πόλη. Τοπικές πηγές όπως η κυκλοφορία και η κεντρική θέρμανση εμφανίζουν εποχική μεταβολή με μέγιστα κατά τους χειμερινούς μήνες και συνεισφορές στα συνολικά επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{10} κατά περίπου $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ανάλυση των μοντέλων μεταφοράς τη Θεσσαλονίκη δείχνει ότι η πνοή βορειοανατολικών ανέμων είναι πολύ συχνή, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν στο φορτίο των αερολυμάτων της πόλης. Η πηγή αιωρούμενων σωματιδίων από τα ανατολικά θα μπορούσε να είναι είτε γεγονόςτα καύση βιομάζας, ή μεταφορά σκόνης από τις άνυδρες περιοχές γύρω από τις θαλάσσιες περιοχές της Αραλ και της Κασπίας και τη συμβολή των περιφερειακών μοντέλων μεταφοράς και τις τοπικές πηγές εκπομπών.

Μετρήσεις ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP) και αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) έχουν μετρηθεί σε διαφορετικά σημεία κατά τη διάρκεια της επταετούς περιόδου 1997-2003 σε ένα βιομηχανοποιημένο λεκανοπέδιο στη βορειοδυτική Ελλάδα πραγματοποίησαν οι Triantafyllou et al. (2006). Στην Κοζάνη, την πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της περιοχής, οι συγκεντρώσεις των TSP ήταν υψηλότερες από ότι τις άλλες

περιφερειακές πόλεις όπως στη Φλώρινα, την Καστοριά και τα Γρεβενά. Η χωρική μεταβολή των συγκεντρώσεων ήταν πιο σημαντική στο λεκανοπέδιο και τις πόλεις, σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Η χωρική διακύμανση των PM_{10} κυριαρχείται από ανθρωπογενή αστική ρύπανση στις πόλεις. Στις πόλεις, όπου παρατηρήθηκε η κυριαρχία της αστικής ρύπανσης που ως επί το πλείστον οφείλεται στην οδική κυκλοφορία, εξηγεί την απουσία της εποχικότητας στην κατανομή των PM_{10} . Ωστόσο, υπήρξε μια εμφανής εποχικότητα στα επεισόδια των PM_{10} κατά τη διάρκεια των ψυχρών περιόδων όπου οι μετεωρολογικές συνθήκες ευνοούν υψηλές συγκεντρώσεις σε αντίθεση με τη θερμή περίοδο όταν η απουσία της υγρής απόθεσης είναι προφανής.

Σε μελέτη των Maraziotis et al. (2008) βρέθηκε ότι περίπου το 36% των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των PM_{10} υπερέβησαν την ημερήσια οριακή τιμή των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην αστική περιοχή της Πάτρας στη διάρκεια χειμώνα-άνοιξης 2005-2006.

Στη μελέτη των Marcazzan et al. (2003) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συστηματικής καταγραφής, διάρκειας ενός έτους (1/2001-12/2001), των συγκεντρώσεων των PM_{10} και $PM_{2.5}$ δίνει μια γενική εικόνα της σωματιδιακής ρύπανσης στην αστική περιοχή του Μιλάνου και στην ευρύτερη περιβάλλουσα περιοχή. Η ετήσια μέση τιμή των PM_{10} είναι μεγαλύτερη από την ετήσια οριακή τιμή της Ε.Ε. Τέλος, οι καθημερινές υπερβάσεις συμβαίνουν συνήθως κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (ιδιαίτερα το Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο).

Στη μελέτη των Pey et al. (2009) μελετήθηκαν τα επίπεδα μεταβλητότητας των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του νησιωτικού προαστίου του Castillo de Bellver (Μαγιόρκα – Ισπανία) στη Δυτική λεκάνη της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του έτους 2004. Οι μέσες ετήσιες (2004) συγκεντρώσεις των PM_{10} και $PM_{2.5}$ σε αυτή την περιοχή ήταν $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Αυτά τα επίπεδα μπορούν να θεωρηθούν σχετικά χαμηλά, σε σύγκριση με άλλες προαστιακές νησιωτικές περιοχές στη Λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου, αλλά είναι υψηλότερες από εκείνες που είχαν καταγραφεί στις περισσότερες από τις ευρωπαϊκές προαστιακές θέσεις, κυρίως στη Βόρεια και τη Δυτική Ευρώπη. Η εποχική διακύμανση των επιπέδων αιωρούμενων σωματιδίων σε αυτή την περιοχή επηρεάζεται από τη μετεωρολογία και όχι οι τοπικές εκπομπές, ενώ οι ενδοημερήσιες τους μεταβολές καθορίζονται σαφώς από τις ανθρωπογενείς εκπομπές προέρχονται κυρίως από την αστική περιοχή της Πάλμα ντε Μαγιόρκα και την περιοχή του λιμανιού της ίδιας πόλης.

Τέλος, στη συγκεκριμένη Πτυχιακή Εργασία, από την επεξεργασία των συγκεντρώσεων των αναπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) τόσο στην

ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και στο κέντρο της πόλης του Βόλου, στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, 2001-2011, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες από την ετήσια οριακή τιμή ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) που έχει οριστεί για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, στο μεγαλύτερο μέρος των σταθμών καταγραφής του συγκεκριμένου ρύπου.
- Ο αριθμός ημερών που η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} ξεπέρασε την 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας ανά σταθμό, στις περισσότερες θέσεις συνεχούς καταγραφής του ρύπου. Η οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας είναι $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (μέση ημερήσια συγκέντρωση) και δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβασή της περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος.
- Τα αναπνεύσιμα σωματίδια (PM_{10}) είναι από τους ρύπους για τους οποίους σχετικά πρόσφατα τέθηκαν όρια σε επίπεδο Ε.Ε. (Κοινοτική Οδηγία 30/1999/ΕΚ), αποτελούν δε πρόβλημα για τα περισσότερα κράτη μέλη της Ε.Ε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βαρφή, Μ. (2009). Συνοπτική και δυναμική μελέτη των θερμών και ψυχρών εισβολών στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.
- Βασιλικιώτης, Γ.Σ. (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ΕΚ (2008) Οδηγία 2008/50/ΕΚ Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. 11/6/2008, σ. 1-44.
- Κόλλια, Π. (2012). Μελέτη σωματιδιακής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.
- Κουιμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ. Σαμαρρά-Κωνσταντίνου, Κ. (1998). Χημεία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Λαζαρίδης, Μ. (2005). Ατμοσφαιρική ρύπανση και στοιχεία Μετεωρολογίας. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Λαρίσση, Ι.Κ., Αντωνίου, Γ.Α., Αντωνίου, Α., Μουστρής, Κ.Π., Παλιατσός, Α.Γ. (2009). Διαχρονική εξέλιξη των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Πρακτικά 21ου Εθνικού Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών (ΕΕΕΕ), Αθήνα, 28-29 Μαΐου 2009, τομ. Β, 973-987.
- Μασσάρα, Β. (2011). Αιωρούμενα σωματίδια στην Ατμόσφαιρα της Πάτρας. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες. Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ., Σουλακέλλης, Ν. (2000). Ατμοσφαιρική Ρύπανση (Οδηγός εκπαιδευτικών - ΕΠΕΑΕΚ Υπόεργο 1.1.στ.1.γ2). Αθήνα, σελ. 53.
- Μηνά, Μ. (2011). Μετρήσεις Σωματιδιακών Κλασμάτων (PM10, PM2.5, PM1) σε εξωτερικούς και Εσωτερικούς Χώρους Αστικού Περιβάλλοντος. Εκτίμηση Έκθεσης υποομάδων πληθυσμού. Διπλωματική Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος.
- Παλιατσός, Α.Γ. (1999). Περιβαντολογία. Αθήνα.

- Παπαζάχου, Ν. (2012). Προσδιορισμός οργανικών και ανόργανων ανιόντων στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας και στην αποτιθέμενη σκόνη μνημείων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία στο Πλαίσιο του Π.Μ.Σ. στη Χημεία με έμφαση στη Χημεία Περιβάλλοντος. Τμήμα Χημείας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
- Τριανταφύλλου, Α.Γ., Παλιατσός, Α.Γ., Αντωνίου, Α., Βύρας, Λ.Γ. και Ευαγγελλόπουλος, Β. (2006). Συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων PM_{10} σε διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Πρακτικά 8ου Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, 24-26 Μαΐου 2006, τόμος Β, 193-200.
- Τσαμπούκου-Σκαναβή, Κ. (2004). Περιβάλλον και Επικοινωνία. Εκδόσεις Καλειδοσκόπειο.
- ΥΠΕΚΑ (2012). Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2011. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας
- Φλόκας, Α.Α. (1997). Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Διεθνής βιβλιογραφία

- Atkinson, R.W., Anderson, H.R., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini, M., Vonk, J.M., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsberg, B., Touloumi, G., Schwartz, J., Katsouyanni, K. (2001). Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach. Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 164, 1860-1866.
- Bartzokas, A., Kassomenos, P., Petrakis, M., Celessides, C. (2004). The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor and Built Environment*, 13, 271-275.
- Bell, M.L., Samet, J.M. and Dominici, F. (2004). Time-Series Studies of Particulate Matter. *Annu. Rev. Public Health*, 25, 247-280.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B. and Stern, A.C. (1994). *Fundamentals of air pollution*. Academic Press, New York.
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, Ph., Koutrakis, P. (2003). Measurements of PM_{10} and $PM_{2.5}$ particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 37, 649-660.
- Choi, H., Choi, D.S. (2008). Concentration of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 influenced by atmospheric circulation and atmospheric boundary layer in the Korean mountainous coast during dust storm. *Atmospheric Research*, 89(4), 330-337.

- Churg, A., Brauer, M. (2000) Ambient atmospheric particles in the airways of human lungs. *Ultrastructure Pathology*, 24, 353–361.
- Daly, A. and Zannetti, P. (2007). Air Pollution Modeling – An Overview. Chapter 2 of ambient air pollution (P. Zannetti, D. Al-Ajmi, and S. Al-Rashied, Eds.). Published by the Arab School for Science and Technology (ASST) (<http://www.arabschool.org.sy>) and The EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org/>).
- Dockery, D.W., Pope, A.C., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *N. Engl. J. Med.*, 329, 1753–1759.
- Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekoussis, M., Putaud, J.-P., Mihalopoulos, N. (2006). Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 40, 4679-4690.
- Glantz, S.A. (1993). Heart disease and the environment. *Journal of the American College of Cardiology*, 21, 1473-1474.
- Grigoropoulos, K.N., Nastos, P., Feredinos, G. (2009). Spatial distribution of PM₁ and PM₁₀ during Saharan dust episodes in Athens, Greece, *Advances in Science Research*, 3, 9-62.
- Grivas, G., Chaloukakou, A., Samara, C. and Spyrellis, N. (2004). Spatial and temporal variation of PM₁₀ mass concentrations within the greater area of Athens, Greece. *Water, Air, and Soil Pollution*, 158, 357–371.
- Grivas, G., Chaloulakou, A. and Kassomenos, P. (2008). An overview of the PM₁₀ pollution problem, in the Metropolitan Area of Athens. Assessment of controlling factors and potential impact of long range transport. *Science of the Total Environment*, 389, 165-177.
- EU (1999). Council Directive 99/30/EC of April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, OJ L 163 of 29/06/1999, p. 41-60.
- Jimoda, L.A. (2012). Effects of particulate matter on human health, the ecosystem, climate and materials: a review, *Working and Living Environmental Protection*, 9(1), 27- 44.
- Johnson, R. (2004). Relative effects of air pollution on lungs and heart. *Circulation*, 109, 5-7.
- Karandinos-Riga, A.N. and Saitanis, G.J. (2005). Comparative assessment of ambient air quality in two typical Mediterranean coastal cities in Greece. *Chemosphere*, 59(8), 1125-1136.
- Katsouyanni, K., Zmirou, D., Spix, C., Sunyer, J., Schouten, J.P., Pönkä, A., Anderson, H.R., Le Moulec, Y., Wojtyniak, B., Vigotti, M.A. et al. (1995). Short-term effects of air

- pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data. The APHEA project: background, objectives, design. *Eur Respir J*, 8(6), 1030-1038.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R. (1997). Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach. BMJ*, 314(7095), 1658-1663.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Petasakis, Y., Analitis, A., Le Tertre, A., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H.R., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C., Schwartz, J. (2003). Sensitivity analysis of various models of short-term effects of ambient particles on total mortality in 29 cities in APHEA2. In: Health Effects Institute. Revised Analyses of Time-Series of Air Pollution and Health. Special Report. Boston, MA.
- Kosmopoulos, P.G., Kaskaoutis, D.G., Nastos, P.T., Kambezidis, H.D. (2008). Seasonal variation of columnar aerosol optical properties over Athens, Greece, based on MODIS data. *Remote Sens. Environ.*, 112, 2354-2366.
- Larissi, I.K., Koukouletsos, K.V., Moustris, K.P., Antoniou, A. and Paliatsos, A.G. (2010). PM₁₀ concentration levels in the greater Athens area, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19, 2, 226-231.
- Marcazzan, G.M., Ceriani, M., Valli, G., Vecchi, R. (2003). Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in Milan (Italy) using receptor modelling *The Science of the Total Environment*, 317, 137-147.
- Mehta, M., Chen, L.C., Gordon, T., Rom, W., Tang, M.S. (2008). Particulate matter inhibits DNA repair and enhances mutagenesis. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 657(2), 116-121.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G. and Priftis, K.N. (2007a). Cross spectrum analysis between childhood asthma and ambient air pollutants, at Athens, Greece. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2007)*, Kos Island, Greece, 5-7 September 2007, vol. A, 1021-1028.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., Zachariadi-Xypolita, A., (2007b). Particulate Matter PM₁₀ and Childhood Asthma in Athens, Greece. *Book of Abstracts of the 14th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region with Focus on the Environment and Health*, October 10-14, 2007, Seville, Spain, 96-97
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N. (2008). Do the maxima of air pollutants coincide with the incidence of childhood asthma exacerbations in Athens, Greece? *Global NEST Journal*, 10(3), 453-460.

- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Anthracopoulos, M.B., Roma, E.S. and Priftis, K.N. (2010). Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: a time-series study. *Environmental Health*, 9:45 (doi: 10.1186/1476-069X-9-45).
- Nastos, P.T., Larissi, J.K., Grigoropoulos, K.N., Antoniou, A. and Paliatsos, A.G. (2013). Indoor and outdoor particulate matter variability in Athens, Greece. *Indoor and Built Environment*, 22, 3, 586-592.
- Nelin, T.D., Joseph, A.M., Gorr, M.W., Wold, L.E. (2012). Direct and Indirect Effects of PM on the Cardiovascular System. *Toxicology Letters*, 208(3), 293-299.
- Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., Ziomas, I.C., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Nikolaou-Panagiotou, A., Tapratzi-Potamianou, P., Zachariadi-Xypolita, A. Nicolaidou, P., Saxoni-Papageorgiou, P. (2006a). Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(7), 614-618.
- Paliatsos, A.G., Koronakis, P.S. and Kaldellis, J.K. (2006b). Effect of surface ozone exposure on vegetation in the rural area of Aliartos, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15(11), 1387-1393.
- Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzias, P., Paliatsos, A. (2004). Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, 94(2-3), 229-233.
- Papagiannis, A., Balis, D., Amiridis, V., Chourdakis, G., Tsaknakis, G., Zerefos, C., Castanho, A.D.A., Nickovic, S., Kazadzis, S., and Grabowski, J. (2005). Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2065-2079.
- Papaioannou, A.B., Viras, L.G, Nastos, P.T. and Paliatsos, A.G. (2010). An analysis of selected air pollutants in the city of Volos, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 485-494.
- Papamanolis, N. (2001). On the seasonal dependence of the air pollution in the city of Volos , Greece . *Fresenius Environmental Bulletin*, 10, 10, 749-754.
- Papanastasiou, D.K., Melas, D. (2009). Statistical characteristics of ozone and PM10 levels in a medium sized Mediterranean City. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3), 127-138.
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A. (2009). Variations of levels and composition of PM₁₀ and PM_{2.5} at an insular site in the Western Mediterranean. *Atmospheric Research*, 94, 285-299.

- Poloniecki, J.D., Atkinson, R.W., de Leon, A.P., Anderson, H.R. (1997). Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occupational Environmental Medicine*, 54(8), 535–540.
- Pope, C., Bates, D., Raizenne, M. (1995). Health Effects of Particulate Air Pollution: Time for Reassessment?, *Environmental Health Perspectives*, 103(5), 472-480.
- Pope, C.A. 3rd, Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of American Medical Association*, 287, 1132-1141.
- Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Anastasatos, D.G., Salsalos, S.C. (2002). Diagnosis of the relationship between dust storms over Sahara desert and dust deposit or coloured rain in the south Balkans', *Proceedings of the 6th Panhellenic Conference on Meteorology-Climatology and Atmospheric Physics*, 786-795.
- Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Koukouletsos, K.V. (2010). Diagnosis of the Relationship between Dust Storms over the Sahara Desert and Dust Deposit or Coloured Rain in the South Balkans. *Advances in Meteorology*, Volume 2010, Article ID 760546, 14 pages, (doi: 10.1155/2010/760546).
- Proias, G.T., Nastos, P.T., Larissi, I.K. and Paliatsos, A.G. (2009a). PM₁₀ concentrations related to Meteorology in Volos, Greece. *AIP Conference Proceedings*, vol. 1203, 7th International Conference of the Balkan Physical Union, edited by A. Angelopoulos and T. Fildisis, American Institute of Physics (ISBN 978-0-7354-0740-4), 1091-1096 (doi: 10.1063/1.3322316).
- Proias, G.T., Kaldellis, J.K., Paliatsos, A.G. (2009b). Statistical analysis of PM10 data in urban region of Volos, Greece. *Proceedings of and the 2nd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) & SECOTOX Conference, June 21-26, 2009, Mykonos Island, Greece, vol. III, 1241-1246* (A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis, P. Samaras (eds), ISBN 978-960-6865-09-1).
- Proias, G.T., Moustris, K.P., Larissi, J.K., Nastos, P.T., Paliatsos A.G. (2011). Temporal evolution of PM10 concentrations in the city of Volos, Greece. Presented in the MESAEP 16th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, Ioannina, Greece, September 24-27, 2011.
- Proias, G.T., Moustris, K.P., Larissi, I.K., Nastos, P.T. and Paliatsos, A.G. (2012). Ambient PM₁₀ concentrations and the impact of wind at an urban site in Central Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(7a), 1935-1941.
- Reid, S.J. (2000). *Ozone and Climate Change – A Beginner's Guide*. Gordon and Breach Science Publishers, The Netherlands.

- Rowe, R., Chestnu, L. (1981). Visibility Benefits Assessment Guidebook. Benefits Analysis Program Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency. North Carolina.
- Samet, J., Krewski, D. (2007) Health effects associates with exposure to ambient air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 70, 227-242.
- Samoli, E., Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Katsouyanni, K., Priftis, K.N. (2011). Acute effects of air pollution on paediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. *Environmental Research*, 111(3), 418-424.
- Schwartz, K., Koenig, J., Slater, D., Larson, T. (1993). Particulate air pollution and hospital emergency visits for asthma in Seattle. *American Review of Respiratory Disease*, 147(4), 826-831.
- Seaton, A, McNee, W., Donalson, K., Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176-178.
- Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd edition, J. Wiley, New York.
- Triantafyllou, A.G. (2001). PM10 pollution episodes as a function of synoptic climatology in a mountainous industrial area. *Environmental Pollution*, 112, 3, 491-500.
- Triantafyllou, A.G., Kiros, E.S., Evangelopoulos, V.G. (2002). Respirable particulate matter at an urban and nearby industrial location: Concentrations and variability and synoptic weather conditions during high pollution episodes. *Journal of the Air & Waste Management*, 52, 287-296.
- Triantafyllou, A.G., Kiratzis, N., Voutsinas, M., Kiros, H.S., Evangelopoulos, V. and Vatalis, C. (2003). Analysis of suspended particulate levels in an industrial area of Greece over a multi-year period. *Proceedings of 8th International Conference on Environmental Science and Technology*, 798-805.
- Triantafyllou, A.G., Zoras, S. and Evangelopoulos, V. (2006). Particulate matter over a seven year period in urban and rural areas within, proximal and far from mining and power station operations in Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 122, 41-60.
- Wang, J. (2007). Effects of spatial and temporal variations in aerosol properties on mean cloud albedo. *Journal of Geophysical Research*, 112, 1-2.
- Wang, H.T., Hu, Y., Tong, D., Huang, J., Gu, L., Wu, X.R., Chung, F.L., Li, G.M., Tang, M.S. (2012). Effect of carcinogenic acrolein on DNA repair and mutagenic susceptibility. *The Journal of Biological Chemistry*, 287(15), 12379-12386.
- White, M.C., Etzel, R.A., Wilcox, W.D. and Lloyd, C. (1994) Exacerbations in childhood asthma and ozone pollution in Atlanta. *Environmental Research*, 65, 56-68,

Ziomas, I.C., Zerefos, C.S., Bais, A.F., Proyou, A.G., Amanatidis, G.T., Kelessis, A.G. (1989). Significant increasing trends in surface ozone in Greece. Environmental Technology Letters, 10, 1071-1082

Ιστοσελίδες από το διαδίκτυο

<http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2010/10/VOCs.pdf>
http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2012/05/4-Particulatecontrol_2_1.pdf
<Http://blogs.sch.gr/sachinidi/files/2012/09/Sax1265.pdf>
<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%BA%CE%AD%CE%B4%CE%B1%CF%83%CE%B7>
http://en.wikipedia.org/wiki/Electrostatic_precipitator
<http://en.wikipedia.org/wiki/Particulates>
http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber
http://orise.orau.gov/emi/annual-meeting/2012/Presentations/SCAPA_Armstrong.pdf
<http://telstar.ote.cmu.edu/enviro/m3/s2/04solarad.shtml>
<http://www.misterwcms.com/importance-of-the-atmosphere.html>
<http://www.newagepublishers.com/samplechapter/001773.pdf>
http://www.airinfonow.org/pdf/Particulate_Matter.pdf
<http://www.bcairquality.ca/101/pollutants-intro.html>
<http://www.diffbtwn.com/2010/01/difference-between-organic-and.html>
<http://www.differencebetween.info/difference-between-atmosphere-and-environment>
<http://www.differencebetween.info/difference-between-environment-and-ecosystem>
<http://www.newagepublishers.com/samplechapter/001773.pdf>
http://www.du.ac.in/fileadmin/DU/Academics/course_material/SE_01.pdf
<http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=2C68B45C-1>
<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm>
<http://www.ehf.org.il/en/generalpage/exposure-particulate-matter-air-pollution-during-pregnancy-associated-increased-risk-aut-2011>
<http://www.environment.gen.tr/what-is-environment/669-environment.html>
<http://www.epa.gov/airnow/particle/pm-color.pdf>
<http://www.epa.gov/airscience/air-particulate-matter.htm>
<http://www.epa.gov/pm/basic.html>
<http://www.epa.gov/pm/health.html>
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf

http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf
<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/>
<http://www.greenfacts.org/en/particulate-matter-pm/level-2/01-presentation.htm#0>
<http://www.greenfacts.org/glossary/pqrs/primary-pollutant-secondary-pollutant.htm>
<http://www.learner.org/courses/envsci/unit/pdfs/unit2.pdf>
<http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopaideia/5034-atmos-composition>
<http://www.misterwcms.com/importance-of-the-atmosphere.html>
<http://www.physics.ntua.gr/~papayannis/Articles%20for%20tamex/PMs-TSI.pdf>
<http://www.pmengineering.gr/sakofiltra-filtra-skonis.html>
<http://www.vipapharm.com/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf