



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ
ΥΓΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΙΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστές: Γαβριήλ Τσάγγας (Α.Μ. 30862)

Ιωάννης Τσιλιβάρκος (Α.Μ. 36645)

Επιβλέπων Καθηγητής: Αθανάσιος Γ. Παλιατσός

©2013

Περιεχόμενα

	σελ.
Πρόλογος	2
Εισαγωγή	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	4
1.1 ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ	6
1.1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	6
1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	7
1.3 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι - Οι πηγές τους - Επιδράσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον	8
1.3.1 Βασικές Έννοιες	8
1.3.2 Πηγές αερίων ρύπων	9
1.3.3 Φυσικές πηγές	9
1.3.4 Ανθρωπογενείς πηγές	10
1.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι	12
1.5 Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης	17
1.5.1 Επιπτώσεις στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου	17
1.5.2 Επιπτώσεις στα ζώα	20
1.5.3 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά	21
1.5.4 Επιπτώσεις στα υλικά	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	26
2.2 Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	29
2.3 Περιγραφή της θέσης του σταθμού καταγραφής δεδομένων	31
2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	32
2.4.1 Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	33
2.4.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	35
2.4.3 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)	37
2.4.4 Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	39
2.4.5 Επιφανειακό Όζον (O ₃)	42
2.4.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀)	44
Συμπεράσματα	48
Βιβλιογραφία	51

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Καθώς τίποτε δεν παραμένει για πολύ αμετάβλητο, έτσι και η ατμόσφαιρα της Γης εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Οι χημικές και βιολογικές επιδράσεις που διαμόρφωσαν τη σύστασή της συνεχίζουν να δρουν ενώ προστίθενται συνεχώς μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων από τη δράση των ηφαιστειών και των θερμικών πηγών. Το νέο στοιχείο είναι ότι ο άνθρωπος της βιομηχανικής εποχής έγινε και ο ίδιος παράγοντας με μεγάλη συμμετοχή στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τοπικά περιορισμένο πρόβλημα, που ήταν μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, τις τελευταίες δεκαετίες έγινε ευρύτερα σοβαρό, με τάση να καταστεί παγκόσμιο πρόβλημα.

Γενικά η δυσμενής επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σχετίζεται με την υγεία των έμβιων όντων, τη διατήρηση της καλής κατάστασης των φυτών, των υλικών και των μνημείων και γενικότερα με την αισθητική και την υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Από σχετικές μελέτες έχει αποδειχθεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προσβάλλει, κατά κύριο λόγο, το αναπνευστικό σύστημα, αλλά και άλλα ζωτικά όργανα (π.χ. την καρδιά) άμεσα ή έμμεσα (Katsouyianni et al. 1988, Glantz 1993, Seaton et al. 1995, Pope et al. 2002, Panagiotakos et al. 2004, Bartzokas et al. 2004). Γενικά, έχει γίνει αποδεκτό ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επιβαρύνει κυρίως και επιδεινώνει προϋπάρχουσες νοσηρές καταστάσεις (βρογχίτιδα, άσθμα κ.λπ.) και δρα λιγότερο σαν πρωτογενής αιτιολογικός παράγοντας (Paliatsos et al. 2006a, Nastos et al. 2007a, 2007b, 2008, 2010, Samoli et al. 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ατμόσφαιρα είναι το αέριο περίβλημα της Γης που έχει μέσο πάχος 100km και συγκρατείται με τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι η πηγή του οξυγόνου (O_2) που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων, του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που είναι απαραίτητο για την λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και του αζώτου (N_2) το οποίο με την επίδραση βακτηριδίων ή με την τεχνολογία του ανθρώπου δίνει κατάλληλες ενώσεις του αζώτου που είναι απαραίτητες για τη ζωή. Επίσης, η ατμόσφαιρα είναι ο αποδέκτης των τεραστίων ποσοτήτων χημικών ουσιών που εκλύονται από τη Γη, τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να χαρακτηριστεί σαν προστατευτικός μανδύας της Γης διότι, αφενός μεν χρησιμεύει σαν χώρος ψύξης του κύκλου του ύδατος της Γης συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς που προέρχονται από την εξάτμιση των θαλάσσιων υδάτων και αποδίδοντας τους ξανά σαν νερό στη Γη. Αφετέρου δε, απορροφώντας ορισμένες περιοχές του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, προστατεύει τη ζωή στη Γη. Τέλος, λόγω της απορρόφησης της ενέργειας που εκπέμπει η Γη με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, δρα σαν ρυθμιστικός παράγοντας της θερμοότητας για τη Γη.

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 δυο 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.

Τα συστατικά της ομοιόσφαιρας κατατάσσονται σε τρία επίπεδα συγκέντρωσης: στα κύρια συστατικά με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1%, τα δευτερεύοντα συστατικά με συγκεντρώσεις από 0.01% μέχρι 1% και τα ιχνοσυστατικά με συγκεντρώσεις μικρότερες του 0.01%.

Στην ετερόσφαιρα 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, στρατόσφαιρα, τη μεσόσφαιρα και τη βάση της θερμοκρασίας. 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:

Πίνακας1. Μέση σύσταση της Γήινης ατμόσφαιρας από το έδαφος μέχρι και το ύψος των 100km.

Αέριο	Όγκος(%) ξηρού αέρα
Άζωτο (N ₂)	78.08
Οξυγόνο (O ₂)	20.95
Αργό (Ar)	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0.03
Νέο (Ne)	0.0018
Ήλιο (He)	0.0005
Κρύπτο (Kr)	0.0001
Υδρογόνο (H ₂)	0.0005
Όζον (O ₂)	0.00006
Υδρατμοί (H ₂ O)	0-0.04

Τροπόσφαιρα: είναι η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος 12±4km, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την περιοχή 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°C/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(O₃) και αυτή η διεργασία αποτελεί τη βασική πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας.

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.

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:

Πίνακας1. Μέση σύσταση της Γήινης ατμόσφαιρας από το έδαφος μέχρι και το ύψος των 100km.

Αέριο	Όγκος(%) ξηρού αέρα
Άζωτο (N ₂)	78.08
Οξυγόνο (O ₂)	20.95
Αργό (Ar)	0.93
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0.03
Νέο (Ne)	0.0018
Ήλιο (He)	0.0005
Κρύπτο (Kr)	0.0001
Υδρογόνο (H ₂)	0.0005
Όζον (O ₃)	0.00006
Υδρατμοί (H ₂ O)	0-0.04

Τροπόσφαιρα: είναι η κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας και εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος 12±4km, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την περιοχή 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°C/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(O₃) και αυτή η διεργασία αποτελεί τη βασική πηγή θέρμανσης της στρατόσφαιρας.

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 απάνω 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 φτάνει στους 1000°K στο ανώτερο όριο της περιοχής αυτής. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους 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.

1.1 ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥΣ

1.1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων δηλαδή κάθε είδους ουσιών, σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα.

Όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει επικρατήσει στην καθομιλουμένη να λέγεται ότι έχουμε «Νέφος». Αντίστοιχα, στην Αγγλική γλώσσα μιλάμε για SMOG (αιθαλομίχλη). Η λέξη είναι σύνθετη και προέρχεται από τις λέξεις SMOke (αιθάλη) και foG (ομίχλη). Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων υλών, ειδικά κάρβουνου, σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα βασικά συστατικά της βιομηχανικής αιθαλομίχλης είναι τα οξειδία του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία και συχνά ονομάζεται και νέφος αιθαλομίχλης. Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές πόλεις προκαλείται από εκπομπές οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας την φωτοχημική αιθαλομίχλη. Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα.

1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

• Πριν από την βιομηχανική επανάσταση

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της εποχής μας. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές να ζούσαν ως νομάδες, ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από τη δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα ρυπαίνοντας τον αέρα, στις περιοχές που κατοικούσαν, με προϊόντα ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης.

Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μ.Χ στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη που είναι η εξής: «Μόλις έφυγα μακριά από τον πνιγερό αέρα της Ρώμης και από τη βρωμιά των καπνοδόχων που κάπνιζαν, διαχέοντας ολόγυρα θανατηφόρα αέρια και αιθάλη, ένιωσα να αλλάζει η διάθεσή μου».

Το έτος 1157, η σύζυγος του βασιλιά Ερρίκου του 2^{ου} της Αγγλίας, Ελεονώρα, μετακόμισε από το Tutbury Castle του Nottingham, γιατί θεώρησε ανυπόφορη τη ρύπανση του αέρα εξ αιτίας της καύσης των ξύλων. Άλλες αναφορές από το Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιούργησε η καύση του κάρβουνου, με αποτέλεσμα, ο βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου σε ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Μαρτυρίες αναφέρουν ότι ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου.

Οι κυριότερες αιτίες που συνδέονταν με την ατμοσφαιρική ρύπανση τους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιεία και η διατήρηση κτηνοτροφικών προϊόντων.

• Η βιομηχανική επανάσταση

Η βιομηχανική επανάσταση, το 19^ο αιώνα, οδήγησε στην εντατική χρήση κυρίως του άνθρακα και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, την κίνηση ατμομηχανών και πλοίων, καθώς και τη λειτουργία των συστημάτων οικιακής θέρμανσης, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την

αιθάλη. Το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέβη το 1875 στο Λονδίνο, όπου σημειώθηκαν αρκετοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων.

- **Εικοστός αιώνας**

Παρόλο, λοιπόν, που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό προνόμιο της σύγχρονης εποχής, μια σειρά από μεγάλα επεισόδια τις τελευταίες δεκαετίες μας υπενθύμισαν το μέγεθος του προβλήματος και την ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η αιθαλομίχλη, το 1909, στη Γλασκόβη και το Εδιμβούργο θεωρήθηκε η κύρια αιτία για 1000 περίπου θανάτους ανθρώπων. Το 1930, πάλι σε επεισόδιο αιθαλομίχλης, στη βιομηχανική περιοχή της κοιλάδας του Meuse στο Βέλγιο αρρώστησαν εκατοντάδες άτομα, κατά τη διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και καταγράφηκαν 6000 ασθενείς, γεγονότα που συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση της περιοχής. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόνο 14000 κάτοικοι. Το μεγαλύτερο όμως επεισόδιο αιθαλομίχλης συνέβη στο Λονδίνο το 1952 όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν 4000 «πλεονάζοντες» θάνατοι οι οποίοι αποδόθηκαν στο επεισόδιο. Σε χώρες όπως το Ηνωμένο βασίλειο και οι ΗΠΑ, τα έτη 1956 και 1955 αντίστοιχα, αναλαμβάνεται δράση για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης και αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.

Όταν ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο και λόγω των αυξημένων αναγκών, το πρόβλημα της ρύπανσης έγινε οξύτερο καθώς και ένας άλλος τύπος ρύπανσης, η φωτοχημική, έκανε την εμφάνισή του, αρχικά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1940.

1.3 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι - Οι πηγές τους - Επιδράσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον

1.3.1 Βασικές Έννοιες

Για να εκφράσουμε τα επίπεδα ρύπανσης χρησιμοποιούμε συνήθως δύο μονάδες συγκέντρωσης, είτε τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$, είτε τα μέρη ανά εκατομμύριο όγκου ή απλά τα μέρη ανά εκατομμύριο (πολλές φορές δανειζόμαστε από την αγγλική βιβλιογραφία την σύντμηση ppmv

= parts per million by volume ή απλά ppm). Συγκέντρωση 1 ppm σημαίνει ότι αντιστοιχεί μία μονάδα όγκου του ρύπου σε κάθε 10^6 μονάδες όγκου αέρα. Παρόλο που η συγκέντρωση είναι ίση με 1ppm ακούγεται μικρή, για πολλούς αέριους ρύπους υπερβαίνει κατά πολύ τις συνηθισμένες τιμές που συναντώνται στην ατμόσφαιρα. Γι' αυτό το λόγο σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις ενός ρύπου μετρώνται σε μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου (ή ppb). Οι συγκεντρώσεις των σωματιδιακών ρύπων, αλλά και των αέριων ρύπων μετρώνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.3.2 Πηγές αερίων ρύπων

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αερίων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρόλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς πηγές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές, από μόνες τους, δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

1.3.3 Φυσικές πηγές

Η χλωρίδα της Γης αποτελεί τη μεγαλύτερη φυσική πηγή εκπομπής αερίων ρύπων. Τα δέντρα και τα φυτά, παρά τη συμβολή τους στη μετατροπή, μέσω της φωτοσύνθεσης, του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας σε οξυγόνο, αποτελούν τα ίδια τη μεγαλύτερη πηγή υδρογονανθράκων του πλανήτη.

Οι ωκεανοί αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη φυσική πηγή ρύπων. Η δράση των βενθικών και φυτοπλακτονικών οργανισμών οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θειούχων ενώσεων. Επιπλέον, η μηχανική δράση των κυμάτων προκαλεί τη διάβρωση των πετρωμάτων και την παραγωγή σωματιδίων με μέγεθος ικανό ώστε να είναι δυνατή η

αιώρησή τους στην ατμόσφαιρα. Τέλος, ο άνεμος συμπαρασύρει υδροσταγονίδια που περιέχουν άλατα αποτελώντας, έτσι, συνεχή πηγή ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (αεροζόλ).

Ατμοσφαιρικά αιωρήματα δημιουργούνται ωστόσο και από την επίδραση του ανέμου στο έδαφος και τα στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνειά του. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατό να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τα θεσπισμένα όρια προστασίας της ανθρώπινης υγείας. Αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων αποτελεί η μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας, όπως κατά τη διάρκεια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα (Prezerakos et al. 2002, 2010, Larissi et al. 2009).

Μια άλλη σημαντική πηγή φυσικών ρύπων αποτελεί και η καύση της βιομάζας. Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στις εκτεταμένες πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα σε δάση και λειβαδικές εκτάσεις και που δεν οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τέτοιες πυρκαγιές συναντάμε συχνά κατά τις θερινές περιόδους του έτους, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που σημειώνονται.

Τέλος, μιλώντας για φυσικές πηγές, δε θα μπορούσαμε να παραλείψουμε τα ηφαίστεια. Η έκρηξη ενός ηφαιστείου παράγει μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων αλλά και αερίων όπως διοξείδιο του θείου, το μεθάνιο και το υδρόθειο. Τα σύννεφα που σχηματίζονται από τα σωματίδια και τα αέρια εκτοξεύονται σε μεγάλο ύψος και μπορεί να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι εκπομπές σωματιδίων από την πρόσφατη έκρηξη του Pinatubo είχε σαν αποτέλεσμα να καταγραφεί ελαφρά μείωση στη θερμοκρασία του πλανήτη (μείωση κατά 0.5°C).

1.3.4 Ανθρωπογενείς πηγές

Τρεις είναι οι κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης: η βιομηχανική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου και του τομέα παραγωγής ενέργειας), οι μεταφορές και η λειτουργία συστημάτων κεντρικής θέρμανσης.

- **Βιομηχανική δραστηριότητα**

Η λειτουργία της βιομηχανίας αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή αερίων ρύπων καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται οδηγούν στην παραγωγή εξίσου

μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου. Επίσης, είναι η κυριότερη πηγή βαρέων μετάλλων σε ποσοστό που πλησιάζει το 100%.

Στην Ελλάδα είναι χαρακτηριστική η υπερσυγκέντρωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην ευρύτερη περιοχή των μεγάλων αστικών κέντρων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Ωστόσο, ειδικά για την Αθήνα, η συμμετοχή της στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη είναι μικρής κλίμακας. Η χωροθέτηση της σε σχέση με το αστικό συγκρότημα σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη συχνή μεταφορά ρύπων προς το κέντρο της πόλης.

• Τομέας μεταφορών

Μέσα στην πληθώρα των ρυπογόνων δραστηριοτήτων μια σύγχρονης πόλης, η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου αποτελεί τη σημαντικότερη συνεισφορά του πολίτη στη ρύπανση μια περιοχής. Παρά τη μικρή, σχετικά, συνεισφορά κάθε μεμονωμένου αυτοκινήτου, η ρύπανση από το μεγάλο αριθμό τους λειτουργεί αθροιστικά και αποτελεί τη μεγαλύτερη απειλή για την ποιότητα του αέρα στις μεγαλουπόλεις.

Η ισχύς που είναι απαραίτητη για την κίνηση του αυτοκινήτου προέρχεται από την καύση του καυσίμου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Η ρύπανση προέρχεται τόσο από τα προϊόντα της καύσης (τυπικά από την εξάτμιση του αυτοκινήτου), όσο και από την εξάτμιση του καυσίμου. Η βενζίνη και το ντίζελ είναι μείγματα υδρογονανθράκων, ενώσεις που περιέχουν άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Κατά τη διάρκεια της καύσης σε μια τέλεια μηχανή, το οξυγόνο του αέρα θα μετατρέψει το υδρογόνο σε νερό και τον άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα. Το άζωτο του αέρα δεν θα επηρεαζόταν. Σε πραγματικές συνθήκες όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Η καύση στη μηχανή του αυτοκινήτου δεν είναι τέλεια με αποτέλεσμα να εκπέμπονται ρύποι από την εξάτμιση του αυτοκινήτου (κυρίως υδρογονάνθρακες και δευτερευόντως μονοξείδιο του άνθρακα). Επιπρόσθετα, λόγω των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στη μηχανή το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα αντιδρούν σχηματίζοντας οξειδία του αζώτου.

Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι η καύση στις μηχανές που λειτουργούν με καύσιμο το πετρέλαιο είναι πιο πλήρης από ότι στους βενζινοκινητήρες οπότε και οι εκπομπές υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα είναι μικρότερες. Αντίθετα, οι κινητήρες αυτοί έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στην εκπομπή σωματιδίων και εκπομπών. Εκτός των προϊόντων της καύσης, σημαντικές εκπομπές ρύπων προέρχονται και από την εξάτμιση υδρογονανθράκων. Λαμβάνοντας μάλιστα υπόψη την πρόοδο που έχει γίνει στην μείωση των εκπομπών από την

εξάτμιση του αυτοκινήτου, η απώλεια υδρογονανθράκων λόγω εξάτμισης είναι υπεύθυνες για την πλειονότητα των εκπομπών αυτών των ρύπων στην ατμόσφαιρα, ειδικότερα κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλή θερμοκρασία.

- **Κεντρική θέρμανση**

Η συνεισφορά της λειτουργίας των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καθαρά εποχικό χαρακτήρα και έγκειται στην παραγωγή καπνού, διοξειδίου του θείου, σε μικρότερο δε ποσοστό, οξειδίων του αζώτου. Αν και οι ρύποι, που παράγονται σε ετήσια βάση από τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, αποτελούν ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με την παραγωγή των ίδιων ρύπων από τις άλλες δυο πηγές, το διοξείδιο του θείου αποτελεί, στις αστικές περιοχές, ρύπο- δείκτη για τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Ακόμη, σημαντικό στοιχείο είναι οι πολύ χαμηλές καμινάδες, που χρησιμοποιούνται, οι οποίες αδυνατούν να διασπείρουν τους ρύπους στην ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σε πολλές περιπτώσεις αυξημένα τοπικά προβλήματα. Το πρόβλημα πάντως δείχνει μια σταθερή πορεία βελτίωσης λόγω της χρήσης καυσίμων καλύτερης ποιότητας (κυρίως χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο) αλλά και της επέκτασης της τηλεθέρμανσης (η οποία στην χώρα μας λειτουργεί ακόμα πιλοτικά).

Οι αιχμές, στις τιμές των ρύπων, που εκλύονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης, παρουσιάζονται τις πρώτες πρωινές και τις πρώτες βραδινές ώρες. Αν κατά τις ώρες της μέγιστης παραγωγής επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες (πχ άπνοια και θερμοκρασιακή αναστροφή), τότε προκαλείται συσσώρευση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του θείου και οδηγούμαστε στο σχηματισμό καπνομίχλης.

1.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- **Διοξείδιο του θείου (SO₂)**

Το διοξείδιο του θείου ανήκει στην οικογένεια των σουλφιδίων, που είναι αέρια των οποίων κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι είναι διαλυτά στο νερό. Τα θεία είναι συστατικό όλων των ακατέργαστων ορυκτών και του αργού πετρελαίου. Κατά την επεξεργασία των παραπάνω

παράγονται τα σουλφίδια. Έτσι, εντοπίζονται κατά την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο κατά τη διαδικασία εξαγωγής άνθρακα από τα ορυκτά, κατά την εξαγωγή βενζίνης από το πετρέλαιο καθώς και κατά την καύση καυσίμου σε διάφορα μηχανοκίνητα. Στην ατμόσφαιρα το διοξείδιο του θείου αντιδρά και σχηματίζει σουλφίδια και διάφορα παράγωγα επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Εξ αιτίας της διαλυτότητάς του στο νερό, σε συνδυασμό με την υγρασία της ατμόσφαιρας παράγει τοξικά προϊόντα.

Οι επιπτώσεις του διοξειδίου του θείου και γενικότερα των σουλφιδίων είναι παρόμοιες με τις επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου. Δημιουργεί άμεσα αναπνευστικά προβλήματα στον πληθυσμό τις ημέρες που η συγκέντρωση του βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, συνεισφέρει δε στη δημιουργία όξινης βροχής. Το διοξείδιο του θείου μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του ανέμου και εναποτίθεται σε περιοχές μακριά από την εστία παραγωγής του.

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα οξείδια του άνθρακα και παράγεται από τη μερική καύση του άνθρακα. Είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Είναι το κύριο συστατικό των εξατμίσεων των μηχανών των βενζινοκινητήρων οχημάτων και πάσης φύσεως μηχανών, όταν συντελείται ατελής καύση της καύσιμης ύλης. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε τα υψηλότερα επίπεδα του παρατηρούνται τις ώρες αιχμής του κυκλοφορικού φόρτου. Άλλες πηγές παραγωγής CO είναι οι βιομηχανίες (μεταλλουργεία, χημικές), οι πυρκαγιές των δασών, ο καπνός του τσιγάρου κ.λπ. Σε εσωτερικούς χώρους οι υπεύθυνες πηγές παραγωγής του είναι κάποια από τα θερμαντικά σώματα. Τα επίπεδα του CO στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία αφού οι υψηλότερες τιμές του παρατηρούνται συνήθως τους μήνες του χειμώνα. Αυτό εξηγείται από τη δημιουργία στρώματος θερμού αέρα κάτω από το οποίο παγιδεύονται οι ρύποι σε μικρό ύψος από το έδαφος (φαινόμενο θερμοκρασιακής αναστροφής). Οι επιπτώσεις του για τη δημόσια υγεία είναι άμεσες. Σε υψηλά επίπεδα είναι δηλητηριώδες αφού επηρεάζει άμεσα το κεντρικό νευρικό σύστημα. Ιδιαίτερα επίσης επηρεάζει ανθρώπους με καρδιακά προβλήματα.

- **Οξείδια του αζώτου (NO_x)**

Με το γενικό όρο οξείδια του αζώτου ονομάζονται γενικά οι ενώσεις του αζώτου με το οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Οι κυριότερες και συνηθέστερες από τις ενώσεις αυτές είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Το NO είναι άχρωμο και άοσμο αέριο, ενώ το NO₂ είναι αέριο ερυθροκαστανού χρώματος και έχει διαπεραστική οσμή.

Ωστόσο το οξειδίο του αζώτου σε συνδυασμό και με τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης της ατμόσφαιρας διακρίνεται ως ένα κόκκινο-καφέ στρώμα πάνω από πολλές αστικές περιοχές.

Παράγονται κατά την ανάφλεξη των καυσίμων, δηλαδή κατά την καύση τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια πηγές έκλυσης οξειδίων του αζώτου είναι κυρίως τα αυτοκίνητα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότεροι οι βιομηχανίες. Ευθύνονται για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και με έμμεσους τρόπους αφού όλα τα οξειδία του αζώτου είναι αέρια πολύ δραστικά και κάνουν εύκολα αντιδράσεις μέσα στην ατμόσφαιρα επηρεάζοντας τη χημεία της και κατά συνέπεια τη σύστασή της με τη δευτερογενή δημιουργία νέων ρύπων. Συνεισφέρουν έτσι στη δημιουργία του όζοντος, διαφόρων τοξικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, στη δημιουργία όξινης βροχής με όλες τις συνέπειες στον υδροφόρο ορίζοντα, στη βλάστηση της περιοχής στην απόδοση της φυτικής παραγωγής καθώς στις μεταλλικές κατασκευές και την πολιτιστική κληρονομία. Τέλος, τα οξειδία του αζώτου ευθύνονται ως μία από τις βασικές συνιστώσες της δημιουργίας της φωτοχημικής αιθαλομίχλης. Κύριο χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου και των παραγώγων τους ρύπων είναι ότι μεταφέρονται ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις ακολουθώντας την πορεία του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή, γεγονός που προκαλεί τις δυσμενείς επιπτώσεις τους να εμφανίζονται σε ευρύτερες περιοχές από την εστία παραγωγής τους. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω οι επιπτώσεις των οξειδίων του αζώτου στην ποιότητα της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια στη δημόσια υγεία είναι πολλαπλές. Ειδικά το διοξειδίο του αζώτου προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα.

• **Επιφανειακό όζον (O₃)**

Με τον όρο όζον ορίζουμε το τριατομικό οξυγόνο, αέριο που κατά κύριο λόγο εκλύεται στην ατμόσφαιρα ως παράγωγο χημικών αντιδράσεων μέσα στην ίδια την ατμόσφαιρα και όχι ως παράγωγο διάφορων πηγών ρύπανσης όπως οι προαναφερθέντες ρύποι. Παράγεται με την αντίδραση οξειδίων του αζώτου με οργανικές ασταθείς ενώσεις σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και έντονης ηλιοφάνειας. Οι οργανικές ενώσεις παράγονται από τις ίδιες πηγές παραγωγής των οξειδίων του αζώτου. Έτσι εκλύονται κυρίως από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, τις καμινάδες των βιομηχανιών και από το κύκλωμα διακίνησης υγρών καυσίμων. Επειδή η χημική αντίδραση για την παραγωγή όζοντος προϋποθέτει υψηλή θερμοκρασία και έντονη ηλιοφάνεια ακόμα η παραγωγή του όζοντος έχει έντονα το χαρακτήρα εποχικού φαινομένου. Έτσι κατά την θερμή περίοδο του έτους παρατηρούνται τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσής του. Οι επιπτώσεις του στη δημόσια υγεία και στα οικοσυστήματα είναι πολύ σοβαρές. Η χρόνια έκθεση ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα μπορεί

να δημιουργήσει παθήσεις των πνευμόνων. Το όζον και οι χημικές ενώσεις από τις οποίες προέρχεται μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις με τον άνεμο επεκτείνοντας το πρόβλημα και σε άλλες περιοχές.

- **Αιωρούμενα σωματίδια (PM)**

Ο όρος αιωρούμενο σωματίδιο (particulate matter-PM) περιγράφει τα διάφορα σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει σωματίδια τόσο διαφορετικής αεροδυναμικής διαμέτρου ώστε άλλα είναι ορατά με γυμνό μάτι ενώ άλλα ανιχνεύονται από σχετικούς καταγραφείς όσο και σωματίδια διαφορετικής σύστασης όπως σκόνη, καπνό, σταγονίδια κ.λπ. Εκλύονται στην ατμόσφαιρα είτε άμεσα, είτε ως αποτέλεσμα χημικών διεργασιών μέσα σε αυτή. Άμεσα παράγονται από την κυκλοφορία οχημάτων, τη λειτουργία εργοστάσια, τα κτίρια υπό κατασκευή, τους μη ασφαλισμένους δρόμους, την καύση του ξύλου. Έμμεσα παράγονται μέσα στην ατμόσφαιρα υπό τις κατάλληλες συνθήκες από τις εξατμίσεις αυτοκινήτων, των εργοστασίων κ.λπ. Οι εξατμίσεις αντιδρούν παρουσία της υγρασίας της ατμόσφαιρας, της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και χημικών ενώσεων που παίζουν το ρόλο διαλύτη παράγοντας σωματίδια που αιωρούνται και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στην ισορροπία του φυσικού περιβάλλοντος είναι σημαντικές. Συνδέονται, όπως αναφέρεται σε σχετικές μελέτες με ασθένειες των πνευμόνων όπως άσθμα, χρόνια βρογχίτιδα, πνευμονικές δυσλειτουργίες (Nastos et al. 2007a, 2007b, 2008, Paliatsos et al. 2006). Μειώνουν την ορατότητα και προκαλούν ζημιές στο φυσικό και αστικό περιβάλλον (Prezerakos et al. 2002, 2010, Larissi et al. 2009). Έτσι προκαλούν τοξικότητα σε ποτάμια και λίμνες, διαταράσσουν την ισορροπία σε παράκτια ύδατα και γενικά σε κάθε ευαίσθητο οικοσύστημα. Η αιθάλη που θεωρείται μία κατηγορία αιωρούμενων σωματιδίων ευθύνεται για την καταστροφή μνημείων και αρχαιοτήτων αφού καταστρέφει και λεκιάζει υλικά- όπως το μάρμαρο από το οποίο είναι φτιαγμένα τα μνημεία.

- **Βενζόλιο (C₆H₆)**

Το βενζόλιο ή βενζένιο είναι το απλούστερο και σπουδαιότερο μέλος της οικογένειας των αρενίων. Η εκπομπή του βενζολίου από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της αυξημένης περιεκτικότητας του στην αμόλυβδη βενζίνη σε σύγκριση με τη μολυβδόχυα (απλή και super) και της καρκινογόνου δράσης του. Τα επίπεδα συγκέντρωσης του βενζολίου στα καυσαέρια συνδέονται με την περιεκτικότητα του στην βενζίνη. Επίσης, η συγκέντρωση του, σε μικρότερο όμως βαθμό,

εξαρτάται από την περιεκτικότητα της βενζίνης σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες υψηλότερου μοριακού βάρους.

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή του στυρενίου, της φαινόλης, του κυκλοεξανίου, της ανιλίνης, διάφορων αλκυλοβενζολίων και χλωροβενζολίων και του μηλεϊνικού ανυδρίτη. Αυτές οι ενώσεις στη συνέχεια εφοδιάζουν ένα μεγάλο αριθμό χημικών βιομηχανιών για την παραγωγή φαρμακευτικών προϊόντων, ειδικών χημικών, πλαστικών, ρητινών, χρωμάτων και εντομοκτόνων. Το βενζόλιο είναι μια ιδιαίτερα τοξική χημική ένωση. Όταν εισπνέεται σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει ζάλη, ταχυκαρδία, πονοκεφάλους, σύγχυση και αναισθησία, ακόμα και θάνατο. Επίσης όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα τρόφιμα μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό, ζάλη, ταχυκαρδία, τάση για εμετό, σπασμούς και το θάνατο. Μακροχρόνια έκθεση σε βενζόλιο έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και κυρίως στο αίμα. Καταστρέφει το μυελό των οστών και μπορεί να προκαλέσει την εμφάνιση αναιμίας. Επίσης μπορεί να προκαλέσει υπερβολική αιμορραγία και να μειώσει την ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος αυξάνοντας τις πιθανότητες μόλυνσης.

• Υδρογονάνθρακες

Μια άλλη κατηγορία ενώσεων, με σημαντική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, είναι οι υδρογονάνθρακες. Με τη συνδρομή τους σχηματίζονται, δευτερογενώς, επιφανειακό όζον, φορμαλδεΰδη και διάφορα φωτοχημικά οξειδωτικά.

Από το σύνολο των αέριων υδρογονανθράκων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα το 85% είναι μεθάνιο (CH_4) που προέρχεται, κυρίως, από την αναερόβια μικροβιακή αποικοδόμηση οργανικής ύλης στα νερά και στο έδαφος. Κύρια πηγή υδρογονανθράκων είναι η γλωρίδα και κυρίως τα δέντρα, ενώ μόνο το 15% των εκπομπών προέρχεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μόνο το 1/7 των συνολικών υδρογονανθράκων τις ατμόσφαιρας προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Κουιμτζής κ.ά. 1998). Το μεγαλύτερο ποσοστό πηγάει από την καύση ορυκτών καυσίμων και από τις διαφεύγουσες εκπομπές μηχανών εσωτερικής καύσης και από διυλιστήρια πετρελαίου. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα κύρια πηγή τους είναι οι κεντρικές θερμάνσεις και η βιομηχανία ενώ το καλοκαίρι (λόγω αυξημένων εξατμίσεων) το μεγαλύτερο ποσοστό τους προέρχεται από τα αυτοκίνητα.

1.5 Επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

1.5.1 Επιπτώσεις στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, πως προκαλείται, αν υπάρχουν τρόποι να αντιμετωπιστεί και ποιες είναι οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στην σημερινή εποχή, η ατμοσφαιρική ρύπανση αναγνωρίζεται σαν ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, με αποτέλεσμα η Ευρωπαϊκή Ένωση και όλες οι ανεπτυγμένες 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 της ατμόσφαιρας (Glantz 1993). Λευχαιμία διαφόρων τύπων, καρκίνοι, καρδιαγγειακά νοσήματα, ηπατικές βλάβες, αναιμία, δηλητηριάσεις και έξαρση του άσθματος είναι οι σημαντικότερες ασθένειες της σύγχρονης εποχής που σχετίζονται με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας (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 αύξησης της θνησιμότητας. Αρκετές ομάδες πληθυσμού είναι πιο ευάλωτες στην 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 απ' ότι θεωρείται, ακόμα και πριν γεννηθούν τα παιδιά, δηλαδή κατά την διάρκεια της εμβρυϊκής 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).

Πιο αναλυτικά για τους σημαντικότερους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στην υγεία και ευεξία του ανθρώπου είναι γνωστά τα εξής:

Μονοξειδίο του άνθρακα

Εμφανίζει μεγάλη τάση να ενωθεί με την αιμογλοβίνη του αίματος και να σχηματίσει την ανθρακυλαιμοσφαιρίνη ελαττώνοντας έτσι την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει ικανή ποσότητα οξυγόνου στους ιστούς με αποτέλεσμα να εμφανίζονται συμπτώματα ανοξίας. Επίσης επηρεάζεται το κεντρικό νευρικό σύστημα, αρχίζοντας από κεφαλαλγίες και αναπνευστικές δυσκολίες και μπορεί να φτάσει μέχρι και το θάνατο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί και να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου (απώλεια προσανατολισμού) και σε ακραίες περιπτώσεις σε απώλεια των αισθήσεων (Βασιλικιώτης 1989).

Διοξείδιο του θείου

Αέριο αποπνικτικό. Που επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και υψηλή υγρασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της δυσμενούς επίδρασης του είναι οι επιπτώσεις από το επεισόδιο του Λονδίνου (5-9/12/1952) όπου προκλήθηκαν 4000 θάνατοι (Boubel et al. 1994). Εισπνεόμενο προκαλεί ερεθισμό του βλεννογόνου, του ρινοφάρυγγα, του λάρυγγα και των βρόγχων, σε ακραίες καταστάσεις μπορεί να προκληθεί σπασμός του λάρυγγα και πνευμονικό οίδημα (Μελάς 2007).

Οξείδια του αζώτου

Φαίνεται να ασκούν παράλληλη δράση με το διοξείδιο του θείου αλλά εντονότερη. Το μονοξείδιο και το διοξείδιο του αζώτου προκαλούν έντονο ερεθισμό του τραχειοβρογχικού βλεννογόνου και του αναπνευστικού επιθηλίου. Χαρακτηριστικό για τους νιτρώδεις ατμούς είναι ότι αν η συγκέντρωσή τους δεν είναι πολύ μεγάλη τα συμπτώματα από την εισπνοή δεν είναι άμεσα αλλά εμφανίζονται μετά από μερικές ώρες (Μελάς 2007).

Επιφανειακό όζον

Είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο. Στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα το όζον αποτελεί ένα ισχυρό και ερεθιστικό ρύπο ο οποίος βλάπτει την ανθρώπινη υγεία, τις αγροτικές καλλιέργειες ακόμη και τα υλικά. Προκαλεί ελάττωση των πνευμονικών λειτουργιών, βήχα, δύσπνοια, άσθμα. Έκθεση του ατόμου σε εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες των 9ppm) μπορεί να προκαλέσει ζάλη, εμετούς κ. ά. Οι ερευνητές πιστεύουν ότι το όζον είναι η δεύτερη

μεγαλύτερη αιτία των πνευμονικών νοσημάτων μετά από τα μικρής διαμέτρου αιωρούμενα σωματίδια, από το κάπνισμα –ενεργητικό και παθητικό τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και την καύση του ξύλου (Μελάς κ.ά. 2000).

Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Οι VOCs είναι ποικίλως ερεθιστικά, ναρκωτικά, καρκινογενή κ.λπ. Οι ενοχλήσεις για το περισσότερο από 75% του πληθυσμού με συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ερεθισμοί δέρματος και ματιών, χρόνια κόπωση, οφείλονται στην έκθεση του σε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων. Πάνω από 50% του πληθυσμού με τακτική έκθεση στο βενζόλιο παρουσίασε προβλήματα, ενώ περισσότερες από 3000 περιπτώσεις λευχαιμίας αποδίδονται στο βενζόλιο. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες έχουν επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα, προκαλούν ερεθισμούς των ματιών, της μύτης και των πνευμόνων καθώς και καταστροφές του δέρματος, του ήπατος και των νεφρών. Η δράση τους είναι συνδυαστική έτσι ώστε το αποτέλεσμα να είναι αθροιστικό και σοβαρότερο.

Αιωρούμενα σωματίδια

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 σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα αποτελέσματα της εισπνοής αιωρούμενων σωματιδίων έχουν μελετηθεί ευρύτατα στον άνθρωπο και περιλαμβάνουν το 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 συμβάλει στην δημιουργία χρόνιων αναπνευστικών προβλημάτων και μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο της καρδιακής ανακοπής και του πρόωρου θανάτου. Διάφορες μελέτες συνδέουν τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων με τις αυξημένες εισαγωγές στα νοσοκομεία και ειδικά τις αυξημένες επισκέψεις στις πρώτες βοήθειες ατόμων με καρδιοαναπνευστικά συμπτώματα-προβλήματα τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι εκείνες οι ομάδες πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην

έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Seaton 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 σε 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 μέγεθός τους, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Μακροχρόνια δε εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθματος ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

1.5.2 Επιπτώσεις στα ζώα

Οι υψηλοί ρυθμοί όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τους υδάτινους πόρους (τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας). Αυτό αποτελεί κυρίως πρόβλημα σε περιοχές όπου οι αντιδράσεις με αλκαλικό έδαφος δεν μπορούν να εξουδετερώσουν τις όξινες εισροές.

Σωματίδια φυσικού αλκαλικού εδάφους όταν σαρώνονται από τον αέρα εξουδετερώνουν τα οξέα (π.χ. η Κίνα και οι Δυτικές ΗΠΑ θα είχαν πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα όξινης βροχής αν δεν είχαν αερομεταφερόμενη αλκαλική σκόνη). Μελέτες δείχνουν ότι εκατοντάδες λίμνες τόσο στην Β. Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ και στον Καναδά είναι τόσο όξινες ώστε όλος ο πληθυσμός των ψαριών να έχει αισθητά επηρεαστεί (Boubel et al. 1994).

Σε μια προσπάθεια να μειωθεί η τιμή του pH ρίχνουν ανθρακικό ασβέστιο μέσα στις λίμνες. Σε διάφορες άλλες περιοχές, η οξίνιση πολλών λιμνών και υδάτινων ρευμάτων έχει προκαλέσει την εξόντωση κάποιων ειδών μεταξύ των πληθυσμών των ψαριών, μεταξύ των οποίων και κάποιων ενδημικών.

Επίσης, τα βαρέα μέταλλα που αποτίθενται ή εισέρχονται στα φυτά και στα νερά ήταν και εξακολουθούν να είναι πολύ τοξικά για τα ζώα και τα ψάρια. Το αρσενικό, ο μόλυβδος, το μολυβδαίνιο και ο υδράργυρος είναι οι κυριότεροι ρύποι που είναι υπαίτιοι για τοξικές επιπτώσεις στα ζώα.

Αέρια και σωματιδιακά φθορίδια προκαλούν βλάβες και απώλειες σε διάφορα ζώα – κτηνοτροφικά και άγρια- καθώς επίσης και στα ψάρια. Η φθορίωση των ζώων παρατηρείται σε βιομηχανικές περιοχές που εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες φθοριδίων. Τα ζώα προσλαμβάνουν τόσο τα φθορίδια που περιέχονται στον αέρα, όσο και αυτά που υπάρχουν στα άχυρα και στα χόρτα.

Η φθορίωση εκδηλώνεται με ανωμαλίες στη διάπλαση των οστών και των οδόντων και μερικές φορές επέρχεται ο θάνατος. Στις αγελάδες παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής του γάλακτος. Έχει επίσης παρατηρηθεί έντονη θνησιμότητα των μελισσών που βρίσκονται πλησίον βιομηχανιών αλουμινίου. Οι μεταξοσκώληκες είναι επίσης πολύ ευαίσθητοι στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτοψίες σε ζώα μετά τα επεισόδια αιθαλομίχλης στην κοιλάδα Meuse, στην Donora και στο Λονδίνο έδωσαν αποδείξεις για την πρόκληση πνευμονικών οιδημάτων (Boubel et al. 1994). Ωστόσο η εισπνοή τοξικών ρύπων δεν είναι το σοβαρότερο πρόβλημα όσο η κατανάλωση ρυπασμένων τροφών. Επιπρόσθετα τα μικρά χορτοφάγα ζώα που καταναλώνουν φυτά στα οποία είτε έχουν αποτεθεί ρύποι είτε αυτοί έχουν εισέλθει σ' αυτά, όταν γίνονται τροφή άλλων ζώων μεταφέρουν το πρόβλημα στους υπόλοιπους κρίκους της τροφικής αλυσίδας.

1.5.3 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το αποτέλεσμα, όπως τα είδη των φυτών, η ηλικία, το ισοζύγιο των θρεπτικών ουσιών, οι συνθήκες εδάφους, η θερμοκρασία, η υγρασία και το ηλιακό φως. Σε πολύ χαμηλά επίπεδα έκθεσης δεν υπάρχει καμιά ιδιαίτερη επίδραση, σε λίγο μεγαλύτερα μπορεί να υπάρξει ακόμη και θρεπτική αξία, όπως για παράδειγμα το διοξείδιο του θείου να προσφέρεται ως πηγή θείου για το φυτό, ενώ σε αυξανόμενη έκθεση παρουσιάζονται διάφορες βλάβες, έως τον τελικό θάνατο του φυτού.

Οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο σύστημα του φυτού άμεσα ή έμμεσα. Ο άμεσος τρόπος είναι ανάλογος με την ανθρώπινη εισπνοή. Με τη διάχυση του αέρα μέσα και έξω από το φύλλο, οι αέριοι ρύποι έχουν ένα άμεσο μονοπάτι να εισέλθουν στο κυτταρικό σύστημα της δομής του φύλλου. Συμβαίνει επίσης άμεση απόθεση σωματιδιακής ύλης στις εξωτερικές επιφάνειες των φύλλων, εμποδίζοντας την κανονική αναπνοή και τους μηχανισμούς φωτοσύνθεσης.

Ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο οι αέριοι ρύποι εισχωρούν στο εσωτερικό του φυτού, είναι μέσω του ριζικού συστήματος. Η απόθεση των αερίων ρύπων στο έδαφος και στα επιφανειακά νερά μπορεί να προκαλέσει αλλαγή στην περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά του εδάφους στη γειτονιά του φυτού. Αυτή η αλλαγή των εδαφικών συνθηκών οδηγεί σε άμεσες και έμμεσες επιδράσεις των αερίων ρύπων στη βλάστηση και στα φυτά. Βλάβες στα φυτά και στη βλάστηση προκαλούνται από ένα πλήθος παραγόντων, ένας εκ των οποίων είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση.

Ξηρασία, υπερβολική υγρασία, ζέστη και κρύο, χαλάζι, ζούφια, ζώα, ασθένειες, φτωχό σε θρεπτικά συστατικά έδαφος, είναι μερικές από τις αιτίες πρόκλησης βλάβης ή ζημιάς. Εκτιμήσεις θεωρούν ότι λιγότερο από το 5% των απωλειών στη σοδειά οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαφέρει από γεωγραφική περιοχή σε περιοχή και από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. Η αποτυχία της προσδοκώμενης συγκομιδής μπορεί να οφείλεται σε μια τοπική πηγή που εκτέμπει αέριους ρύπους ή σε μια πιο εκτεταμένη και συχνή έκθεση σε αντίζοα επίπεδα ρύπανσης.

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα φυτά ταξινομούνται σε ορατά συμπτώματα και μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις. Ορατά συμπτώματα είναι οι αποκλίσεις από την κανονική υγιή εμφάνιση των φύλλων. Στα πλατύφυλλα φυτά, ένα υγιές φύλλο έχει καλό χρώμα, με κανονική δομή κυττάρων στα διάφορα στρώματα. Αποκλίσεις από την υγιή εμφάνιση περιλαμβάνουν κατάρρευση των ιστών και διάφορες διαβαθμίσεις απώλειας χρώματος. Άλλες μορφές ορατής βλάβης σχετίζονται με διάφορες αλλαγές στη φυσιολογία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει πρόωρη γήρανση ή πτώση του φύλλου. Ο μίσχος του φύλλου μπορεί να επιμηκυνθεί ή να παραμορφωθεί (Παλιατσός 2009). Διακοσμητικά και οπωροφόρα δένδρα μπορούν επίσης να παρουσιάσουν ορατές βλάβες στα άνθη και στους καρπούς, γεγονός το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της παραγωγής. Οι μη ορατές ή ανεπαίσθητες επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν να κάνουν με τη μείωση της ανάπτυξης του φυτού και την αλλαγή των φυσιολογικών και βιοχημικών διεργασιών, όπως επίσης και αλλαγές στον κύκλο αναπαραγωγής. Ελάττωση της παραγωγής μπορεί να συμβεί και χωρίς την παρουσία ορατών συμπτωμάτων. Αυτός ο τύπος βλάβης συχνά σχετίζεται με χαμηλού επιπέδου, μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Οι κυριότεροι τοξικοί ρύποι για τα φυτά είναι:

- ❖ Το **επιφανειακό όζον** έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας ατμοσφαιρικός ρύπος που βρίσκεται παντού και θεωρείται υπεύθυνος για τον τραυματισμό των φύλλων, για τις μειώσεις της

συγκομιδής και της παραγωγής σπόρων, καθώς και αδυναμία αύξησης των δασικών δένδρων (Chevone and Linzon 1988, Krupa and Manning 1988, Pye 1998, Velissariou et al. 1992, Lefohn et al. 1997, Jackson et al. 2000, Funganelli et al. 2001, Paliatsos et al. 2006b).

- ❖ **Το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του αζώτου** (είναι οι αιτίες δημιουργίας των όξινων σωματιδίων που πέφτοντας με τη βροχή στο έδαφος των δασών για δεκαετίες έχουν προκαλέσει ανισορροπία στο έδαφος το οποίο σαν επακόλουθο προκαλεί σοβαρές ανεπάρκειες σε συγκεκριμένα στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Τα δέντρα έτσι γίνονται αδύναμα στα έντομα και στην ξηρασία. Μεγάλο μέρος των δασών στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη δείχνει σημάδια φθοράς εξαιτίας της όξινης βροχής (Παλιατσός 2009).
- ❖ **Οι φθοριούχες ενώσεις** που προσβάλλουν κυρίως το περίγραμμα των μεγάλων φύλλων, όπως της αμπέλου και των μονοκοτυλήδων και δίνουν στα φύλλα τους σταχτί ή ανοιχτό πράσινο χρώμα, επίσης πολύ ευαίσθητα σ' αυτές είναι τα οπωροφόρα δέντρα –βερικοκιά, δαμασκηλιά κ. ά. – και τα άνθη – όπως η γλαδιόλα, η τουλίπα κ. ά.
- ❖ **Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)** με αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τις υψηλές συγκεντρώσεις αιθυλενίου εξαιτίας των οποίων μαραίνονται τα σέπαλα, προκαλούνται δυσμορφίες στα φύλλα, αποβολή των ανθέων, αποτυχία στο να ανοίξουν τα φύλλα κανονικά, αποκοπή των φύλλων.

Γενικά τα αποτελέσματα κυμαίνονται από μικρή ελάττωση της παραγωγής έως εκτεταμένη ορατή βλάβη, ανάλογη του επιπέδου και της διάρκειας έκθεσης. Ορατά σημάδια στα φυτά και στις σοδειές, όπως στο μαρούλι, τον καπνό, τις ορχιδέες, που προκλήθηκαν από την αέρια ρύπανση, μεταφράζονται σε άμεση οικονομική απώλεια, άρα ζημία. Σε αντίθεση, ορατά σημάδια στα αμπελόφυλλα, στα φύλλα της πατάτας ή του καλαμποκιού δεν αποτελούν καθοριστική ζημία αν δεν υπάρχει απώλεια στην παραγωγή. Ανάλογα δηλαδή με την περίπτωση καθορίζεται κατά πόσο έχει προκληθεί ζημία από την αέρια ρύπανση. Μελέτες επιπτώσεων κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες έδειξαν ότι καλλιέργειες εκτεθειμένες σε φιλτραρισμένο (μέσω ενεργού άνθρακα) και αφιλτράριστο περιβαλλοντικό αέρα παρουσίασαν διαφορετική παραγωγή ενώ δεν υπήρχαν ορατά συμπτώματα. Ελάττωση της συνολικής βιομάζας μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικές απώλειες για βρώσιμες σοδειές ή άχυρα. Φυσιολογικές και βιοχημικές αλλαγές έχουν παρατηρηθεί σε φυτά που εκτέθηκαν σε αέριους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών στη φωτοσύνθεση, στην απόκριση των στοματίων και στη λειτουργία του μεταβολισμού. Τέτοιες μελέτες-εκθέσεις έχουν διεξαχθεί

κάτω από ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες. Η κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα βοηθά στον καθορισμό των αιτιών της ελάττωσης της παραγωγής. Εργαστηριακές μελέτες έχουν επίσης ερευνήσει την αλληλεπίδραση των αερίων ρύπων και του αναπαραγωγικού κύκλου ορισμένων φυτών. Ανεπαίσθητες αλλαγές στην αναπαραγωγή ορισμένων ειδών καθιστούν αυτά ανίκανα να επιβιώσουν και να ευδοκιμήσουν σε δεδομένο οικοσύστημα.

1.5.5 Επιπτώσεις στα υλικά

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συντελεί στην καταστροφή των υλικών με διάφορους τρόπους όπως με διάβρωση λόγω τριβής, με ακαθαρσία (στερεά σωματίδια, ιδίως καπνός) που επικάθεται στα υλικά, μειώνοντας το αισθητικό κάλλος μνημείων και κτιρίων, καθώς και με διάβρωση από όξινες ουσίες και άλλα οξειδωτικά. Η όξινη απόθεση διαβρώνει τα οικοδομήματα σε πολλές πόλεις στον κόσμο. Επίσης σε πόλεις με πλούσια πολιτιστική κληρονομία, όπως η Αθήνα, η Ρώμη, η οξύτητα των βροχοπτώσεων έχει αρχίσει να παραμορφώνει ανεκτίμητα εξωτερικά μνημεία. Υλικά στα οποία η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιπτώσεις είναι:

- ***Τα μέταλλα***

Βασική επίπτωση των αερίων ρύπων στα μέταλλα είναι η διάβρωση της επιφάνειας, με αποτέλεσμα απώλεια μάζας καθώς και αλλαγή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των μετάλλων.

- ***Τα δομικά υλικά και το μάρμαρο***

Πολλά κτίρια στις παλιές και μεγάλες πόλεις είναι εκτεθειμένα σε υψηλές συγκεντρώσεις καπνού, SO₂ και CO για πολλές δεκαετίες. Οι επιφάνειες τους έχουν λερωθεί και είναι εκτεθειμένα και στις χημικές δράσεις των όξινων αποθέσεων. Το διοξείδιο του θείου και η υγρασία αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) και σχηματίζουν θειικό ασβέστιο (CaSO₄) και γύψο (CaSO₄ * 2H₂O) τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, με αποτέλεσμα να προκαλείται φθορά τόσο στα δομικά υλικά όσο και στο κονίαμα που τα συνδέει. Η φθορά προκαλείται εξαιτίας της ραγδιότητας των βροχών που πέφτουν σε αστικές περιοχές.

- ***Τα υφάσματα και οι βαφές τους***

Βασική επίπτωση των αερίων ρύπων είναι το σπάσιμο της ύφανσης εξαιτίας της απώλειας ελαστικότητάς τους και η αποχρωμάτισή τους.

- ***Το δέρμα, το χαρτί και τα χρώματα***

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) επιδρά στη σύνθεσή τους προκαλώντας σημαντικές φθορές. Μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται στις βιβλιοθήκες πόλεων σε όλο τον κόσμο λόγω της καταστροφής των δερμάτινων καλυμμάτων των βιβλίων. Η κυτταρίνη του χαρτιού επίσης επηρεάζεται από το διοξείδιο του θείου. Το υδρόθειο αντιδρά με τις χρωστικές ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και αμαυρώνει τις λευκές και ανοιχτόχρωμες βαφές.

- ***Το καουτσούκ***

Το όζον προκαλεί πρόωρη γήρανση στα προϊόντα φτιαγμένα από καουτσούκ καθώς σπάει το διπλό δεσμό του άνθρακα του ισοπρενίου από το οποίο συντίθεται το πολυμερές του καουτσούκ με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρωγμές. Το φαινόμενο ξεκινά από την επιφάνεια και προχωρά σε βάθος ανάλογα με τις συγκεντρώσεις όζοντος στις οποίες εκτίθεται το υλικό. Η συγκεκριμένη επίδραση έχει πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στο χρόνο ζωής των ελαστικών των αυτοκινήτων τα οποία, λόγω της πρόωρης γήρανσης "χάνουν" τη δυνατότητα καλού "κρατήματος" του οχήματος για ασφαλή οδήγηση (Παλιατσός 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

Εξετάζοντας τα στοιχεία και τα συστήματα σε μια πόλη μπορούμε να διακρίνουμε: κτίρια, χώρους, μεταφορικά δίκτυα και δίκτυα υποδομής. Μπορούμε επίσης να διακρίνουμε το σύστημα της οικονομίας, το σύνολο και το σύστημα της κοινωνίας και του πολιτισμού. Τα μεταφορικά και τα και τα δίκτυα υποδομής (ύδρευση, αποχέτευση, τηλεπικοινωνιακά, ηλεκτροτροφοδοτικά δίκτυα) τροφοδοτούν τους χώρους και τα κτήρια, όπως και το αντίστροφο. Μέσα στην πόλη συνυπάρχουν και δρουν η κοινωνία των ανθρώπων και η βιοποικιλότητα οι οποίες επίσης αλληλεπιδρούν με τα κτήρια, τους χώρους και τα δίκτυα υποδομής και μπορεί να λειτουργούν σύμφωνα με ένα βρόχο θετικής ή αρνητικής ανάδρασης (Φύτου 2005).

Η ποιότητα της ατμόσφαιρας στις αστικές περιοχές αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θέματα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, δεδομένου ότι στις περιοχές αυτές υπάρχει αφενός συγκέντρωση μεγάλου αριθμού πηγών ρύπανσης και αφετέρου συγκέντρωση πληθυσμού. Το ενδιαφέρον που εκδηλώνεται για τον υπολογισμό των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές της Ελλάδας παραμένει αμείωτο, καθώς νέοι ρύποι εμφανίζονται ενώ συγχρόνως αναδεικνύονται οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές στην Ελλάδα συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τον τρόπο που αυτές οι περιοχές διαμορφώθηκαν μέσω της άναρχης και ευκαιριακής εισροής πληθυσμού, σε συνδυασμό με την οικονομική μεγέθυνση. Για διάφορους λόγους, η έλλειψη προγραμματισμού οδήγησε στην διόγκωση των πόλεων κατά τρόπο αυθαίρετο, τόσο πολεοδομική όσο και από λειτουργική άποψη, με κορυφαίο παράδειγμα την Αθήνα. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού ήταν η μεγέθυνση και η όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων περισσότερο απ' όσο θα ήταν σε μια προγραμματισμένη ή τουλάχιστον ελεγχόμενη περίπτωση αστικοποίησης (Σκουλούδης και Κοτζιάς 2005). Στην επιδείνωση του προβλήματος συνέβαλλε το γεγονός ότι η οικονομική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, έχει οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι συνεχώς αυξανόμενες καταναλωτικές ανάγκες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που αξιοποιούν κυρίως ορυκτά καύσιμα με συμβατικές μεθόδους. Η εντατικοποίηση της χρήσης καυσίμων όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας οδήγησαν σε ιδιαίτερα μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθώς και ο τομέας της

ηλεκτροπαραγωγής θεωρείται από τους πιο επιβαρυντικούς για το περιβάλλον. Ιδιαίτερα σημαντική σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση στις αστικές περιοχές της χώρας μας είναι η συμβολή του τομέα των μεταφορών και των εξελίξεων που τον διέπουν (Θεοχάρη 2005).

Σύμφωνα με την European Environment Agency (EEA 2005), ένα υγιές περιβάλλον είναι ουσιαστικό στο να βελτιώσει την ανάπτυξη και να διατηρήσει την ανθρώπινη υγεία και ευζωία. Η συσχέτιση μεταξύ περιβαλλοντικής ρύπανσης και αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, τόσο άμεσων όσο και μακροχρόνιων, είναι επιστημονικά αποδεδειγμένη, παρά το γεγονός ότι δεν είναι πλήρως κατανοητοί οι μηχανισμοί επίδρασης (ΕΚΠΙΑΑ 2009).

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες, ο ιστός των πόλων, αλλά και η συνέργεια μεταξύ των ρυπογόνων χημικών ουσιών που επηρεάζουν τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Nastos et al. 2006, 2008, Larissi et al. 2010). Είναι ήδη γνωστό από την εποχή του Ιπποκράτη (450 π.Χ.) ότι η κλιματολογικοί παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από επιδημιολογικά στοιχεία. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι καύσωνες του 1976, 1995, και του 1998 στη πόλη του Λονδίνου όπου συνδέθηκαν με 15% αύξηση της ολικής θνησιμότητας κατά τη διάρκεια των ημερών της αυξημένης θερμοκρασίας (Seaton et al. 1995, Hajat et al. 2002), ο καύσωνας του Ιουλίου του 1987 στην Αθήνα που συσχετίστηκε με 2000 επιπλέον θανάτους, δηλαδή με 97% αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας (Katsouyanni et al. 1988, Panagiotakos et al. 2004). Από σχετικές μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η εμφάνιση κυμάτων καύσωνα αυξάνει σε συχνότητα και ένταση, αποτελούν δε αιτία θανάτων σε πολλές χώρες. Ειδικότερα, στην Ελλάδα δυο κύματα καύσωνα συνέβησαν το καλοκαίρι του 2007 με συνέπεια την πρόκληση αυξημένου αριθμού κρουσμάτων νοσηρότητας σε ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού (Theoharatos et al. 2010). Τέλος, από μελέτη που έγινε σε 44 πόλεις των ΗΠΑ έδειξε ότι η αυξημένη θνησιμότητα συνδέεται με την υψηλή μεταβλητότητα των ημερήσιων θερμοκρασιών του καλοκαιριού (Mc Michael and Beaglehole 2000).

Ο αέρας που αναπνέουμε περιέχει διάφορα επίπεδα ρύπων που κυρίως προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως τα αυτοκίνητα, στη βιομηχανία και στην παραγωγή ενέργειας. Οι πιθανές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία μπορούν να εκφραστούν με διάφορους δείκτες όπως η μείωση του προσδόκιμου ζωής, ο αριθμός των πρόωρων θανάτων και ο αριθμός των εισαγωγών στα νοσοκομεία. Πολλές επιδημιολογικές μελέτες που έγιναν ως τώρα έχουν δείξει όχι μόνο μια συσχέτιση μεταξύ της ατμοσφαιρικής

ρύπανσης και εξάρσεων χρόνιων πνευμονικών νόσων αλλά και αύξηση των θανάτων από καρδιαγγειακές παθήσεις, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένα και άτομα με υποκείμενες καρδιοπνευμονικές παθήσεις (Glantz 1993, Seaton et al. 1995). Κατά τη δεκαετία του 90 στη Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, έγινε προσπάθεια αποτίμησης της επίπτωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα, από την πολυκεντρική μελέτη APHEA II (Air pollution on health: European approach). Από την Ελλάδα μελετήθηκαν ημερήσια στοιχεία ρύπων, θερμοκρασίας και υγρασίας, από τη περιοχή της Αθήνας και για τα έτη 1990 με 1997, δείχνοντας να υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ολικής αλλά και της καρδιαγγειακής θνησιμότητας (Katsouyanni et al. 1997). Από τους Paliatsos et al. (2006) έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των επιπτώσεων του υποβιβασμού της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας στον αριθμό των παιδιών, ηλικίας μέχρι και 14 ετών που εισάγονταν για νοσηλεία με κρίση παιδικού άσθματος κατά τη διάρκεια της περιόδου 1984-2000. Από τη μελέτη διαπιστώθηκε ότι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως ο καπνός, το διοξείδιο του θείου και το μονοξείδιο του άνθρακα κυρίως ευθύνονταν για τον αριθμό των εισαγόμενων παιδιών με συμπτώματα παιδικού άσθματος.

Στοιχεία των επιδημιολογικών μελετών συγκλίνουν στην ύπαρξη θετικής σχέσης μεταξύ συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων και αναπνευστικών συμπτωμάτων (EPA 2008). Επιπλέον, η έκθεση ανθρώπων σε συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από εξατμίσεις πετρελαιοκίνητων οχημάτων, οδηγεί σε πνευμονικές φλεγμονές, οξειδωτικές αντιδράσεις και αλλεργική ευαισθητοποίηση (EPA 2008). Βάσει των προηγούμενων στοιχείων και επιδημιολογικών μελετών, προκύπτει πως οι επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα λόγω βραχυχρόνιας έκθεσης σε αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων συνδέονται κυρίως με καρδιακή ανεπάρκεια και ισχαιμία του μυοκαρδίου. Η μελέτη των Lartigou et al. (2007) που διεξήχθη σε 8 γαλλικές πόλεις κατά την περίοδο 1998-2003, είχε αντικειμενικό σκοπό την εκτίμηση της συσχέτισης μεταξύ των συγκεντρώσεων των PM_{10} , αλλά και του διοξειδίου του αζώτου και του επιφανειακού όζοντος, με τις εισαγωγές πληθυσμού σε νοσοκομείο των υπό μελέτη πόλεων από καρδιαγγειακά νοσήματα. Επειδή τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των $10\mu m$ (PM_{10}) που προέρχονται από ανθρωπογενής δραστηριότητες και φυσικές πηγές μπορούν να προκαλέσουν δυσμενείς επιπτώσεις σε ευπαθή άτομα όπως τα ασθματικά παιδιά, οι Nastos et al. (2010) μελέτησαν τις πιθανές επιδράσεις των υπαιθρίων συγκεντρώσεων των PM_{10} στις εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω των παιδιατρικών παροξύνσεων άσθματος στην Αθήνα, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2001-2004. Επίσης, αντίστοιχη μελέτη πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της σχέσης

μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επισκέψεων στο νοσοκομείο της πόλης του Βόλου εξαιτίας αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων, στη διάρκεια της περιόδου 2001-2007 (Kalatzi et al. 2011). Τα ευρήματα της μελέτης υποδηλώνουν με σημαντική σχέση μεταξύ της επιβάρυνσης της νοσηρότητας από αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις και των επιπέδων συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Τέλος, οι Samoli et al. (2011) διερεύνησαν τις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}), του διοξειδίου του θείου (SO_2), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και του επιφανειακού όζοντος (O_3) για τις παιδιατρικές εισαγωγές έκτακτης ανάγκης άσθματος στην Αθήνα, κατά την περίοδο 2001-2004. Διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της εποχής, του φύλλου, της ηλικίας και η παρουσία σκόνης της ερήμου που μεταφέρεται κυρίως από την περιοχή της Σαχάρας. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης μας επιβεβαιώνουν την ευθύνη των PM_{10} σε περιστατικά εισαγωγής στα νοσοκομεία λόγω έκτακτων περιστατικών εμφάνισης παιδικού άσθματος, τα οποία εμφανίζουν έξαρση κατά τη διάρκεια ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρα.

Τα αιωρούμενα σωματίδια έπειτα από την απομάκρυνση τους από την ατμόσφαιρα μπορούν μέσω ξηρής εναπόθεσης να επικαθίσουν στα επιφανειακά μέρη των φυτών προκαλώντας φυσικές ή χημικές επιπτώσεις ή σε συνδυασμό και των δύο. Το φαινόμενο αυτό συναντάται κυρίως γύρω από ρυπασμένες περιοχές. Η όξινη βροχή αποτελείται κυρίως από θειικά και νιτρικά οξέα τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε οξίνιση του εδάφους προκαλώντας μια σειρά οικολογικών αλλαγών (Glavas and Moschonas 2002, Κούγκολος 2007). Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στα υλικά συνδέονται τόσο με τη φυσική βλάβη, όσο και με την αισθητική αλλοίωση στην οποία υπόκεινται υλικά. Σύμφωνα με μελέτες, τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν διάβρωση στα μέταλλα, βλάβες στην πολιτιστική κληρονομιά και διάφορες οπτικές επιδράσεις όπως αποχρωματισμός υλικών (EPA 2008).

2.2 Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Η αυξημένη εκβιομηχάνιση και η ταυτόχρονη ανάπτυξη των μητροπολιτικών περιοχών είναι στενά συνδεδεμένες με τα περιβαλλοντικά προβλήματα (Botkin and Keller 1995). 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 γεινίαση 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. 2009, 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 αποτελέσματά 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 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).

2.3 Περιγραφή της θέσης του σταθμού καταγραφής δεδομένων

Για την αξιολόγηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη του Βόλου πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση των καταγραφών αερίων ρύπων που κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2000-2009 από τον σταθμό που είναι εγκατεστημένος στο κέντρο της

πόλης του Βόλου. Οι υπό μελέτη αέριοι ρύποι είναι: το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το επιφανειακό όζον (O₃), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM₁₀).

Η παρακολούθηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη του Βόλου, με αυτόματους αναλυτές ρύπων, είχε ξεκινήσει πριν από το 1995, όπου ο σταθμός ήταν τοποθετημένος στο κτίριο της Νομαρχίας Μαγνησίας. Το έτος 2000 ο σταθμός μεταφέρθηκε στην ταράτσα του 1ου Δημοτικού Σχολείου, σε μικρή απόσταση από τη Νομαρχία, όπου παραμένει μέχρι σήμερα. Ο σταθμός βρίσκεται σε ύψος 12m περίπου και σε περιοχή με δρόμους μικρής σχετικά κυκλοφορίας, ενώ κεντρικοί δρόμοι με μεγάλη κυκλοφορία βρίσκονται σε απόσταση 80-100 m. Η θέση του σταθμού είναι στο εμπορικό και διοικητικό κέντρο της πόλης του Βόλου και είναι αντιπροσωπευτική της ρύπανσης αστικού υποβάθρου.

Από το 2000, στον εξοπλισμό του σταθμού προστέθηκε το όργανο δειγματοληψίας αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) καθώς και όργανο καταγραφής μετεωρολογικών παραμέτρων. Η συντήρηση και η βαθμονόμηση του σταθμού γίνεται σε συστηματική βάση, με αποτέλεσμα να υπάρχει συνέχεια μετρήσεων.

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

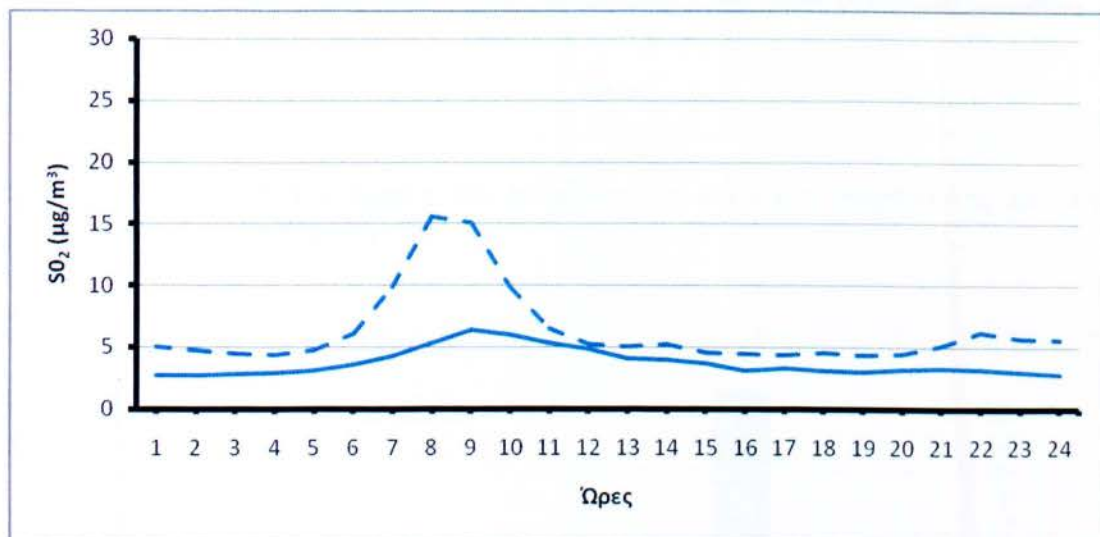
Η επεξεργασία δεδομένων για όλους τους υπό μελέτη ρύπους, εκτός των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, βασίζεται στην επεξεργασία των ωριαίων τιμών οπότε και θα μελετηθούν, για κάθε ρύπο :

- (α) η ενδοημερήσια μεταβολή στη διάρκεια της θερμής και της ψυχρής περιόδου του έτους,
- (β) η ενδοετήσια μεταβολή και
- (γ) η διαχρονική εξέλιξη.

Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, η επεξεργασία των δεδομένων θα βασιστεί στις ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου και θα μελετηθεί : η εξέλιξη των ημερήσιων τιμών με έμφαση τις ενδεχόμενες υπερβάσεις της θεσμοθετημένης ημερήσιας τιμής συγκέντρωσης (50μg/m³), η ενδοετήσια μεταβολή καθώς και η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου σε σχέση με τη θεσμοθετημένη ετήσια τιμή συγκέντρωσης (40μg/m³).

2.4.1 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

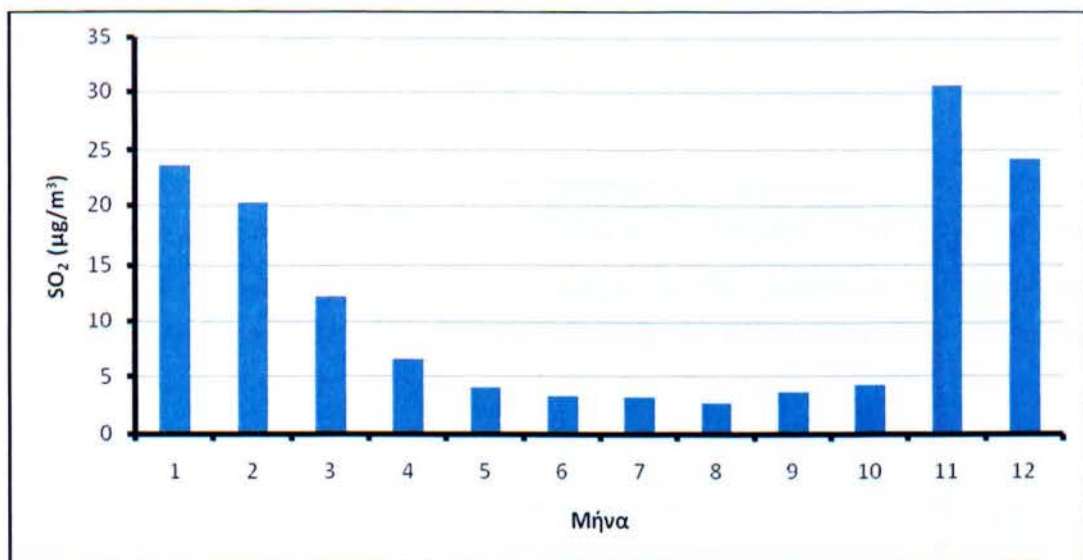
Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-20007 καταλήγουμε στο Σχήμα 2.1 όπου απεικονίζεται η ενδοημερήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους (διακεκομμένη γραμμή) και κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους (συνεχής γραμμή).



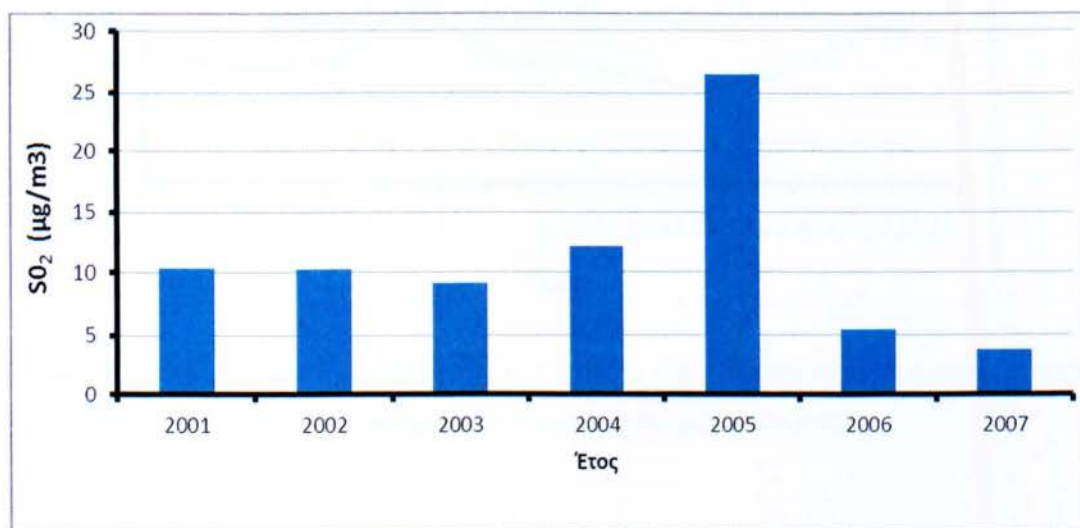
Σχήμα 2.1. Ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου κατά τη θερμή (συνεχής γραμμή) και κατά την ψυχρή (διακεκομμένη γραμμή) περίοδο του έτους.

Από το Σχήμα 2.1 διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της θερμής περιόδου χαρακτηρίζεται από ένα πρωινό μέγιστο που συνδέεται με την πρωινή δραστηριότητα της πόλης. Αντίθετα, η ενδοημερήσια μεταβολή στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό) τα οποία συνδέονται, κατά κύριο λόγο, με τη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης.

Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου και στη συνέχεια η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, στη διάρκεια της περιόδου συνεχούς καταγραφής του. Στο Σχήμα 2.2 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου και ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής.



Σχήμα 2.2. Ενδοετήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

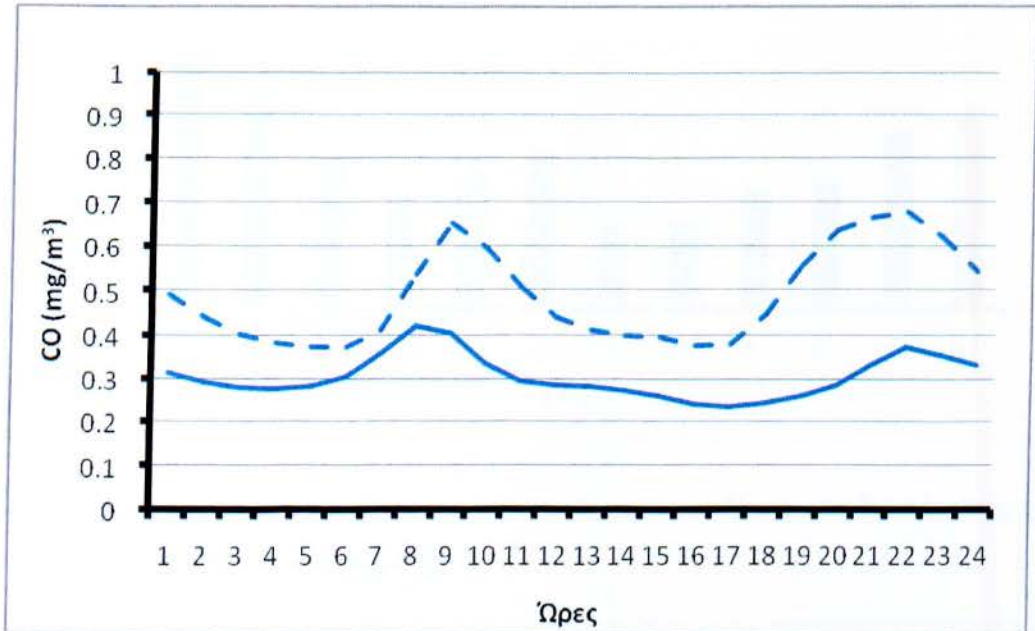


Σχήμα 2.3. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007.

Από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου. Από το Σχήμα 2.3 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου εμφανίζει ελαφρά καθοδική τάση, εκτός από τα έτη 2004 και 2005 που παρατηρείται μια απότομη αύξηση.

2.4.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

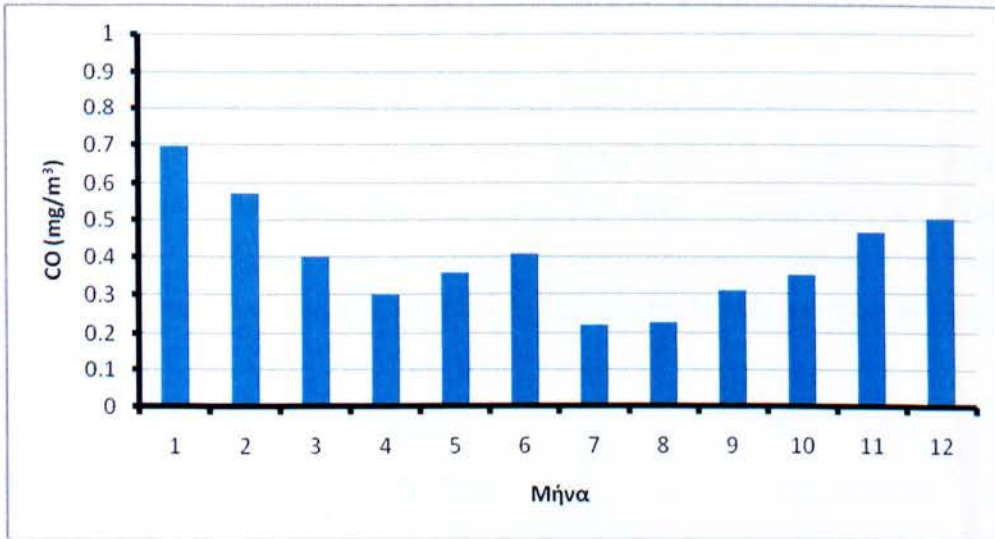
Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του, 2001-2008, καταλήγουμε στο Σχήμα 2.4 όπου απεικονίζεται η ενδοημερήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους (διακεκομμένη γραμμή) και κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους (συνεχής γραμμή).



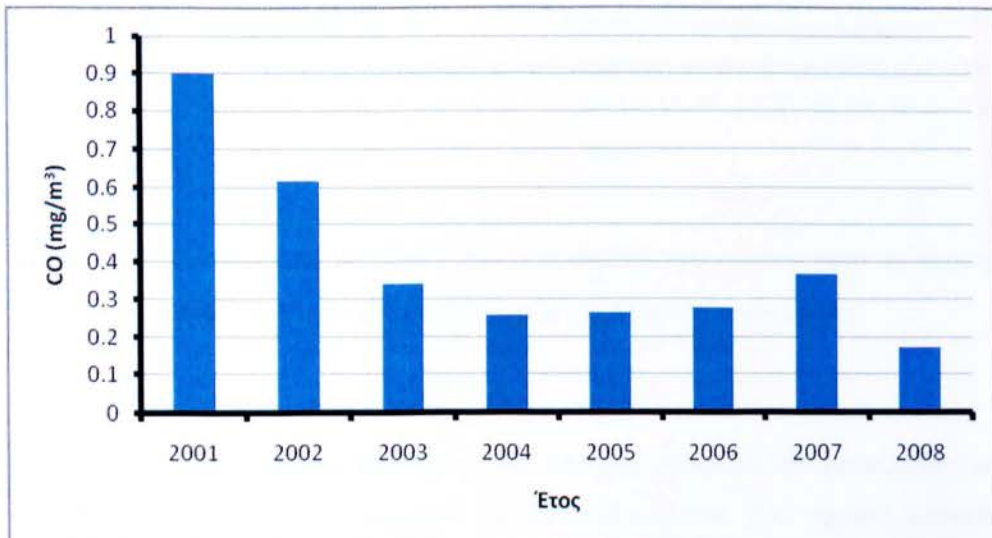
Σχήμα 2.4. Ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τη θερμή (συνεχής γραμμή) και κατά την ψυχρή (διακεκομμένη γραμμή) περίοδο του έτους.

Από το Σχήμα 2.4 διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του άνθρακα τόσο στη διάρκεια της ψυχρής, όσο και στη διάρκεια της θερμής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό) τα οποία συνδέονται, κατά κύριο λόγο, τον κυκλοφοριακό φόρτο της θέσης του σταθμού. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα επίπεδα διακύμανσης της ενδοημερήσιας μεταβολής του μονοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους είναι υψηλότερα από αυτά της θερμής. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στον αυξημένο κυκλοφορικό φόρτο, όσο και στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους (Papaioannou et al. 2010).

Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του. Στο Σχήμα 2.5 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλεται σε επικράτηση δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών για διάχυση και διασπορά του ρύπου (Papaioannou et al. 2010).



Σχήμα 2.5. Ενδοετήσια μεταβολή του μονοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

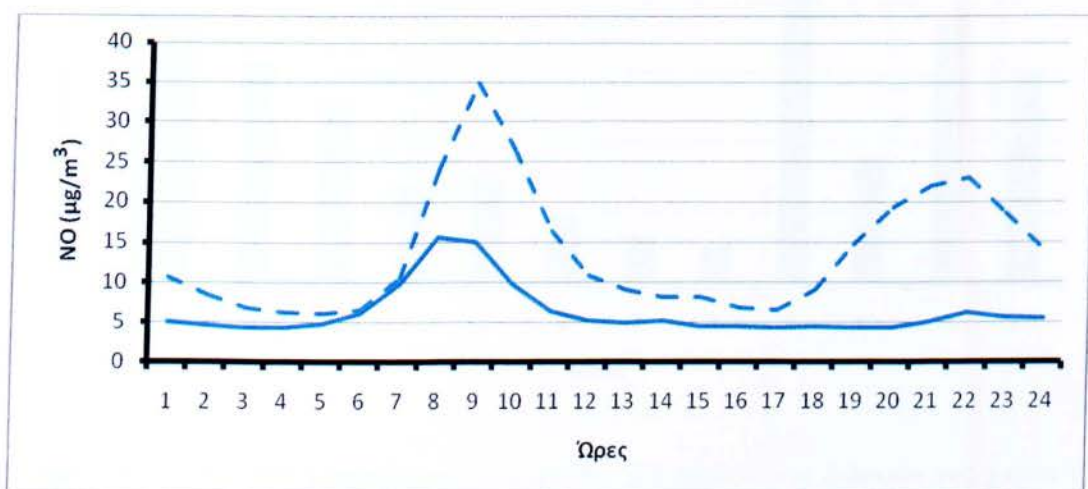


Σχήμα 2.6. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2008.

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου, η οποία εμφανίζει έντονη καθοδική τάση.

2.4.3 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του, 2001-2007, καταλήγουμε στο Σχήμα 2.7 όπου απεικονίζεται η ενδοημερήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου κατά τη διάρκεια της ψυχρής (διακεκομμένη γραμμή) και κατά τη διάρκεια της θερμής (συνεχής γραμμή) περιόδου του έτους.

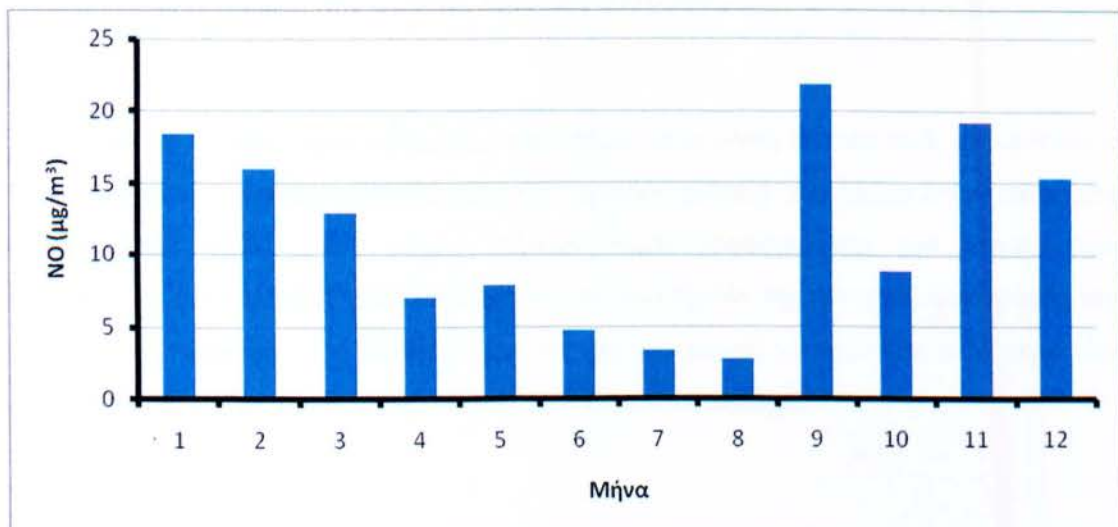


Σχήμα 2.7 Ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου κατά τη θερμή (συνεχής γραμμή) και κατά την ψυχρή (διακεκομμένη γραμμή) περίοδο του έτους.

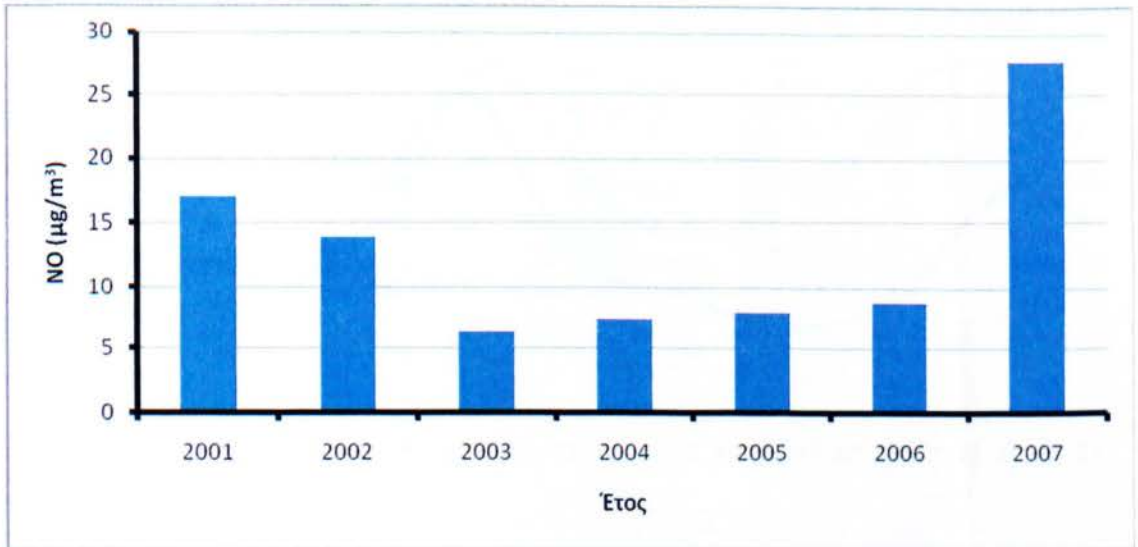
Από το Σχήμα 2.7 διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της θερμής περιόδου χαρακτηρίζεται από ένα πρωινό μέγιστο, ενώ η ενδοημερήσια μεταβολή στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό). Όσον αφορά την ενδοημερήσια μεταβολή του NO κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, παρατηρείται ότι η κυρίαρχη κορυφή παρατηρείται κατά τις πρωινές ώρες και η δευτερεύουσα κορυφή κατά τις

απογευματινές ώρες, που συμπίπτει προφανώς με κορυφές των αστικών δραστηριοτήτων (π.χ., κίνηση, ώρες λειτουργίας της αγοράς, και η λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης) αποτελείσμα το οποίο έχει διαπιστωθεί και από τους Παραϊοαννου et al. (2010).

Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου 2001-2007. Στο Σχήμα 2.8 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους κάτι το οποίο έχει διαπιστωθεί και από άλλες μελέτες όπως από τον Παπαμανολίς (2001), τους Καρανδίνος-Rίγα et al. (2006) και Παραϊοαννου et al. (2010).



Σχήμα 2.8. Ενδοετήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007.

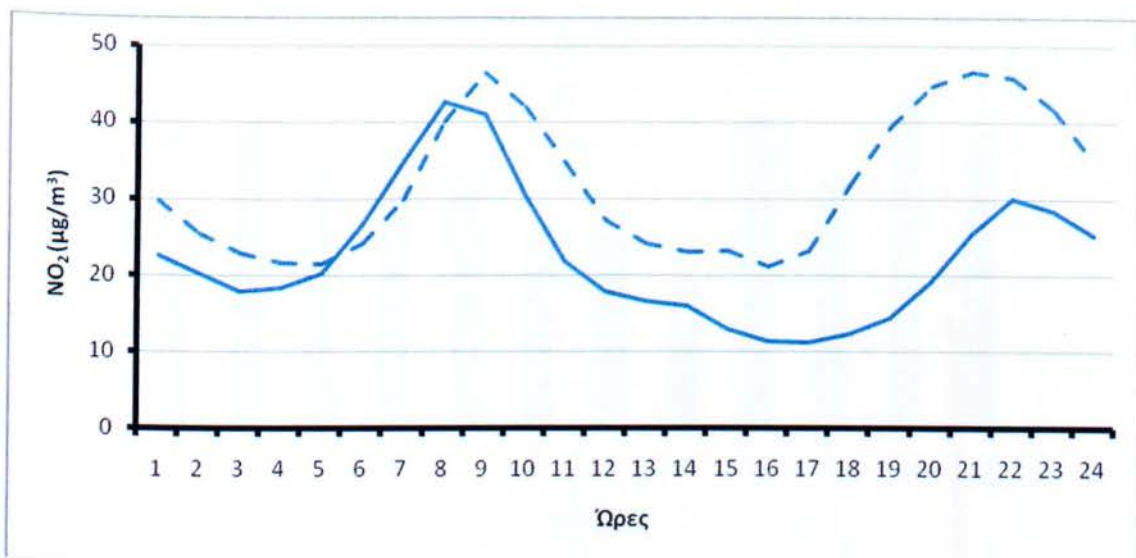


Σχήμα 2.9. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007.

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 2.9 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου, όπου παρατηρείται ότι εμφανίζει καθοδική τάση στο σύνολο σχεδόν της συνεχούς καταγραφής του, εντούτοις το τελευταίο έτος εμφανίζει μια αύξηση που μπορεί να οφείλεται στην περαιτέρω αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή.

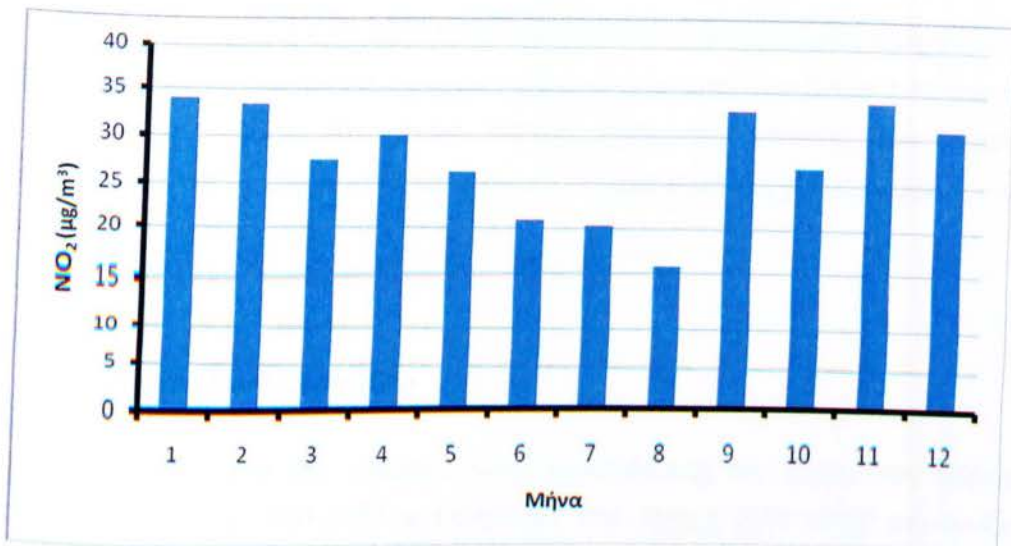
2.4.4 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007 συνεχούς καταγραφής του καταλήγουμε στο Σχήμα 2.10 όπου απεικονίζεται η ενδοημερήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου κατά τη διάρκεια της ψυχρής (διακεκομμένη γραμμή) περιόδου και κατά τη διάρκεια της θερμής (συνεχής γραμμή) περιόδου του έτους.



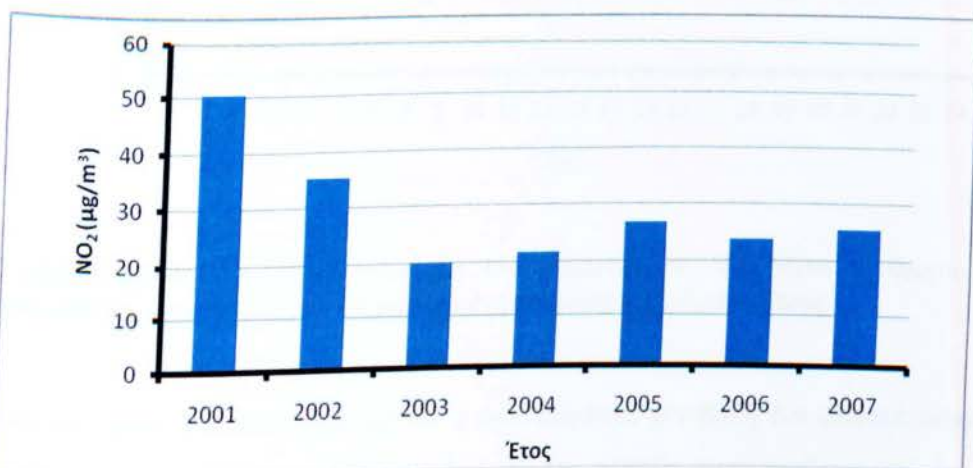
Σχήμα 2.10. Ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου κατά τη θερμή (συνεχής γραμμή) και κατά την ψυχρή (διακεκομμένη γραμμή) περίοδο του έτους.

Από το Σχήμα 2.10 διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της θερμής καθώς και της ψυχρής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα ένα πρωινό και ένα βραδινό. Όσον αφορά την ενδοημερήσια μεταβολή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, παρατηρείται ότι η κυρίαρχη κορυφή παρατηρείται κατά τις πρωινές ώρες και μάλιστα μετατοπισμένη κατά μια ώρα αργότερα σε σχέση με την ώρα εμφάνισης του μέγιστου της θερμής περιόδου, γεγονός που αποδίδεται με τις κορυφές των πρωινών αστικών δραστηριοτήτων. Όσον αφορά τη δευτερεύουσα κορυφή κατά τις βραδινές ώρες, που συμπίπτει προφανώς και στην περίπτωση αυτή με κορυφές των αστικών δραστηριοτήτων (π.χ., κίνηση, ώρες λειτουργίας της αγοράς, και η λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης) γεγονός που αιτιολογεί πλήρως και τη διαφορετική ώρα εμφάνισης του δευτερεύοντος βραδινού μέγιστου. Τα αποτελέσματα αυτά έχει διαπιστωθεί και στην εργασία των Papaioannou et al. (2010).



Σχήμα 2.11. Ενδοετήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007.

Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου (2001-2007). Στο Σχήμα 2.11 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους κάτι το οποίο έχει διαπιστωθεί και από άλλες μελέτες όπως από τον Paramanolis (2001), τους Karandinos-Riga et al. (2006) και Papaioannou et al. (2010).

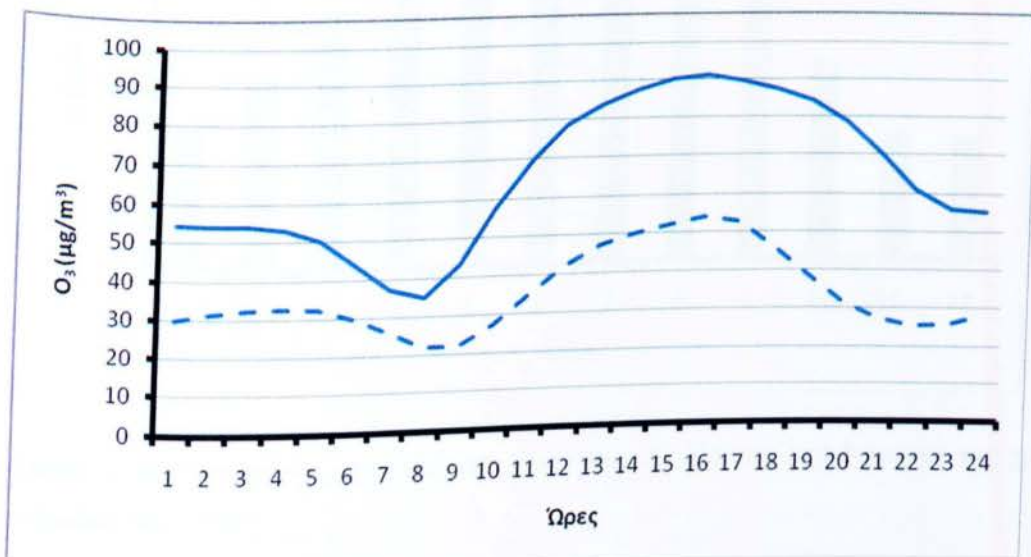


Σχήμα 2.12. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007.

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 2.12 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου, όπου παρατηρείται ότι εμφανίζει καθοδική τάση και μάλιστα ο ετήσιος ρυθμός μείωσης του ρύπου είναι ίσος με $7\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4.5 Επιφανειακό Όζον (O_3)

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2009 καταλήγουμε στο Σχήμα 2.13 όπου απεικονίζεται η ενδοημερήσια μεταβολή του συγκεκριμένου ρύπου κατά τη διάρκεια της ψυχρής (διακεκομμένη γραμμή) περιόδου του έτους και κατά τη διάρκεια της θερμής (συνεχής γραμμή) περιόδου του έτους.

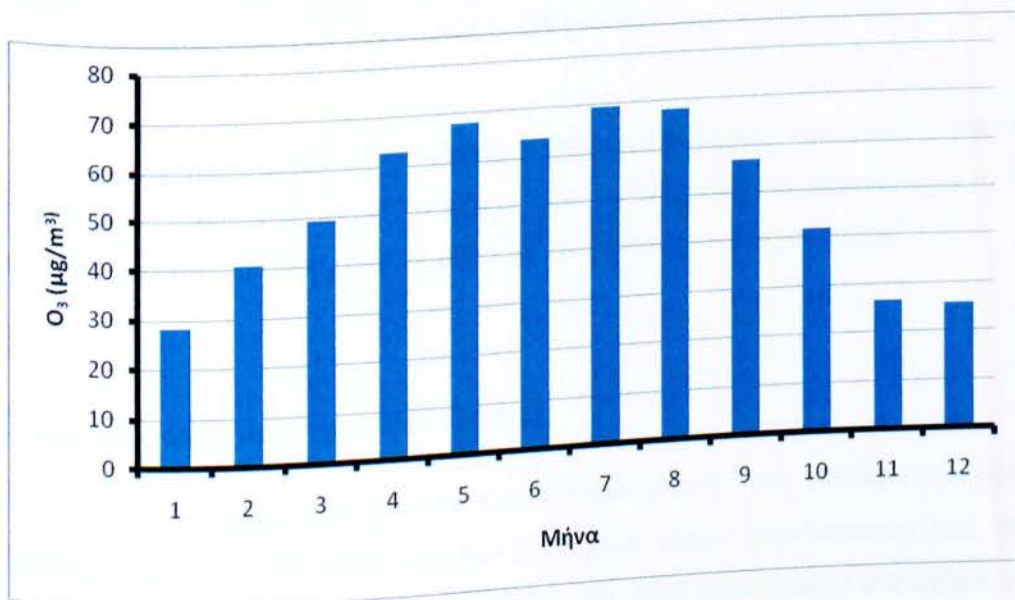


Σχήμα 2.13. Ενδοημερήσια μεταβολή του επιφανειακού όζον κατά τη θερμή (συνεχής γραμμή) και κατά την ψυχρή (διακεκομμένη γραμμή) περίοδο του έτους.

Από το Σχήμα 2.13 διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της θερμής περιόδου καθώς και της ψυχρής χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο που εμφανίζεται τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες από 11:00 έως 18:00, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει το μέγιστο. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια των μηνών αυτών,

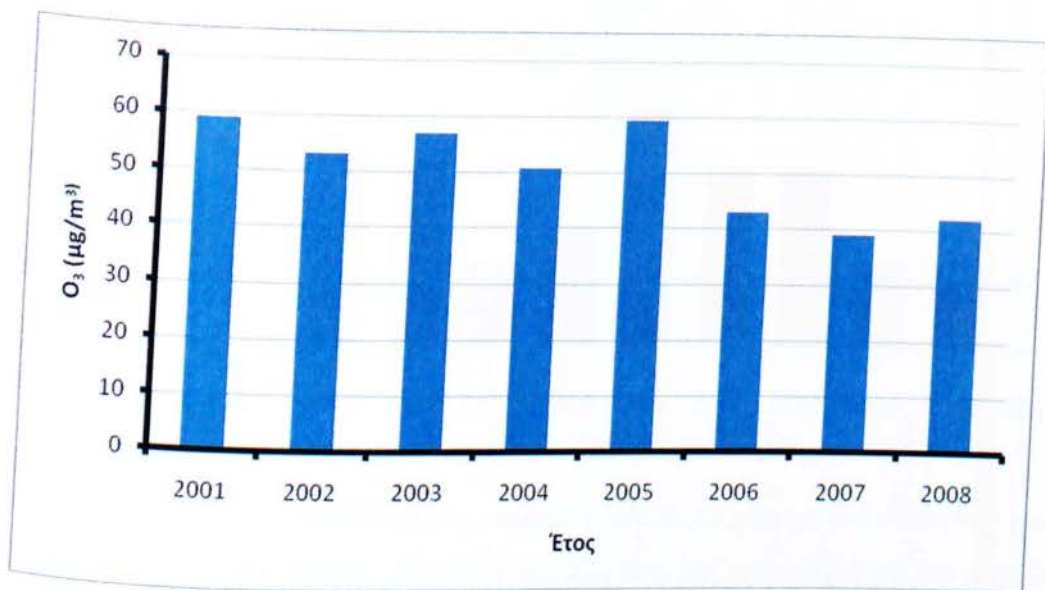
δεδομένου ότι το όζον σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής πρόδρομων ουσιών του όζοντος είναι τα οχήματα, τα εργοστάσια παραγωγής χημικών, τα χημικά διαλυτικά και τα βενζινάδικα.

Από την επεξεργασία των δεδομένων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου (2001-2008). Στο Σχήμα 2.14 του όζοντος εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, γεγονός που συμπίπτει με το μέγιστο της φωτοχημικής παραγωγής του επιφανειακού όζοντος που συναρτάται με την ηλιακή δραστηριότητα και τη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.14. Ενδοετήσια μεταβολή του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2008.

Τέλος από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος στη διάρκεια της περιόδου μελέτης.

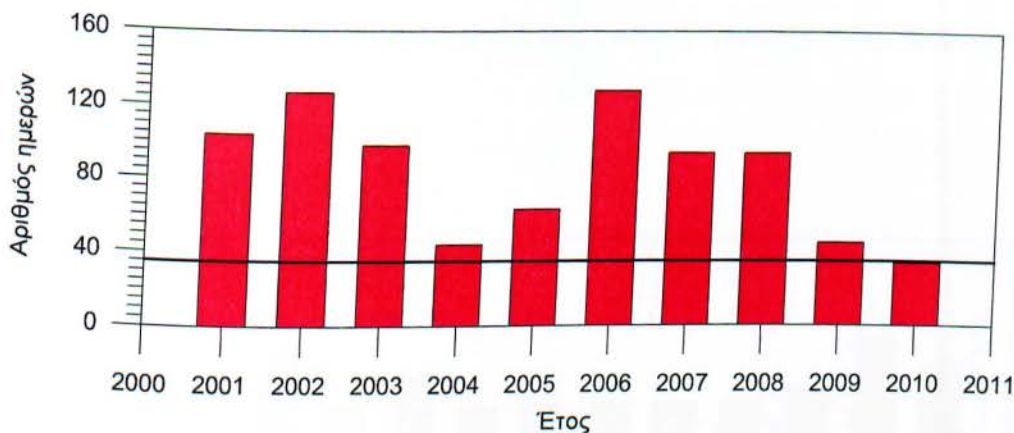


Σχήμα 2.15. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2008.

Από το Σχήμα 2.15 όπου απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος, όπου παρατηρείται ότι εμφανίζει μικρή καθοδική τάση και μάλιστα ο ετήσιος ρυθμός μείωσης του ρύπου είναι ίσος με $3\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4.6 Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10})

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, 2008-2010 καταλήγουμε στο Σχήμα 2.16 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.

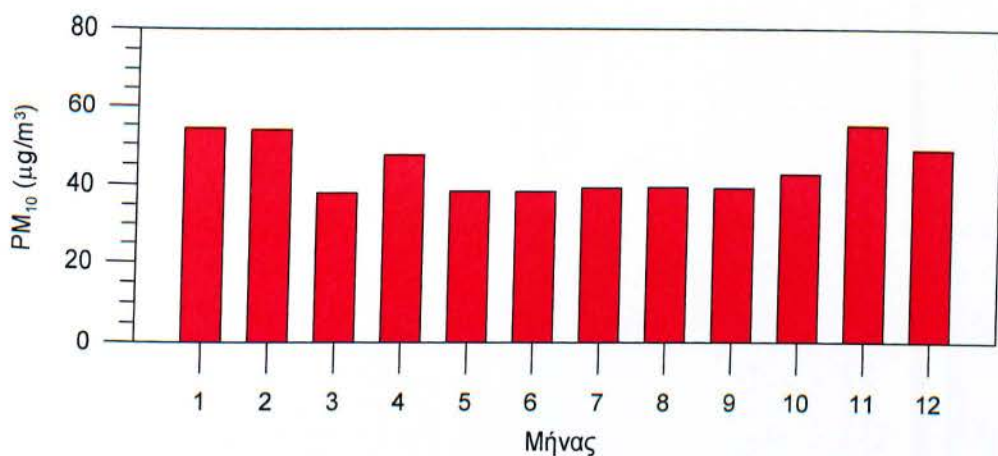


Σχήμα 2.16. Διαχρονική εξέλιξη του ετήσιου αριθμού ημερών με υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει το μέγιστο επιτρεπτό ετήσιο αριθμό ημερών με υπέρβαση.

Από το Σχήμα 2.16 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη του ετήσιου αριθμού ημερών με υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010, εμφανίζει μάλλον πτωτική συμπεριφορά κάτι το οποίο έχει διαπιστωθεί και από άλλες μελέτες από τους Proias et al. (2009, 2011, 2012). Αξίζει να αναφερθεί ότι μόνο το τελευταίο έτος της υπό μελέτη χρονικής περιόδου δεν παρατηρείται υπέρβαση της τιμής 35 που είναι ο μέγιστος επιτρεπτός ετήσιος αριθμός ημερών με υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής. Ειδικότερα, το έτος 2010 καταγράφηκαν 34 ημέρες μη ημερήσια τιμή συγκέντρωσης μεγαλύτερη της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$). Στη συνέχεια, από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010, υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης και από αυτές η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.17.

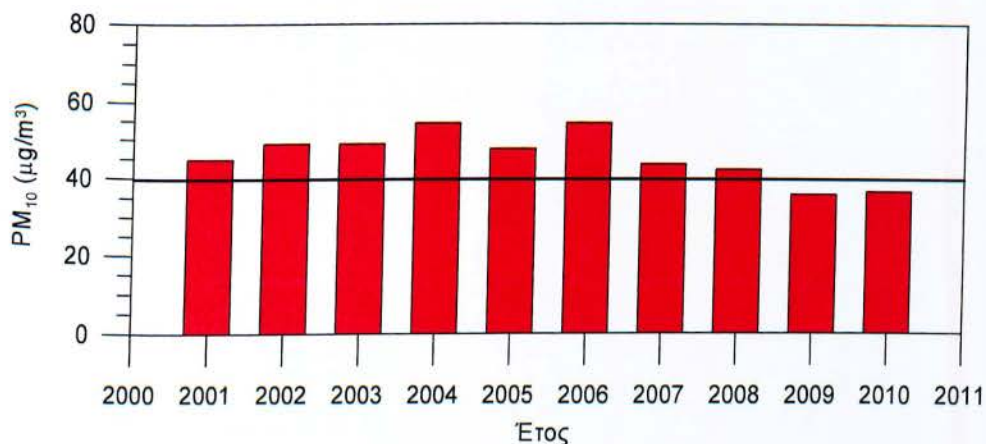
Από το Σχήμα 2.17 διαπιστώνεται ότι η ενδοετήσια μεταβολή αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της 10-ετούς (2001-2010) περιόδου μελέτης εμφανίζει πρωτεύον μέγιστο τέλος φθινοπώρου (Νοέμβριος) και το χειμώνα (Δεκέμβριος - Ιανουάριος - Φεβρουάριος) γεγονός που αποδίδεται στη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης στην πόλη του Βόλου. Βεβαίως, παρατηρείται και ένα δευτερεύον μέγιστο στην αρχή της άνοιξης (Απρίλιος) το οποίο μπορεί να αποδοθεί τόσο στην έντονη διάχυση της γύρης των δένδρων (κυρίως τα πεύκα που βρίσκονται στο όρος Πήλιο) αφενός και αφετέρου σε επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την έρημο της ερήμου Σαχάρα. Το τελευταίο έχει διαπιστωθεί και από άλλες μελέτες που

έχουν πραγματοποιηθεί για τη μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην πόλη του Βόλου (Proias et al. 2009).



Σχήμα 2.17. Ενδοετήσια μεταβολή αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010.

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 2.18 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών.



Σχήμα 2.18. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010. Η ευθεία γραμμή απεικονίζει τη μέγιστη επιτρεπτή ετήσια τιμή συγκέντρωσης (40µg/m³).

Από το Σχήμα 2.18 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου, στη διάρκεια της 10-

ετούς περιόδου, 2001-2010, μόλις προς τέλος της εμφανίζει μικρή πτωτική συμπεριφορά. Αυτό επιβεβαιώνεται από το σχήμα, μιας και η εικονιζόμενη ευθεία γραμμή απεικονίζει τη μέγιστη επιτρεπτή ετήσια τιμή συγκέντρωσης των $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, όπως αυτή καθορίζεται από τη σχετική Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

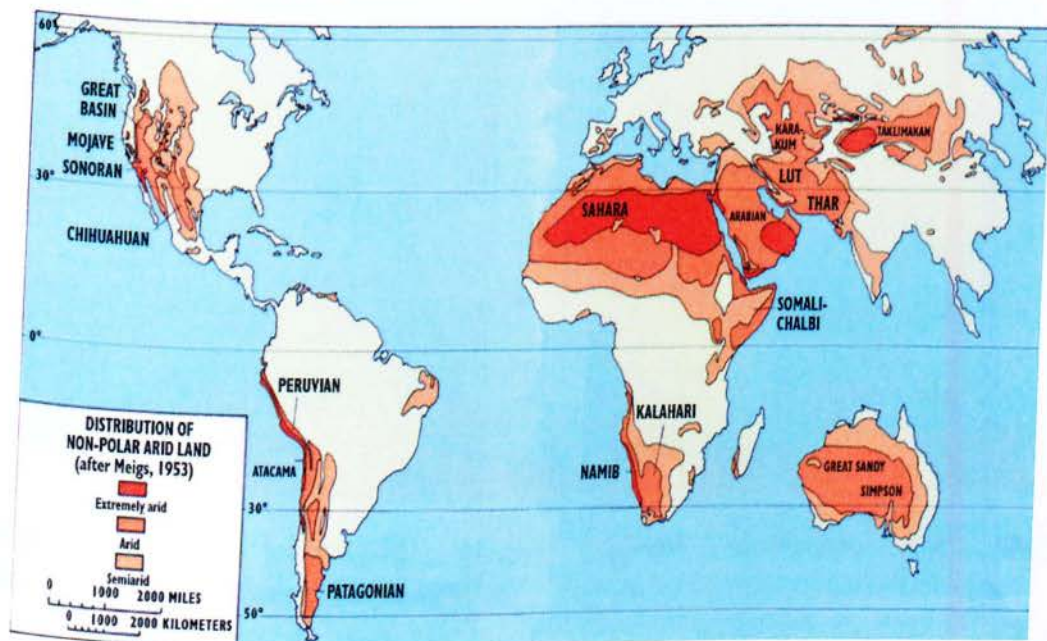
3.1 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ - ΕΡΗΜΟΙ

Τη σημαντικότερη πηγή σωματιδίων με προέλευση τον φλοιό της Γης κατέχουν οι ερημικές περιοχές. Οι ερημικές εκτάσεις οι οποίες αποτελούν το 1/3 της χερσαίας επιφάνειας, υφίστανται ακραίες φυσικές και χημικές διεργασίες και παρέχουν άφθονα προσχηματισμένα σωματίδια. Οι αμμόλοφοι και οι ξηρές επιφάνειες περιέχουν μόνο 4% της μάζας των σωματιδίων, με μέγεθος κατάλληλο για μεταφορά σε μακρινές αποστάσεις, ενώ στις ξηρές κοιλάδες το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται στο 57% (D' Almeida and Schutz 1983).

Είναι γνωστό ότι η σκόνη που προέρχεται από την έρημο Σαχάρα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις βιογεωχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στη Μεσόγειο Θάλασσα (Goudie and Middleton 2001) και είναι μία από τις μεγαλύτερες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων σκόνης παγκοσμίως, ενώ υπολογίζεται ότι περίπου η μισή ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που εναποτίθεται στους ωκεανούς προέρχεται από την έρημο της Σαχάρας. Σε σχετική μελέτη αναφέρεται ότι ένα επεισόδιο σκόνης σύντομης διάρκειας από την περιοχή της Σαχάρας μπορεί να αποτελέσει ακόμη και το 30% της συνολικής ετήσιας ροής (Bergametti et al. 1989). Ακόμη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Goudie and Middleton 2006), η μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα μπορεί να είναι υπεύθυνη για το 10-20% των επεισοδίων σωματιδιακής ρύπανσης σε Μεσογειακές χώρες. Κατά τη διάρκεια μάλιστα επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα, η συμμετοχή της μεταφερόμενης σκόνης στα επίπεδα των PM₁₀ σε Μεσογειακές χώρες μπορεί να ξεπεράσει και το 60%, μάλιστα για την Ελλάδα τα 2/3 των υπερβάσεων των ορίων αυτών οφείλονται στη σκόνη από τη Σαχάρα (Χατζόπουλος κ. ά. 2007).

Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία που σχετίζεται με την Ασιατική σκόνη έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών (Iwasaka et al. 1983, Littman 1991, Zaizen et al. 1995, Husar et al. 2001). Έχει υπολογιστεί ότι περίπου 800 Tg κινέζικης σκόνης εισέρχεται στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο, το οποίο μπορεί να είναι όσο το μισό της παγκόσμιας παράγωγης σκόνης (Zhang et al. 1997). Περίπου το 98% των ετήσιων εκπομπών σκόνης στην Ανατολική Ασία προέρχεται από τρεις ερημικές περιοχές: η έρημος Taklimakan συνεισφέρει με 27%, οι έρημοι της Βόρειας Κίνας με 33% και η έρημος Gobi με 38% (Laurent et al. 2006). Επίσης, η εμφάνιση των αμμοθυελλών που προέρχονται από τις άνυδρες περιοχές των ερήμων

Taklimakan και Gobi δεν έχουν επιρροή μόνο στο κλίμα στις τοπικές περιοχές αλλά η σκόνη μεταφέρεται προς τη Βόρειο Αμερική διασχίζοντας τον Ειρηνικό Ωκεανό, επηρεάζοντας τα βιολογικά συστήματα σε όλη την λεκάνη του Ειρηνικού (Wilkening et al. 2000) και την ποιότητα του αέρα στις Η.Π.Α. (VanCuren and Cahill 2002). Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι κυριότερες έρημοι της Γης.



Σχήμα 3.1. Οι βασικότεροι ερήμοι του πλανήτη (<http://www.atmos.umd.edu/~zeng/>).

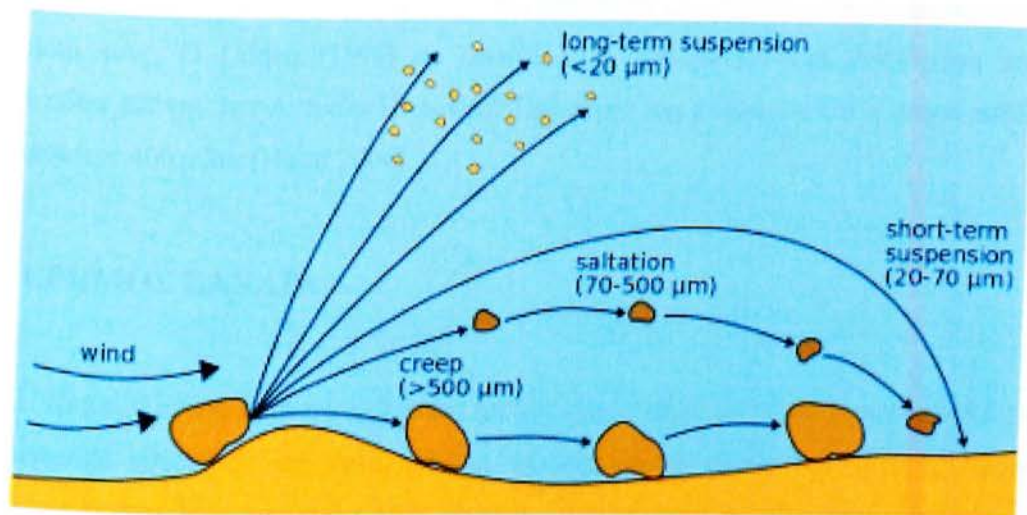
3.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΚΟΝΗΣ-ΓΕΝΙΚΑ

Οι επιστήμονες στα τέλη του 18ου αιώνα θεωρούσαν ότι κύρια αιτία για τη μεταφορά αιωρούμενης σκόνης ήταν η τριβή του ανέμου με το έδαφος (Free 1911). Ωστόσο στα σύγχρονα μοντέλα διασποράς της σκόνης, αυτή η παράμετρος συνυπολογίζεται μαζί με μετεωρολογικούς παράγοντες με σκοπό την ασφαλέστερη προσομοίωση και πρόγνωση των εκπομπών, της μεταφοράς και εναπόθεσης της σκόνης (Nickovic et al. 2001).

Σύμφωνα με μελέτες, συνήθως τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι 100 μm, μπορούν να παραμείνουν στον αέρα εξαιτίας δυνατών ανέμων (Udden 1898, D' Almeida et al. 1991). Όσον αφορά το μηχανισμό μεταφοράς των σωματιδίων από την επιφάνεια της ερήμου, έχουν προσδιοριστεί τρεις τρόποι που κινούνται οι κόκκοι της άμμου σε περίπτωση που ρυφήξει δυνατός άνεμος (Bagnold 1941), οι οποίοι παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2.

- Ολίσθηση (creep). Οι κόκκοι της άμμου με διάμετρο μεγαλύτερη από 500μm ολισθαίνουν στην επιφάνεια.

- Αναπήδηση (saltation). Οι κόκκοι της άμμου με διάμετρο από 70-500 μm κινούνται, κάνοντας μεγάλα άλματα.
- Αιώρηση (suspension). Οι κόκκοι της άμμου με διάμετρο μικρότερη από 20 μm αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 3.2. Ο μηχανισμός και οι τρόποι μεταφοράς της σκόνης (http://www.wmo.int/pages/index_en.html).

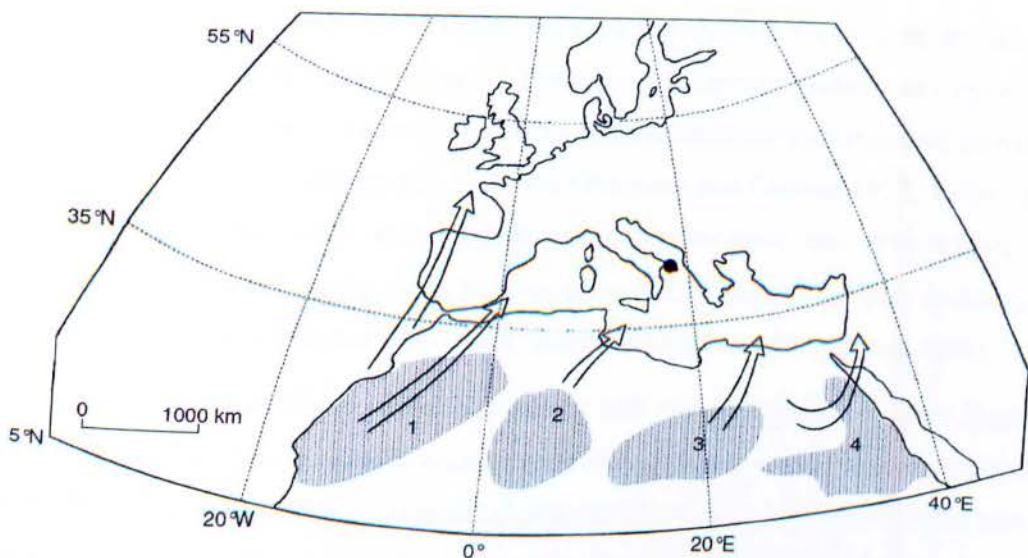
Το μέγεθος των σωματιδίων δεν παίζει ρόλο μόνο στην διεργασία μεταφοράς της σκόνης αλλά επηρεάζει και τον χρόνο παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Jickells and Spokes 2001). Συγκεκριμένα, τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μm μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα περίπου δύο έως και τρεις εβδομάδες. Αντίθετα, τα μεγαλύτερα σωματίδια μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα κάποιες ώρες (Tegen and Fung 1994). Συνεπώς, τα σωματίδια με μεγάλη διάμετρο απομακρύνονται πιο γρήγορα από την ατμόσφαιρα λόγω καθίζησης, εξαιτίας της έλξης της βαρύτητας που δέχονται. Τα σωματίδια που έχουν μικρή διάμετρο, είναι ικανά να ταξιδέψουν σε μακρινές αποστάσεις λόγω της επιρροής ισχυρών ανέμων με αποτέλεσμα να παραμένουν αρκετό διάστημα στην ατμόσφαιρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα σωματίδια σκόνης που μπορούν να μεταφερθούν από τον άνεμο σε μεγάλες αποστάσεις είναι αυτά με διαστάσεις από 0.1 μm έως και 5 μm (D'Almeida et al. 1991). Πολύ συχνά μεταφέρονται σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 5000km, κυρίως πάνω από τη θάλασσα.

Επίσης, έχει αναγνωριστεί ότι η χρονική διάρκεια παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα καθώς και η απόσταση που διανύουν σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 1 μm και 10 μm , εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία της ατμόσφαιρας και τη

βροχή. Ακόμη, όταν η σκόνη ανυψώνεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, οι ταχύτητες μεταφοράς της σκόνης και οι αποστάσεις που διανύονται είναι πολύ μεγαλύτερες λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας των ρευμάτων του αέρα στα μεγαλύτερα ύψη. Για τον εντοπισμό της πηγής των αιωρούμενων σωματιδίων θα πρέπει να ακολουθηθεί η αντίστροφη πορεία του ανέμου που μεταφέρει τη σκόνη και θα βρεθεί η περιοχή από την οποία πραγματοποιήθηκε η εκπομπή τους. Ο Udden (1898) σε έρευνά του, ακολούθησε την αντίστροφη πορεία καταιγίδων σκόνης των Δυτικών Ηνωμένων Πολιτειών και υπολόγισε ότι η σκόνη ταξίδεψε τουλάχιστον 400 μίλια (Husar 2004).

3.3 ΕΡΗΜΟΣ ΣΑΧΑΡΑ

Η έρημος Σαχάρα είναι η μεγαλύτερη έρημος στον κόσμο, έχει έκταση περίπου 8.6 εκατ. τετραγωνικά χιλιόμετρα και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Βόρειας Αφρικής. Βρέχεται δυτικά από τον Ατλαντικό Ωκεανό, Βόρεια από τη Μεσόγειο Θάλασσα και ανατολικά από την Ερυθρά Θάλασσα. Η Σαχάρα χαρακτηρίζεται από αμμοθύελλες γνωστές με διάφορα ονόματα όπως Haboob, Harmattan και Simoom. Οι αμμοθύελλες μεταφέρουν σωματίδια σκόνης χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά προς την Νότια Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή και προς τον Ατλαντικό, όπου τα μικρότερα σε μέγεθος μπορούν να ταξιδέψουν έως την Καραϊβική, την Κεντρική και Βόρεια Αμερική. Έχει εκτιμηθεί ότι το ποσό της σκόνης που εναποτίθενται κάθε χρόνο είναι 170Tg στον Ατλαντικό, 25Tg στη Μεσόγειο και 5Tg στη Καραϊβική (Prospero 1996). Η Σαχάρα έχει χαρακτηριστεί ως η μεγαλύτερη περιοχή που παράγει εδαφική σκόνη προς την ατμόσφαιρα. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι πιο ενεργές πηγές σκόνης της ερήμου της Σαχάρας. Ειδικότερα, οι εμφανιζόμενες στο Σχήμα 2.3 πηγές σκόνης είναι το Μαρόκο (1), η Νότια Αλγερία, το Μαλί και η Νιγηρία (2), η Νότια Λιβύη και Τσαντ (3), η Αίγυπτος και το Βόρειο Σουδάν (4). Τα εικονιζόμενα βέλη δείχνουν τις κύριες διαδρομές των εστιών σκόνης προς την Μεσόγειο θάλασσα και την ηπειρωτική Ευρώπη (Blanco et al. 2003).



Σχήμα 3.2. Ο χάρτης παρουσιάζει τις τέσσερις ποιο παραγωγικές περιοχές-πηγές σκόνης από την Σαχάρα (D'Almeida 1986).

Η σημαντικότερη περιοχή της Σαχάρας που δρα ως πηγή σκόνης όλο τον χρόνο είναι η κοιλάδα Bodèlè στο Βόρειο Chad (Prospero et al. 2002). Η λίμνη Bodèlè ήταν η μεγαλύτερη της Αφρικής μέχρι που αποξηράνθηκε πριν από 6000 χρόνια. Από εκεί προέρχεται το 56% της άμμου της Σαχάρας που φτάνει στον Αμαζόνιο. Η περιοχή αυτή είναι πλούσια σε σίδηρο και φώσφορο, που αποτελούν ιδανικό λίπασμα για τα φυτά της αμερικάνικης ηπείρου (Bristow et al. 2010). Ο άνεμος παρασύρει περισσότερους από 6.5 εκατ. τόνους σκόνης με σίδηρο και 120000 τόνους με φωσφόρο κάθε χρόνο από αυτήν την περιοχή. Το 20% φτάνει στον Αμαζόνιο, το 50% πέφτει στον Ατλαντικό και το υπόλοιπο 30% στη Δυτική Αφρική. Η διαδικασία μεταφοράς της σκόνης από αυτή την περιοχή είναι εντονότερη την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού.

3.4 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΚΟΝΗΣ

Την καλοκαιρινή περίοδο εστίες σκόνης συνδέονται με θερμικές αναταράξεις που δημιουργούνται σε γεωγραφικά πλάτη 15°-20° N πάνω από τη δυτική Αφρική και κινούνται δυτικά, μεταφέροντας σωματίδια σκόνης πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Οι θύσανοι σκόνης που σχηματίζονται πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό συνδέονται με τροπικούς ανατολικούς αεροχειμάρρους που προκύπτουν από την Αφρικάνικη ακτή κάθε 3-4 μέρες. Λόγω της πολύπλοκης δομής της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, η αιωρούμενη σκόνη που κινείται και βόρεια, μπορεί να μεταφερθεί έως τις δυτικές ακτές της Ευρώπης.

Δορυφορικές εικόνες όπως των METEOSAT και GOES δείχνουν ότι χρειάζεται περίπου μια εβδομάδα για να διασχίσει η ερημική σκόνη τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό από την δυτική Αφρική μέχρι την Καραϊβική. Η μεταφορά σκόνης πραγματοποιείται σε μεγάλα υψόμετρα, σε ένα επίπεδο που μπορεί να φτάσει και τα 5-6km (Prospero and Carlson 1972, Talbot et al. 1986), επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο σχηματισμός του αντικυκλώνα των Αζόρων το καλοκαίρι, ο οποίος μεταφέρει τα αιωρούμενα σωματίδια από τροπικές σε υποτροπικές περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού (Goudie and Middleton 2001).

Η εμφάνιση των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρας στη Μεσόγειο έχει μια έντονη εποχική συμπεριφορά και οφείλεται κυρίως από τα συστήματα χαμηλής πίεσης ή κυκλώνες Sharav, οι οποίοι δημιουργούνται νότια των βουνών Atlas από τη θερμική αντίθεση του θαλάσσιου Ατλαντικού αέρα και του ζεστού ηπειρωτικού αέρα, που διασχίζουν τη Βόρεια Αφρική κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού. Οι κυκλώνες Sharav σχηματίζονται κατά το μήκος των Μεσογειακών παράκτιων ζωνών της Βόρεια Αφρικής, κυρίως από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο και ταξιδεύουν από την δύση προς την ανατολή. Έτσι, τα σωματίδια σκόνης από την Βόρεια Αφρική ταξιδεύουν ανατολικά και βόρεια κατά μήκος της λεκάνης της Μεσογείου.

Τα σύννεφα σκόνης εμφανίζονται πρώτα στο δυτικό τομέα της θάλασσας και στη συνέχεια κινούνται ανατολικά με ταχύτητα 7-8 μίρες την ημέρα, ακολουθώντας την μέση κίνηση του κυκλώνα Sharav. Την άνοιξη, αυτή η κίνηση συνεχίζεται τουλάχιστον μέχρι τις ανατολικότερες ακτές της Μεσογείου ενώ το καλοκαίρι, τα σύννεφα σκόνης διεισδύουν ανατολικότερα (Israelevich et al. 2002).

Οι Prezerakos et al. (2010) μελέτησαν τα συστήματα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας συνοπτικής κλίμακας που ευθύνονται για το πολύ σπάνιο φαινόμενο της σημαντικής εναπόθεσης κίτρινης σκόνης ή άμμου στην Ελλάδα σαν συνέπεια της Αιολικής μεταφοράς τους από την περιοχή μιας ενεργής Σαχαριανής αμμοθύελλας που είναι αποτέλεσμα μιας αναπτυσσόμενης ισχυρής ύφεσης. Η ανάλυση μιας τέτοιας περίπτωσης απεκάλυψε ότι δύο ημέρες πριν να συμβεί η εναπόθεση της σκόνης στην βόρεια Ελλάδα το πρωί της 4ης Απριλίου 1988, μια αμμοθύελλα εμφανίστηκε στο ΒΔ τμήμα της ερήμου Σαχάρας εξαιτίας μιας αναπτυσσόμενης μικρού σχετικά γεωγραφικού πλάτους ύφεσης. Οι ισχυροί άνεμοι που συνόδευαν την ύφεση μέσα σε ασταθή θερμική στρωμάτωση και ισχυρή κατακόρυφη ανάμιξη ανάγκαζαν τη σκόνη να αιωρείται και να κινείται προς τα πάνω αφού βρισκόταν σε περιοχή ισχυρών ανοδικών κινήσεων συνοπτικής κλίμακας ιδιαίτερα μπροστά από την αναπτυσσόμενη ύφεση. Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα σ' ολόκληρη την τροπόσφαιρα και ιδιαίτερα στο κατώτερο μισό τμήμα της, όπου οι κόκκοι της άμμου με μορφή νέφους

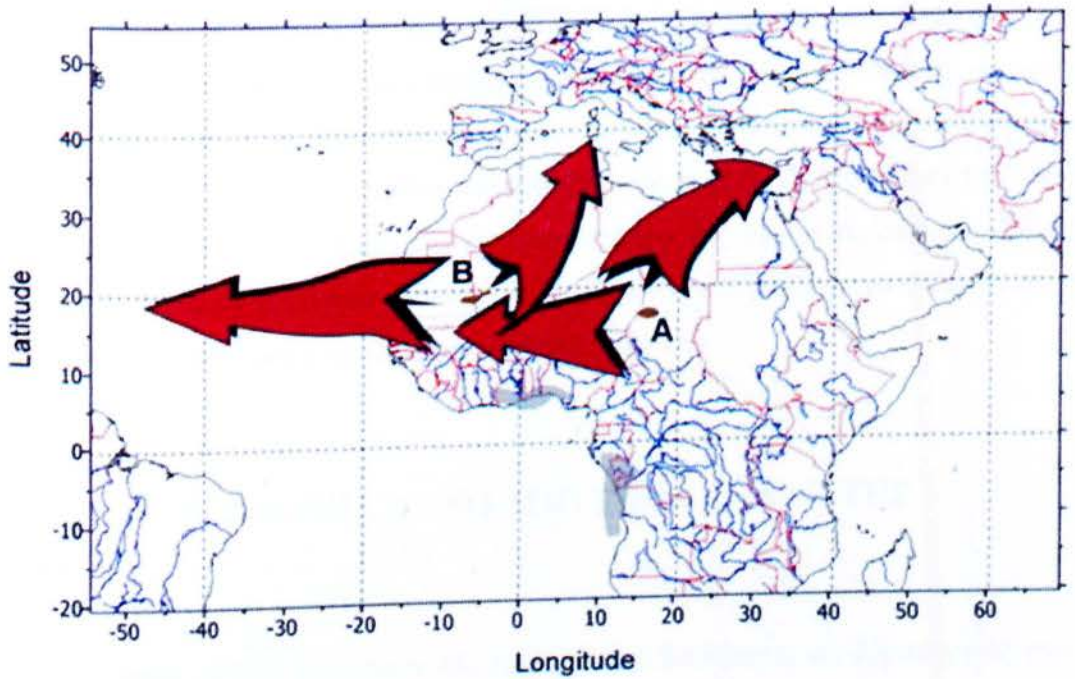
παρασύρονται από το ρεύμα, ήταν νότια-νοτιοδυτική μεταφέροντας έτσι το νέφος της άμμου σε μεγάλη απόσταση φθάνοντας στην βόρεια Ελλάδα και τα νότια Βαλκάνια. Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία στη πορεία των τροχιών του νέφους της άμμου έξω από τη ΒΔ Σαχάρα προς την Ελλάδα, ιδιαίτερα πάνω από την Ιταλία, ήταν εξαιρετικά αντικυκλωνική με αποτέλεσμα τη δημιουργία πεδίου ισχυρών συνοπτικής-κλίμακας κατολισθήσεων που μαζί με τη δύναμη της βαρύτητας ανάγκαζαν την άμμο ή/και τη σκόνη να έχουν καθοδική συνιστώσα κατακόρυφης κίνησης και έτσι να εμφανιστεί επάνω στις επιφάνειες των αντικειμένων και του εδάφους στη βόρεια Ελλάδα. Για την καλύτερη διαπίστωση των απόψεων αυτών έγινε επικέντρωση στη μελέτη των δύο ημερών τμημάτων των τροχιών των δειγμάτων του ατμοσφαιρικού αέρα που υπολογίστηκαν με αφετηρία τη Θεσσαλονίκη στις 00:00 UTC 4 Απριλίου 1988 προχωρώντας 5 ημέρες προς τα πίσω στις στάθμες των 900, 850, 700, 500 και 300hPa. Επίσης, από ειδικά επεξεργασμένες δορυφορικές φωτογραφίες επιβεβαιώθηκαν αποτελεσματικά η προέλευση και η διαδρομή του νέφους της άμμου.

3.5 ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΣΚΟΝΗΣ

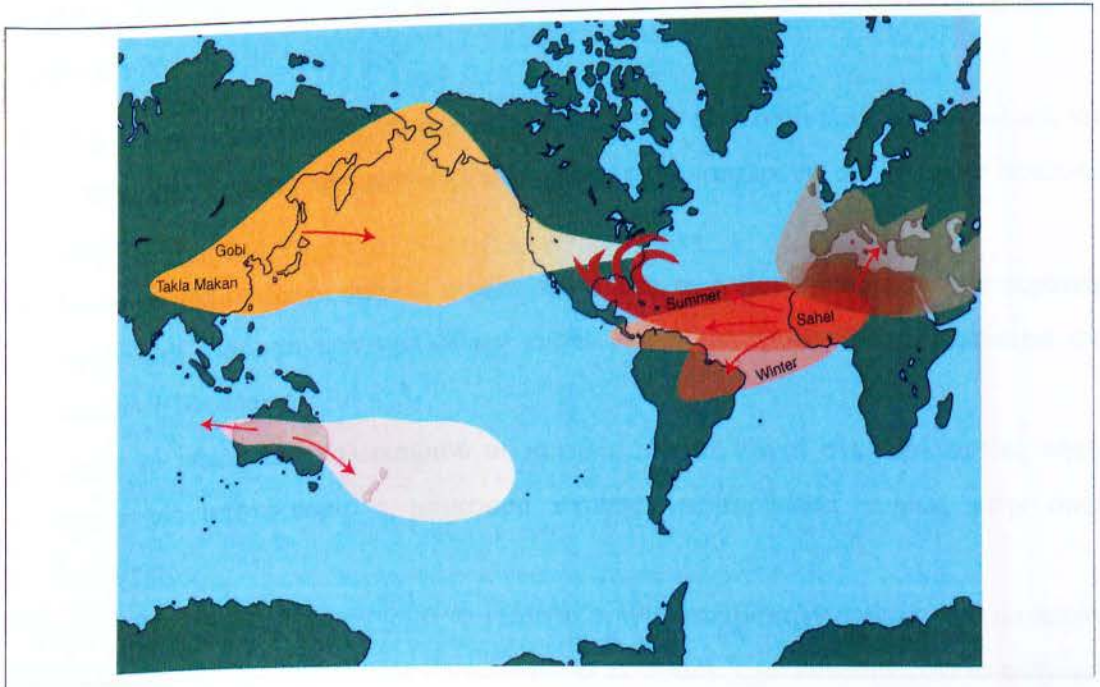
Η σκόνη της Σαχάρας μεταφέρεται συνήθως από τις πηγές της κατά μήκος τριών διευθύνσεων (Goudie and Middleton 2001) όπως φαίνονται και στο Σχήμα 2.4.

- Ανατολικά πάνω από την Ανατολική Μεσόγειο (Herut and Krom 1996, Kubilay et al. 2000) και φτάνοντας έως τη Μέση Ανατολή (Ganor et al. 1991).
- Βόρεια πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα (Loye-Pilot et al. 1986), με προορισμό τη Νότια Ευρώπη (Avila et al. 1997, Rodriguez et al. 2001) και μερικές φορές έως τη Σκανδιναβία (Franzen et al. 1994).
- Δυτικά πάνω από το Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό (Moulin et al. 1997), με προορισμό τη Βόρεια (Perry et al. 1997) και τη Νότια Αμερική (Swap et al. 1992).

Το σύστημα μεταφοράς της Αφρικάνικης σκόνης (Σχήμα 3.5) έχει εποχιακή εξάρτηση: την καλοκαιρινή περίοδο (Μάιος - Νοέμβριος) αληγείς άνεμοι μεταφέρουν σκόνη από τη Σαχάρα στην Καραϊβική και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Ενώ, τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος - Απρίλιος) η ροή της Αφρικάνικης σκόνης μετατοπίζεται στη Βόρεια Αμερική, όπου η σκόνη τρέφει και αναζωογονεί με πολύτιμα συστατικά τα δάση του Αμαζονίου. Τέλος, όλο το χρόνο, καταιγίδες σκόνης από την Βόρεια Αφρική εναποτίθενται στην Μεσόγειο και στην Ευρώπη.



Σχήμα 3.4. Διαδρομές της σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρας (Israelevich et al. 2002).



Σχήμα 3.5. Τα κυριότερα συστήματα μεταφοράς σκόνης. Το σύστημα μεταφοράς της Αφρικάνικης σκόνης διακρίνεται με κόκκινο χρώμα. Το σύστημα μεταφοράς της Ασιατικής σκόνης διακρίνεται με κίτρινο χρώμα. Το σύστημα μεταφοράς της Αυστραλιανής σκόνης διακρίνεται με ροζ χρώμα (Kellogg and Griffin 2006).

Το σύστημα της Ασιατικής σκόνης εξάγει σκόνη κυρίως την Άνοιξη (Μάρτιο – Μάιο). Τα σωματίδια σκόνης από την Ασία κινούνται πάνω από τον Ειρηνικό Ωκεανό και μπορούν να φτάνουν μέχρι τη δυτική ακτή της Βόρειας Αμερικής. Περιστασιακά, εξαιρετικά μεγάλα επεισόδια σκόνης μπορούν να ταξιδέψουν πάνω από τις Η.Π.Α. με προορισμό την Ευρώπη, κάνοντας ουσιαστικά έναν σχεδόν ολοκληρωμένο γύρο της υδρόγειος σφαίρας. Τέλος, οι έρημοι της Αυστραλίας παράγουν μεγάλες θύελλες σκόνης που μπορούν να φτάσουν στη Νέα Ζηλανδία και στα μισά του δρόμου προς τη Νότια Αμερική.

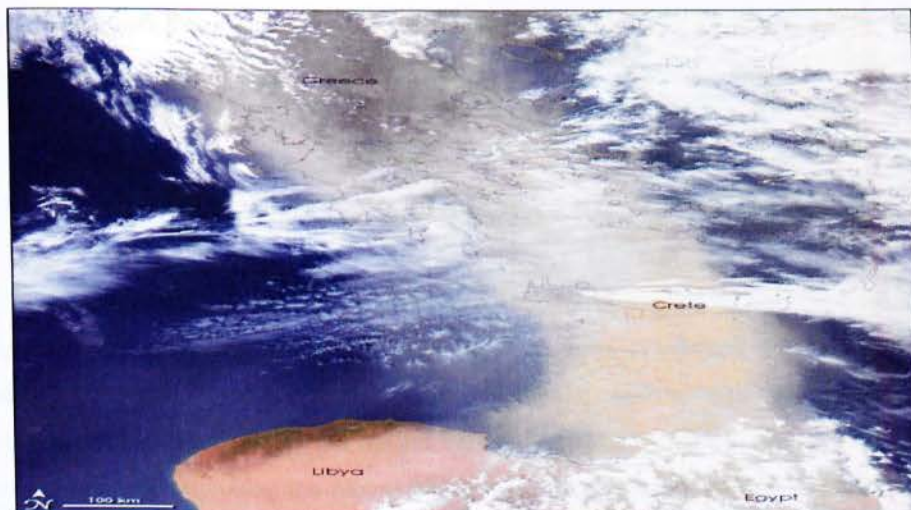
3.6 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΟΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, επιστημονικές έρευνες που βασίζονται σε δορυφορικές εικόνες έχουν επικεντρωθεί στην προσπάθεια ερμηνείας των διαφορετικών φάσεων του κύκλου μεταφοράς της σκόνης πάνω από την Μεσόγειο και την Ευρώπη. Έτσι, με τη βοήθεια δορυφορικών παρατηρήσεων (Moulin et al. 1998) αναγνωρίστηκαν τρεις βασικές καταστάσεις που ευθύνονται για την μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο:

- Την περίοδο της άνοιξης, οι κυκλώνες Sharav που κινούνται προς τα ανατολικά, κατά μήκος της βόρειας αφρικάνικης ακτογραμμής, μεταφέρουν σκόνη στην ανατολική Μεσόγειο.
- Κατά το καλοκαίρι οι υψηλές πιέσεις πάνω από τη Λιβύη εμποδίζουν την περαιτέρω ανατολική διάδοση των κυκλώνων αυτών και η μεταφορά πραγματοποιείται στην κεντρική Μεσόγειο.
- Προς το πέρασ του καλοκαιριού οι χαμηλές πιέσεις κοντά στις Βαlearίδες νήσους έχουν ως αποτέλεσμα η μεταφορά σκόνης να συμβαίνει κυρίως στην δυτική Μεσόγειο.

Η καλύτερη δυνατή εκτίμηση για το μέγιστο αριθμό συμβάντων σκόνης σε μια περίοδο δύο εβδομάδων είναι τρία επεισόδια (Israelevich et al. 2002). Έχει εκτιμηθεί ότι το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Βόρειας Αφρικής προς την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου δημιουργείται από την ύπαρξη χαμηλής πίεσης στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής και της υψηλής πίεσης στην περιοχή της Μέσης Ανατολής. Επίσης, ο συνδυασμός χαμηλής πίεσης στην περιοχή μεταξύ Λιβύης και Αιγύπτου ευνοούν τον μηχανισμό μεταφοράς σκόνης, όπου λεπτόκοκκη σκόνη ανασκόνεται στην ατμόσφαιρα και

μεταφέρεται στην Ανατολική Μεσόγειο με νότιο ρεύμα αέρα. Τα συμβάντα μεταφοράς σκόνης στην περιοχή της Μεσογείου μελετώνται συστηματικά άνω των 20 ετών και οι έρευνες έδειξαν ότι το φαινόμενο λαμβάνει χώρα στην Ανατολική Μεσόγειο κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι άλλα στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζεται και τη χειμερινή περίοδο με τη διάρκεια του όμως να περιορίζεται το πολύ σε 1-2 ημέρες. Στο Σχήμα 2.7 απεικονίζεται από δορυφορική φωτογραφία ένα επεισόδιο μεταφοράς Αφρικάνικης σκόνης πάνω από τη Μεσόγειο θάλασσα.



Σχήμα 2.7. Ισχυροί άνεμοι μεταφέρουν σκόνη Σαχάρας από την Αίγυπτο και από την Λιβύη πάνω από την Μεσόγειο θάλασσα στη διάρκεια του επεισοδίου της 17ης Απριλίου του 2005 (<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=5437>).

3.7 ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΕΡΟΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΗΣ ΣΚΟΝΗΣ

Η μικροσκοπική εξέταση σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρα που πραγματοποιήθηκε από τον Barac (1901) έδειξε ότι η σκόνη αποτελούνταν από ασύμμετρα θραύσματα κρυστάλλων, σωματίδια ορυκτών που είχαν σκελετούς μικροοργανισμών, σωματίδια αιθάλης, μικρές ποσότητες ανθρακικού ασβέστη, κομμάτια χαλαζία και χλωριούχο νάτριο. Το κοκκινωπό χρώμα της σκόνης οφείλεται στα σιδηρούχα συστατικά της. Νέα επιστημονικά στοιχεία επίσης δείχνουν ότι η χημική σύνθεση των σωματιδίων που βρέθηκαν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από την πηγή τους αλλάζει ελάχιστα κατά την πολυήμερη μεταφορά τους (Husar et al. 2001). Ωστόσο, ορισμένες μετρήσεις δείχνουν ότι τα σωματίδια σκόνης επικαλύπτονται με θειικό άλας, ιδιαίτερα όταν μεταφέρονται πάνω από ρυπασμένες περιοχές όπως η Μεσόγειος. Τα σύννεφα είναι ένας πιθανός παράγοντας που να εμπλουτίζουν

τα σωματίδια σκόνης με θεϊκά στοιχεία, παρόλα αυτά έχουν βρεθεί σωματίδια με θεϊκό άλας χωρίς να έχουν περάσει μέσα από σύννεφα (Wurzler et al. 2002).

Επίσης, μελέτη ερευνητών του Τμήματος Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου απέδειξε ότι η κόκκινη βροχή που καταγράφηκε στις 9 Απριλίου του έτους 2000, στην πόλη της Θεσσαλονίκης περιείχε ραδιενεργά μέταλλα ^{135}Cs , ^7Be και ^{40}K (Papastefanou et al. 2001). Σωματίδια σκόνης που συλλέχθηκαν στις 12 Απριλίου του 2002 κατά την διάρκεια επεισοδίου σκόνης από την έρημο Σαχάρα που πραγματοποιήθηκε πάνω από την Μεσόγειο Θάλασσα. Οι Blanco et al. (2003) βρήκαν ότι το δείγμα περιείχε O, Si, Al, Mg, K, Fe, S, Ca και Ti.

3.8 ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΣΑΧΑΡΑ

Το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης σε μεγάλες αποστάσεις από τις ερήμους Σαχάρα και Γκόμπι έχει αναγνωριστεί εδώ και αιώνες. Συχνά, οι αρχαίοι ναυτικοί που ταξίδευαν στο τροπικό Ατλαντικό έχουν αναφέρει την εναπόθεση σκόνης στα πλοία τους που βρισκόντουσαν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από την Αφρικανική ήπειρο. Μια από τις πρώτες επιστημονικές παρατηρήσεις του φαινομένου αυτού παρουσιάστηκε από τον Δαρβίνο (1845). Το 1832, ο Δαρβίνος εντυπωσιάστηκε από το θέαμα της σκόνης που περικύκλωσε το πλοίο του, στο Πράσινο Ακρωτήριο και έγραψε: «Η σκόνη που πέφτει, καλύπτει τα πάντα στο πλοίο και πληγώνει τα μάτια των ανθρώπων. Κάποια πλοία παθαίνουν βλάβες λόγω της περιεργής ατμόσφαιρας. Έχει πέσει σε καράβια που βρίσκονται εκατοντάδες μίλια από την ακτή της Αφρικής, μέχρι και 1600 μίλια μακριά προς τον Βορρά και τον Νότο» (Cerveny 2005).

Η πρώτη γνωστή επιστημονική περιγραφή για το φαινόμενο της μεταφορά σκόνης Σαχάρας έγινε από τον Godefroy Wendelin (1646). Ο Wendelin κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του στις Βρυξέλλες, συνέλλεξε δείγμα από τη βροχή που έπεσε, παρατήρησε το κίτρινο χρώμα και τη ξινή γεύση στη ποσότητα του νερού που εξέτασε. Δυστυχώς, τα πειράματα του δεν οδήγησαν στα αίτια του φαινομένου της κόκκινης βροχής, αλλά σήμερα γνωρίζουμε ότι το φαινόμενο αυτό, είναι αποτέλεσμα της υγρής εναπόθεσης της σκόνης από τη Σαχάρα που διασχίζει την Μεσόγειο και φτάνει στην Ευρώπη (Stout et al. 2009). Ο Ehrenberg κατέγραψε 340 επεισόδια σκόνης που εμφανίστηκαν πριν το 1847 και πρόσθεσε 193 επιπλέον περιστατικά το 1870 (Husar 2004). Μια από τις πρώιμες σημαντικές μελέτες για τη μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα πραγματοποιήθηκε από τον Dinklage (1891). Βασισμένος σε στοιχεία δεκατριών χρόνων, διαπίστωσε ότι τα συμβάντα σκόνης εμφανίζονται κυρίως τον Ιανουάριο

και τον Φεβρουάριο. Παρατήρησε ότι η σκόνη προέρχεται από τις ακτές της Δυτικής Αφρικής και εκτίνεται τουλάχιστον 1400 μίλια από την ακτή (Lefohn et al. 1999). Μια πρόωμη ανάλυση των περιστατικών της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα που συνέβησαν την χρονική περίοδο 1782-1898, αποκάλυψε ότι το φαινόμενο αυτό ήταν πιο συχνό τα χρόνια εκείνα που η έρημος Σαχάρα ήταν ξηρότερη (Krebs 1903). Η μεγαλύτερη ανάλυση του περιστατικού μεταφοράς της σκόνης Σαχάρας στην Ευρώπη σημειώθηκε τον Μάρτιο του 1901. Καταγράφηκε από τους Hellman and Meinardus (1901), Valentin (1902), Vanderlinden (1901) και αρκετούς άλλους ερευνητές. Οι Hellman and Meinardus (1901) αναφέρουν ότι μέρος της θύελλας σκόνης στις 11 Μαρτίου του 1901 κινήθηκε στα υψηλότερα στρώματα, 1-2km πάνω από την ζώνη σχηματισμού της βροχής. Τρεις μέρες αργότερα, η σκόνη βυθίστηκε αρκετά χαμηλά και λόγω της βροχής απομακρύνθηκε από την ατμόσφαιρα. Τα δεδομένα της εναπόθεσης της σκόνης για το επεισόδιο το Μάρτιο του 1901 συλλέχθηκαν σε διάφορες τοποθεσίες στην Ευρώπη και κυμαίνονταν από 1-11g/m². Επίσης, σύμφωνα με τους Hellmann and Meinardus (1901) η περιοχή της Ευρώπης που καλύφθηκε από τη σκόνη κυμαινόταν στα 440000km², ενώ το συνολικό ποσό της σκόνης που κατακάθισε ήταν περίπου 1.8Tg και η μέση εναπόθεση ήταν 4.8g/m².

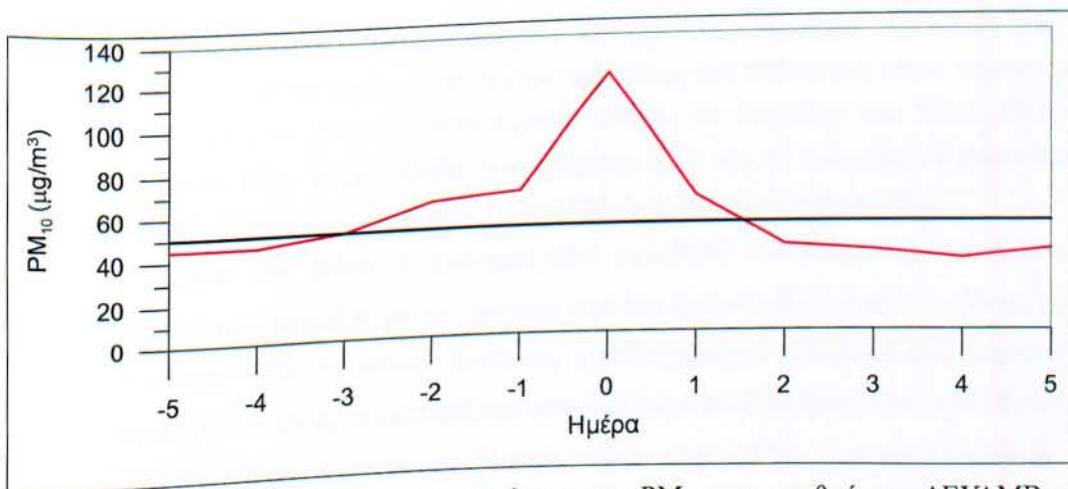
Το Φεβρουάριο του 1903, 21-22 επεισόδια μεταφοράς σκόνης επηρέασαν τη Βόρεια Ευρώπη, συγκεκριμένα τη Νότια Αγγλία, τη Βόρεια Γαλλία, τη Γερμανία, τη Δανία και την Ολλανδία, αντίθετα ήταν αισθητή η απουσία της σκόνης στην Νότια Ευρώπη. Η τροχιά της σκόνης έφτασε στην Αγγλία μισή μέρα πριν φθάσει στην Γερμανία. Σύμφωνα με τον Heilmann (1903) η θύελλα σκόνης το Φεβρουάριο του 1903 ταξίδεψε στα υψηλότερα στρώματα και με ταχύτητα 50miles/h. Η μικροσκοπική ανάλυση της σκόνης αποδεικνύει την προέλευση της από την έρημο Σαχάρα. Με βάση το επιστημονικό περιοδικό Editor of Monthly Weather Review (1901) η πρώτη χημική εξέταση της αερομεταφερόμενης σκόνης πραγματοποιήθηκε από τον Barac (1901), ο οποίος ανέλυσε τη χημική σύνθεση των σωματιδίων σκόνης κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας πάνω από την Αδριατική θάλασσα.

3.9 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΚΟΝΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης αναλύθηκαν περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, όπου παρατηρείται σχετικά αυξημένη συχνότητα εμφάνισης τέτοιων επεισοδίων. Ειδικότερα, μελετάται η επίδρασή τους στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των PM₁₀ σε σταθμό καταγραφής της σωματιδιακής ρύπανσης που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης του Βόλου. Οι ημερήσιες

συγκεντρώσεις των PM_{10} στον υπό μελέτη σταθμό, ελήφθησαν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της «μεθόδου των υπερτιθεμένων εποχών» (Panofsky and Brier 1968).

Στο Σχήμα 2.8 η ημέρα «μηδέν» αντιπροσωπεύει τη μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} κατά τις ημέρες εκείνες που καταγράφηκαν περιπτώσεις μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στον Ελλαδικό χώρο. Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM_{10} κατά τη διάρκεια πέντε ημερών πριν και πέντε ημερών μετά την ημέρα «μηδέν», κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.



Σχήμα 2.8. Μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM_{10} στο σταθμό της ΔΕΥΑΜΒ πέντε ημέρες πριν και πέντε ημέρες μετά από επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, κατά την περίοδο 2007-2011. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη μέγιστη ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης.

Από το Σχήμα 2.8 διαπιστώνεται ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας (ημέρα «μηδέν»), η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} στον υπό μελέτη σταθμό αυξάνει κατά 242%, περίπου, σε σχέση με τη μέγιστη ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50 \mu g/m^3$) που καθορίζεται από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (EU 1999).

Αποτελέσματα πρόσφατων μελετών είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, οι Kaskaoutis et al. (2008) ανέλυσαν μια περίπτωση έντονης μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα που συνέβη στην Ανατολική Μεσόγειο και την Ελλάδα στις 16-17/04/2005 χρησιμοποιώντας δορυφορικές παρατηρήσεις και επίγειες μετρήσεις. Διαπίστωσαν ότι, κατά τη διάρκεια των ημερών του Απριλίου 2005, η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} στην Αθήνα έφθασε τα $150 \mu g/m^3$ στις 11-12/04 και ξεπέρασε τα $200 \mu g/m^3$ στις 17/04. Επίσης, οι Larissi et al. (2009) ανέλυσαν περιπτώσεις μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στη διάρκεια της περιόδου 1-28/02/2009 με επίγειες παρατηρήσεις σε δύο θέσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Διαπίστωσαν ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις των PM_{10} στις δύο θέσεις παρατήρησης έφθασαν τα $153 \mu g/m^3$ και τα $110 \mu g/m^3$ στις 07/02/2009. Εκτός αυτών, οι Proias et al. (2009) μελέτησαν τις επιπτώσεις στη διαμόρφωση των επιπέδων

συγκέντρωσης των PM_{10} στην πόλη του Βόλου, κατά την 3-ετία 2005-2007, σε περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα και διαπίστωσαν ότι η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} , κατά τη διάρκεια της ημέρας επεισοδίου, αυξήθηκε περίπου 2 και 4 φορές, σε σχέση με τη μέση τιμή συγκέντρωσης των PM_{10} πέντε ημέρες πριν και μετά την ημέρα του επεισοδίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών της χρονικής περιόδου 2000-2009 από τον σταθμό που είναι εγκατεστημένος στο κέντρο της πόλης του Βόλου που είναι: το μονοξειδίο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το επιφανειακό όζον (O_3), το μονοξειδίο του άνθρακα (CO) και τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των $10\mu m$ (PM_{10}), διαπιστώνονται τα εξής:

Για το διοξείδιο του θείου: Η ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της θερμής περιόδου χαρακτηρίζεται από ένα πρωινό μέγιστο που συνδέεται με την πρωινή δραστηριότητα της πόλης. Αντίθετα, η ενδοημερήσια μεταβολή στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό) τα οποία συνδέονται, κατά κύριο λόγο, με τη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης. Η ενδοετήσια μεταβολή του χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους και ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου εμφανίζει ελαφρά καθοδική τάση, στη διάρκεια της 7-ετούς περιόδου, 2001-2007 στη διάρκεια της οποίας υπάρχει συνεχής καταγραφή του ρύπου.

Για το μονοξειδίο του άνθρακα: Η ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του άνθρακα τόσο στη διάρκεια της ψυχρής, όσο και στη διάρκεια της θερμής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό) τα οποία συνδέονται, κατά κύριο λόγο, τον κυκλοφοριακό φόρτο της θέσης του σταθμού. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα επίπεδα διακύμανσης της ενδοημερήσιας μεταβολής του μονοξειδίου του άνθρακα στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους είναι υψηλότερα από αυτά της θερμής. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται τόσο στον αυξημένο κυκλοφορικό φόρτο, όσο και στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, γεγονός που ενδεχομένως να οφείλεται σε επικράτηση δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών (π.χ. φαινόμενο θερμοκρασιακής αναστροφής) για διάχυση και διασπορά του ρύπου. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη του ρύπου παρουσιάζει έντονη καθοδική

τάση γεγονός που συνδέεται με τη συνεχή μείωση των πηγών του συγκεκριμένου ρύπου (οχήματα παλαιάς τεχνολογίας και βελτίωση της τεχνολογίας καύσης στους κινητήρες των νέων οχημάτων).

Για το μονοξειδίο του αζώτου: Η ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους χαρακτηρίζεται από ένα πρωινό μέγιστο, ενώ η ενδοημερήσια μεταβολή στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Ένα πρωτεύον (πρωινό) και ένα δευτερεύον (βραδινό). Όσον αφορά την ενδοημερήσια μεταβολή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, παρατηρείται ότι η κυρίαρχη κορυφή εμφανίζεται κατά τις πρωινές ώρες και η δευτερεύουσα κορυφή κατά τις απογευματινές ώρες, που συμπίπτει προφανώς με κορυφές των αστικών δραστηριοτήτων (π.χ., κίνηση, ώρες λειτουργίας της αγοράς, και η λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης). Η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2007, εμφανίζει καθοδική τάση στο σύνολο σχεδόν της συνεχούς καταγραφής του, εντούτοις το τελευταίο έτος εμφανίζει μια αύξηση που μπορεί να οφείλεται στην περαιτέρω αύξηση της βιομηχανικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή.

Για το διοξείδιο του αζώτου: Η ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της θερμής καθώς και της ψυχρής περιόδου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα ένα πρωινό και ένα βραδινό. Όσον αφορά την ενδοημερήσια μεταβολή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους, παρατηρείται ότι η κυρίαρχη κορυφή παρατηρείται κατά τις πρωινές ώρες και μάλιστα μετατοπισμένη κατά μια ώρα αργότερα σε σχέση με την ώρα εμφάνισης του μέγιστου της θερμής περιόδου, γεγονός που αποδίδεται με τις κορυφές των πρωινών αστικών δραστηριοτήτων. Η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους κάτι το οποίο έχει διαπιστωθεί και από άλλες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στη συγκεκριμένη περιοχή.

Για το επιφανειακό όζον: Η ενδοημερήσια μεταβολή του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της θερμής περιόδου καθώς και της ψυχρής χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο που εμφανίζεται τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες από 11:00 έως 18:00, όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει το μέγιστο. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια των μηνών αυτών, δεδομένου ότι το όζον σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου η οποία

χαρακτηρίζεται από μέγιστο που εμφανίζεται στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, γεγονός που συμπίπτει με το μέγιστο της φωτοχημικής παραγωγής του επιφανειακού όζοντος που συναρτάται με την ηλιακή δραστηριότητα και τη θερμοκρασία. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος εμφανίζει μικρή καθοδική τάση, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης του.

Για τα αιωρούμενα σωματίδια: Η διαχρονική εξέλιξη του ετήσιου αριθμού ημερών με υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2001-2010, εμφανίζει μάλλον πτωτική συμπεριφορά στο συγκεκριμένο σταθμό. Η ενδοετήσια μεταβολή αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της 10-ετούς (2001-2010) περιόδου μελέτης εμφανίζει πρωτεύον μέγιστο τέλος φθινοπώρου (Νοέμβριος) και το χειμώνα (Δεκέμβριος – Ιανουάριος - Φεβρουάριος) γεγονός που αποδίδεται στη λειτουργία των συστημάτων κεντρικής θέρμανσης στην πόλη του Βόλου. Βεβαίως, παρατηρείται και ένα δευτερεύον μέγιστο στην αρχή της άνοιξης (Απρίλιος) το οποίο μπορεί να αποδοθεί τόσο στην έντονη διάχυση της γύρης των δένδρων (κυρίως τα πεύκα που βρίσκονται στο όρος Πήλιο) αφενός και αφετέρου σε επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την έρημο της ερήμου Σαχάρα. Τέλος, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη του Βόλου, στη διάρκεια της 10-ετούς περιόδου μελέτης, μόλις προς τέλος της εμφανίζει μικρή πτωτική συμπεριφορά.

Μεταφορά σκόνης: Τέλος, κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας, η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} στο συγκεκριμένο σταθμό αυξάνεται κατά 242%, περίπου, σε σχέση με τη μέγιστη ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), που καθορίζεται από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία.

Βιβλιογραφία

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Avila, A., Queralt-Mitjans, I., Alarcón, M. (1997). Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain. *Journal of Geophysical Research*, 102, D18, 21977-21996.
- Bagnold, R.A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen, New York,
- 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 Built Environment*, 13, 271-275.
- Bergametti, G., Gomes, L., CoudeH-Gaussen, G., Rognon, P., Le Coustumer, M.N. (1989). African dust observed over Canary Islands: source regions identification and transport pattern for some summer situation. *Journal of Geophysical Research*, 94, 14855-14864.
- Blanco, A., De Tomasi, F., Filippo, E., Manno, D., Perrone, M.R., Serra, A., Tafuro, A.M., Tepore, A. (2003). *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 3, 4633-4670.
- Botkin, D., Band Keller, E.A. (1995). *Environmental Science. Earth as a Living Planet*. New York, John Willey and Son Inc.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B. and Stern, A.C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Edition, Academic Press.
- Bristow, C.S., Hudson-Edwards, K.A., Chappell, A. (2010). Fertilizing the Amazon and equatorial Atlantic with West African dust. *Geophysical Research Letters*, 37, L14807, 5 pages.
- Cerveny, R.S. (2005). Charles Darwin's Meteorological Observations aboard the H.M.S Beagle. *Buletin of American Meteorological Society*, 86, 1295-1301.
- Chen Ke - Yi (2010). The Northern path of Asian dust transport from the Gobi desert to North America. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3(3), 155-159.
- Chevone, B.I. and Linzon, S.N. (1988). Tree decline in North America. *Environmental Pollution*, 50, 87-99.
- Churg, A. and Brauer, M. (2000). Ambient atmospheric particles in the airways of human lungs, *Ultrastruct. Pathol.* 24(6), 353-361.
- Almeida, G.A., Schutz, L. (1983). Number, Mass and Volume Distributions of Mineral Aerosols and Soils of the Sahara. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, 233-243.

- D'Almeida, G.A. (1986). A Model for Saharan Dust Transport. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 903–916.
- D'Almeida, G.A., Koepke, P., Shettle, E. (1991). *Atmospheric Aerosols: Global Climatology and Radiative Characteristics*. A. Deepak Publishing.
- European Environment Agency (EEA) (2009). *Spatial assessment of PM10 and ozone concentrations in Europe (2005)*.
- EU (1999). Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal L 163 (29/06/1999)*, 41-60.
- Franzen, L.G., Hjelmroos, M., Kallberg, P., Brorstrom-Lunden, E., Junnto, S., Savolainen, A.-L. (1994). The 'yellow snow' episode of northern Fennoscandia, March 1991-a case study of long-distance transport of soil, pollen and stable organic compounds. *Atmospheric Environment*, 28(22), 3587–3604.
- Free, E.E. (1911). *The Movement of Soil Material by the Wind*, U.S. Department of Agriculture, Bureau of Soils, Bulletin No. 68.
- Fumagalli, I., Gimeno, B.S., Vellisariou D., Temmerman, L.D., Mills, G. (2001). Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35, 2583-2587.
- Ganor, E., Foner, H.A., Brenner, S., Neeman, E., Lavi, N. (1991). The chemical composition of aerosols settling in Israel following dust storms. *Atmospheric Environment*, 25, 2665-2670.
- Glantz, S.A. (1993). Heart disease and the environment. *Journal of the American College of Cardiology*, 21, 1473–1474.
- Glavas, S. and Moschonas, N. (2002). Origin of acidic-alkaline rains in a wet-only precipitation study at a Mediterranean site, Patras, Greece. *Atmospheric Environment*, 36, 3089-3099.
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56, 179-204.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer, Heidelberg. 287 pp.
- Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., Haines, A. (2002). Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56, 5, 367-372.
- Hatano, Y., Hatano, N. (2001). Dune Morphology and Sand Transport. *Forma*, 16, 65-75.
- Herrmann, E. (1903). Die Staubfaelle vom 19.bis 23. Februar ueber dem nord-atlantischen

Ozean, Grossbritannien und Mitteleuropa. *Annalen Hydrog.*, 31, 475-483.

Herman, J.R., Bhartia, P.K., Torres, O., Hsu, C., Seftor, C. and Celarier, E. (1997). Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7/TOMS data. *Journal of Geophysical Research*, 102, 16911-16922.

Herut, B. and Krom, M.D. (1996). Atmospheric input of nutrients and dust to the SE Mediterranean, p. 349-358. In S. C. Guerzoni [ed.], *The impact of desert dust across the Mediterranean*, Kluwer Academic.

Houghton, J.T. (2009). *Global Warming: The Complete Briefing*, 4th Edition, Cambridge University Press, Cambridge.

Husar, R.B. (2000). Atmospheric aerosol science before 1900. In Preining O. and Davis E.J (Eds) *History of Aerosol Science*, Verlag der Oestereichischen Akademie der Wissenschaften.

Husar, R.B., Traft, D.M., Schichtel, B.A., Falke, S.R., Li, F., Jaffe, D., Gasso, S., Gill, T., Laulainen, N.S., Lu, F., Reheis, M.C., Chun, Y., Westphal, D., Holben, B.N., Gueymard, C., McKendry, I., Kuring, N., Feldman, G.C., McClain, C., Frouin, R.J., Merrill, J., DuBois, D., Vignola, F., Murayama, T., Nickovic, S., Wilson, W.E., Sassen, K., Sugimoto, N. and Malm, W.C. (2001). Asian dust events of April 1998. *Journal of Geophysical Research*, 106, 18317-18330.

Husar, R.B. (2004). Intercontinental transport of dust: historical and recent observational evidence. In *Intercontinental Transport of Pollutants*. Stohl, A. (ed.). Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 277-294.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). Radiative forcing of climate change, in: *Climate Change 2001*, Cambridge Univ. Press, New York, Cambridge University Press.

Israelevich, P.L., Levin, Z., Joseph, J.H., Ganor, E. (2002). Dust aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index. *Journal of Geophysical Research*, 107, D21, 4572.

Iwasaka, Y., Minoura, H., Nagaya, K. (1983). The transport and spatial scale of Asian dust-storm clouds: a case study of the dust-storm event of April 1979. *Tellus* 35B, 189-196.

Jackson, D.M., Rufty, T.W., Heagle, A.S., Severson, R.F. and Eckel, R.V.W. (2000). Survival and development of tobacco hornworm larvae on tobacco plants grown under elevated levels of ozone. *Journal of Chemical Ecology*, 26, 1-19.

Jickells, T.D., Spokes, L.J. (2001). Atmospheric Iron Inputs to the Oceans. *The Biogeochemistry of Iron in Seawater*, editor: D.R. Turner, K.A. Hunter, Chapter 4, pp. 85-121, Wiley, Chichester, UK.

Johnson, R. (2004). Relative effects of air pollution on lungs and heart. *Circulation*, 109, 5-7.

- Kalabokas, P.D., Viras, L.G., Bartzis, J.G., Repapis, C.C. (2000) Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens. *Atmospheric Environment*, 34, 5199-5208.
- Kalantzi, E.G., Makris, D., Duquenne, M.-N., Kaklamani, S., Stapountzis, E., Gourgoulialis, K.I. (2011). Air pollutants and morbidity of cardiopulmonary diseases in a semi-urban Greek peninsula. *Atmospheric Environment*, 45, 39, 7121-7126.
- 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.
- Karandinos-Riga, A.-N., Saitanis, C. and Arapis, G. (2006). Study of the weekday-weekend variation of air pollutants in a typical Mediterranean coastal town. *International Journal of Environment and Pollution*, 27, 4, 300-312.
- Kaskaoutis, D.G., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., Kosmopoulos, P.G. (2008). Study of an intense dust storm over Greece. *Atmospheric Environment*, 42, 6884-6896.
- Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., Touloumi, G. (1988). The 1987 Athens heat wave. *Lancet*, 3, 573.
- 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*, 7, 314(7095), 1658-1663.
- Kellogg, C.A., Griffin, D.W. (2006). Aerobiology and the global transport of desert dust. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(11), 638-644.
- Kempf, N. (1914). Doctors Dissertation vor der Kgl. Technischen Hochschule zu Muenchen, Verlag von F.C.W. Vogel, Leipzig.
- Krupa S.V. and Manning W.J. (1998). Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50, 101-137.
- Kubilay, N., Nickovic, S., Moulin, C. and Dulac, F. (2000), An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 34, 1293-1303.
- Laurent, B., Marticorena, B., Bergametti, G., Mei, F. (2006). Modeling mineral dust emissions from Chinese and Mongolian deserts. *Global and Planetary Change*, 52, 121-141.
- Larrieu, S., Jusot, J.F., Blanchard, M., Prouvost, H., Declercq, C., Fabre, P., Pascal, L., Tertre, A.L., Wagner, V., Rivière, S., Chardon, B., Borrelli, D., Cassadou, S., Eilstein, D., Lefranc, A. (2007). Short term effects of air pollution on hospitalizations for

- cardiovascular diseases in eight French cities: The PSAS program. *Science of the Total Environment*, 387, 1-3, 105-112.
- Larissi, I.K., Nastos, P.T., Grigoropoulos, K.N., Antoniou, A. and Paliatsos A.G. (2009). Indoor and outdoor particulate matter variability in Athens, Greece. *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST 2009)*, Chania, Crete Island, Greece, 3-5 September 2009, vol. B, 538-545.
- Larissi, I.K., Koukouletsos, K.V., Moustris, K.P., Antoniou, A. and Paliatsos, A.G. (2010). PM_{10} concentration levels in the greater Athens area, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19, 2, 226-231.
- Lefoh, A.S., Jackson, W., Shadwick, D.S. and Knudsen, H.P. (1997). Effect of surface ozone on vegetation grown in the Southern Appalachian Mountains: identification of possible areas concern. *Atmospheric Environment*, 31, 1695-1708.
- Lefohn, A.S., Husar, J.D. and Husar, R.B. (1999). Estimating historical anthropogenic global sulfur emission patterns for the period 1850-1990. *Atmospheric Environment*, 33, 3435-3444.
- Littmann, T. (1991). Rainfall, temperature and dust storm anomalies in the African Sahel. *Geographical Journal*, 157, 136-160.
- Löye-Pilot, M.D., Martin, J.M., Morelli, J. (1986). Influence of Saharan dust on the rainfall acidity and atmospheric input to the Mediterranean. *Nature*, 321, 427-428.
- McMichael, A.J., Beaglehole, R. (2000). The changing global context of public health. *Lancet*, 356, 495-499.
- Middleton, N.J. and Goudie, A.S. (2001). Saharan dust: Sources and trajectories. *Transactions of the Institute of British Geographers NS* 26, 165-181.
- Moulin, C., Lambert, C.E., Dulac, F. and Dayan, U. (1997). Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 387, 691-694.
- Moulin, C., Lambert, C.E., Dayan, U., Masson, V., Ramonet, M., Bousquet, P., Legrand, M., Balkanski, Y.J., Guelle, W., Marticorena, B., Bergametti, G., Dulac, F. (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 103, D11, 13137-13144.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., Kaldellis, J.K., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Tapratzi-Potamianou, P., Zachariadi-Xypolita, A., Kotsonis, K., Kassiou, K. and Saxonipapageorgiou, P. (2006). The effect of weather types on the frequency of childhood asthma admissions in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 8b, 936-942.

- 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. and 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 (ISBN 978-84-8474-214-2).
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G. and Priftis, K.N. (2008). Do the maxima of air pollutants coincide with the incidence of childhood asthma 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., Paliatsos, A.G. (2012). Indoor and outdoor particulate matter variability in Athens, Greece. *Indoor and Built Environment*, 22, 3, 586-592 (doi: 10.1177/1420326X12451033).
- Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A. and Kakaliagou, O. (2001). A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 106, 16, 18113-18129.
- Paliatsos, A.G., Nastos, P.Th., Tzavelas, G. and Panagiotakos, D.B. (2005). Characteristics of precipitation in urban Athens area, from 1891 to 2000. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14, 5, 422-428.
- 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., Toutouzas, P., Paliatsos, A. (2004). Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology*, 94, 229-233.

- Panofsky, H.A. and Brier, G.W. (1968). *Some Applications of Statistics to Meteorology*. University Park, Pennsylvania.
- 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.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M., Stoulos, S., Ioannidou, A., Gerasopoulos, E. (2001). Coloured rain dust from Sahara Desert is still radioactive. *Journal of Environmental Radioactivity*, 55, 1, 109-112.
- Perry, K.D., Cahill, T.A., Eldred, R.A., Dutcher, D.D. (1997). Long-range transport of North African dust to the eastern United States. *Journal of Geophysical Research*, 102, 11225-11238.
- Petty, G.W. (2004). *A first course in Atmospheric Radiation*, Sundog Publishing, Wisconsin, USA.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Cale, 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. (1986). Characteristics of the sea breeze in Attica, Greece. *Boundary-Layer Meteorology*, 36, 245-266.
- Prezerakos, N.G., Paliatsos, A.G., Anastasatos, D.G. and Sassalos, 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*, Ioannina, Greece, 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. (2009). 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.

- 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.
- Prospero, J.M., and Carlson, T.N. (1972). Vertical areal distributions of Saharan dust over the western equatorial North Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 77, 5255-5265.
- Prospero, J.M. (1996). Saharan dust transport over the north Atlantic Ocean and Mediterranean: An Overview, in *The Impact of Desert Dust from Northern Africa Across the Mediterranean*, edited by S. Guerzoni and R. Chester, 133-151, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus-7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 4, doi: 10.1029/2000RG000095.
- Pye, J.M. (1988). Impact of ozone on the growth and yield of trees: a review. *Journal of Environmental Quality*, 17, 347-360.
- Rodriquez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G. and Kakaliagou, O. (2001). Saharan dust contribution to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, 35, 14, 2433-2447.
- 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.
- Schulz, M., Balkanski, Y.J., Guelle, W. and Dulac, F. (1998). Role of aerosol size distribution and source location in a three-dimensional simulation of a Saharan dust episode tested against satellite-derived optical thickness. *Journal of Geophysical Research*, 103, 10579-10592.
- Seaton, A., McNee, W., Donalson, K., Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176-178.
- Steyn, D.G., Kallos, G. (1992). A study of dynamics of hodograph rotation in the breezes of Attica. *Boundary-Layer Met.*, 58, 215-228.
- Stout, J.E, Warren, A., Gill, T.E. (2009). Publication trends in aeolian research: An analysis of the Bibliography of Aeolian Research. *Geomorphology*, 105, 6-17.

- Swap, R., Garstang, M., Greco, S. (1992). Saharan dust in the Amazon Basin. *Tellus*, 44B, 133-149.
- Talbot, R.W., Harriss, R.C., Browell, E.V., Gregory, G.L., Sebacher, D.I. and Beck, S.M. (1986). Distribution and geochemistry of aerosols in the tropical North Atlantic Troposphere: Relationship to Saharan Dust. *Journal of Geophysical Research*, 91, (doi: 10.1029/JGREA0000910000D4005173000001).
- Tegen, I., Fung, I. (1994). Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport and optical thickness. *Journal of Geophysics*, 99, 22897-22914.
- Tegen, I., Heinold, B., Todd, M., Helmert, J., Washington, R., Dubovik, O. (2006). Modelling soil dust aerosol in the Bodèlè depression during the BoDEX campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 4345–4359.
- Thomas, M., Gautier, C. (2009). Investigation of the March 2006 African dust storm using ground-based column-integrated high spectral resolution infrared (8-13 μm) and visible aerosol optical thickness measurements: 2. Mineral aerosol mixture analyses. *Journal of Geophysical Research*, 114, D14209.
- Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P. and Asimakopoulos, D. (2010). Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: Synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects. *Environmental Research*, 110, 2, 152-161.
- Triantafyllou, A.G. (2001). PM₁₀ pollution episodes as a function of synoptic climatology in a mountainous industrial area. *Environmental Pollution*, 112, 3, 491-500.
- Udden, J.A. (1898). *The mechanical composition of wind deposits*. Augustana Library Publications, 1.
- VanCuren, R.A. and Cahill, T.A. (2002). Asian aerosols in North America: Frequency and concentration of fine dust. *Journal of Geophysical Research*, 107, D24, 4804 (doi:10.1029/2002JD002204).
- Velissariou, D., Davidson, A.W., Barnes, J.D., Pfirmann, T., MacLean, D.C., Holeval, C.D., (1992). Effects of air pollution on *Pinus halepensis* Mill. 1 Pollutions Levels in Attica Greece. *Atmospheric Environment*, 26, 373-380.
- Washington R., Todd M., Middleton N.J., Goudie A.S. (2003). Dust-Storm Source Areas Determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and Surface Observations.
- Wilkening, K.E., Barrie, L.A. and Engle, M. (2000). Trans-Pacific air pollution. *Science*, 290, 65-67.

- Wurzler, S., Reisin, T. G. and Levin, Z. (2000). Modification of mineral dust particles by cloud processing and subsequent effects on drop size distributions. *Journal of Geophysics Research*, 105, 4501-4512.
- Zaizen, Y., Ikegami, M., Okada, K., Makino, Y. (1995). Aerosol concentration observed at Zhangye in China. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 73, 891-897 (in Chinese).
- Zhang, X.Y., Arimoto, R. and An, Z.S. (1997). Dust emission from Chinese desert sources linked to variations in atmospheric circulation, *Journal of Geophysical Research*, 102, 28041-28047.
- Ziomas, I.C., Zerefos, C.S., Bais, A.F., Proyou, A.G., Amanatidis, G.T., Kelessis, A.G. (1989). Significant increasing trends insurface ozone in Greece. *Environmental Technology Letters*, 10, 1071-1082.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αλμπάνης Τ. (1996). Ρύπανση και Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα.
- Αντωνίου Β. (2000). Οι Γεωπεριβαλλοντικές συνθήκες του Λεκανοπεδίου Αθηνών με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βαλαβανίδης Αθ. (2007). Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία. Ερευνητική Μεθοδολογία και Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου από Επικίνδυνες Χημικές ουσίες. Έκδοση, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Βασιλικιώτης, Γ.Σ. (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ΕΚ (2008). Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβούλιου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L 152 της 11/06/2008, σ. 1-44.
- ΕΚΠΑΑ (2009). Ελλάδα – Η κατάσταση του Περιβάλλοντος 2008. Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης. Αθήνα.
- Κασκαούτης Δ.Γ, Νάστος Π.Θ., Αμοιρίδης Β., Κοσμόπουλος Π.Γ., Καμπεζίδης Χ.Δ. (2010). Μετεωρολογικά συστήματα συνοδευόμενα με έντονη μεταφορά Αφρικανικής σκόνης πάνω από την Ελλάδα κατά τη χειμερινή περίοδο. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας (COMECAP2010), Πάτρα, 25-28 Μαΐου 2010, σελ. 1039-1047.
- Καραθανάσης Σ.Σ. (2007). Ατμοσφαιρική Ρύπανση (Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές & Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία).

Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

- Κούγκολος, Α. (2007). Εισαγωγή στη Περιβαλλοντική Μηχανική. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Κουμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου, Κ. (1998). Χημεία περιβάλλοντος. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Λαρίσση, Ι.Κ., Αντωνίου, Γ.Α., Αντωνίου, Α., Μουστρή, 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, том. Β, 973-987 (ISBN: 978-960-87277-4-8).
- 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.
- Μελάς, Δ. (2007). Ατμοσφαιρική διάχυση και διασπορά. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Θεσσαλονίκη.
- Παλιατσός, Α.Γ. (2008). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Τμήμα Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων, Αθήνα.
- Σκουλούδης, Α.Ν. και Κοτζιάς, Δ. (2005). Η ποιότητα της ατμόσφαιρας, και η συσχέτιση της με θέματα υγείας σε μεγάλα αστικά κέντρα - Εξελίξεις και Προοπτικές στη Ευρώπη έως το 2010. Πρακτικά Ημερίδας με θέμα «Ποιότητα της ατμόσφαιρας σε αστικές περιοχές – Νέα δεδομένα και προοπτικές ΤΕΕ», Αθήνα 18 Μαρτίου 2005.
- ΥΠΕΚΑ (2011). Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2010. Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Αθήνα.
- Φιλίππιδου Ε.Χ., Κουκουλιάτα Α. (2011). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο αναπνευστικό σύστημα, Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής, 28(4):502–515.
- Χατζόπουλος Ι., Χωριατέλλη Χ., Καντζάς Π., Κάλλος Γ., Κατσαφάρδος Π., Χρήστος Σ. (2007). Χαρτογράφηση της σκόνης από τη Σαχάρα στην ατμόσφαιρα με τη χρήση δορυφορικών εικόνων και αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης. Εγκρίθηκε να δημοσιευτεί στα πρακτικά της διημερίδας «Τηλεπισκόπηση: Εξελίξεις και Εφαρμογές» που οργανώθηκε από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας 22 και 23 Φεβρουαρίου 2007.
- Χριστοδουλάκης Ν. (1999). Οικολογία: Εισαγωγή στη μελέτη του Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Πατάκη, Αθήνα.

Ιστοσελίδες διαδικτύου

EEA (2005). <http://www.eea.europa.eu/highlights/20051122115248>

EPA (2008). <http://www.epa.gov/roe/>

<http://www.atmos.umd.edu/~zeng/>

http://www.wmo.int/pages/index_en.html

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=5437>

TEI REPAIR