

Η

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΗ-
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΟΙΝΟΦΥΤΑ ΒΟΙΩΤΙΑΣ



Σπουδαστές: ΠΑΠΠΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (Α.Μ.: 34156)

ΣΤΑΥΡΑΚΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ (Α.Μ.: 35544)

Επιβλέπων Καθηγητής: Αθαν. Γ. Παλιατσός

ΑΘΗΝΑ 2013



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	4
1.2. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	7
1.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	8
1.2.2. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ.....	10
1.2.2.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	11
1.2.2.2. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ.....	15
1.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ.....	17
1.3.1. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	17
1.3.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ.....	19
1.3.3. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	22
1.3.4. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	24
1.3.5. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΟΖΟΝ.....	25
2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ	26
2.1. ΠΡΟΤΥΠΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	27
2.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ.....	30
3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	36
1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	36
1.1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ.....	36
1.2. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΟΖΟΝ.....	39
1.3. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	44
1.4. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	48
1.5. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ.....	53
2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ	56
3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ PM_{10}	60
3.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΤΗΣ ΣΑΧΑΡΑΣ.....	61
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί συμβολή στη μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή του περιαστικού-βιομηχανικού σταθμού που βρίσκεται στα Οινόφυτα, του νομού Βοιωτίας, όσον αφορά τους ρύπους: διοξείδιο του θείου, οξειδία του αζώτου, όζον και αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm, για την 4-ετή χρονική περίοδο 2008-2011. Τα δεδομένα λήφθηκαν από σταθμό της ΔΕΑΡΘ/ΥΠΕΚΑ που βρίσκεται εγκατεστημένος στην υπό μελέτη περιοχή, Οινόφυτα - Βοιωτίας.

Μελετήθηκαν η μέση ημερήσια πορεία, η μέση ετήσια πορεία και οι μέσες ετήσιες τιμές του διοξειδίου του θείου, των οξειδίων του αζώτου και του επιφανειακού όζοντος. Επίσης, μελετήθηκαν οι ημερήσιες, οι μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM₁₀) στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Τέλος, εξετάσθηκαν πιθανές υπερβάσεις των θεσμοθετημένων οριακών τιμών των εξεταζόμενων ρύπων.

Στη συνέχεια επιχειρήθηκε εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στη συγκεκριμένη περιαστική-βιομηχανική περιοχή με τη βοήθεια περιβαλλοντικών δεικτών. Ειδικότερα, υπολογίσθηκαν οι ημερήσιες τιμές του Δείκτη Ποιότητας Αέρα (Air Quality Index-AQI) σε σχέση με τις ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου και των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm, τις μέγιστες ανά ημέρα 8-ωρες τιμές συγκέντρωσης επιφανειακού όζοντος. Στη συνέχεια έγινε αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας με βάση τις αριθμητικές τιμές του δείκτη AQI και διατυπώθηκαν πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων της περιοχής. Τέλος, έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των ρύπων που θεωρούνται «ένοχοι» για τον υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της συγκεκριμένης περιοχής.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της Πτυχιακής μας Εργασίας έγινε από τον Δρα Αθανάσιο Γ. Παλιατσό, καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, τον οποίο και ευχαριστούμε για τη βοήθειά του στην ολοκλήρωση της Πτυχιακής μας Εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

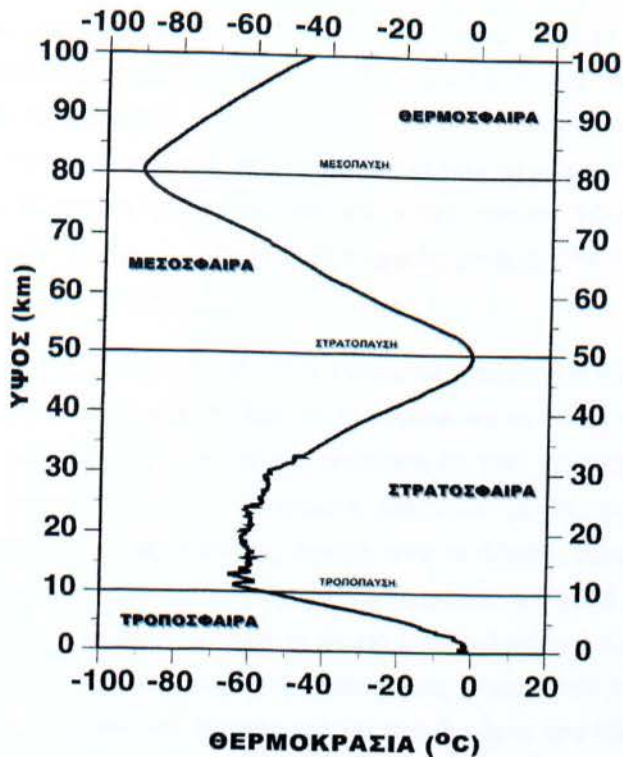
Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αέριο περίβλημα του πλανήτη Γη, το οποίο τον περιβάλλει και τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του. Αν και εκτείνεται μέχρι αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα πάνω από τη Γη, εντούτοις το 99% σχεδόν του ατμοσφαιρικού αέρα βρίσκεται στα πρώτα 40km. Η σύσταση και η θερμοκρασία του αέριου αυτού μίγματος δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβαλλόμενες σημαντικά με το ύψος. Η ατμόσφαιρα της Γης λοιπόν, είναι ένα λεπτό αεριώδες περίβλημα το οποίο, αποτελείται κυρίως από μοριακό άζωτο και οξυγόνο. Οι επιστήμονες υπολογίζουν την ηλικία της Γήινης ατμόσφαιρας σε περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η αρχική σύσταση της ατμόσφαιρας διέφερε πολύ από την σημερινή και πιθανότατα θα ήταν τοξική για τα περισσότερα σημερινά έμβια όντα. Αυτή η αφιλόξενη πρώτη ατμόσφαιρα υπέστη μεγάλες αλλαγές από την δράση πολλών χημικών, γεωλογικών και βιολογικών μηχανισμών. Μέσα από μια πολύπλοκη εξελικτική πορεία διαμορφώθηκε πριν περίπου από μισό δισεκατομμύριο χρόνια μια ατμόσφαιρα της οποίας η σύσταση δεν διέφερε πολύ από τη σημερινή. Σημαντικές διαφοροποιήσεις στην σύσταση παρουσιάστηκαν, κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση, μόνο στις συγκεντρώσεις κάποιων αερίων έχουν μικρή συμμετοχή στη σύσταση της ατμόσφαιρας.

Ένας τρόπος να χωρισθεί η ατμόσφαιρα της γης σε στρώματα είναι με βάση την σύστασή της. Η βασική σύσταση της ατμόσφαιρας σε N_2 και O_2 παραμένει σταθερή μέσα στην ομοιόσφαιρα, το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος περίπου των 80km. Στο στρώμα αυτό, η τυρβώδης ροή του αέρα είναι αρκετά έντονη ώστε το μοριακό μίγμα των κυριότερων αερίων να διατηρείται σε σταθερή αναλογία. Η τάση διαχωρισμού των αερίων σύμφωνα με το μοριακό τους βάρος εξουδετερώνεται μέσα στην *ομοιόσφαιρα* από τον μηχανισμό μίξης. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι τα πρώτα 65-80km πάνω από την επιφάνεια της γης περιλαμβάνουν τα 99% της συνολικής μάζας του ατμοσφαιρικού αέρα. Το στρώμα που βρίσκεται πάνω από την ομοιόσφαιρα ονομάζεται *ετερόσφαιρα* και, όπως υποδηλώνει το όνομά του, η σύστασή του δεν είναι ομοιογενής καθώς τα βαρύτερα άτομα και μόρια τείνουν να κατακάθονται στο κάτω μέρος του ενώ τα ελαφρύτερα αέρια επιπλέουν στην κορυφή. Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού της ατμόσφαιρας στηρίζεται στη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Κατ' αυτό τον τρόπο η ατμόσφαιρα μπορεί να χωριστεί στις εξής βασικές περιοχές (Μελάς 2000):

Τροπόσφαιρα: Πρόκειται για την κατώτερη περιοχή της ατμόσφαιρας, στην οποία διαμορφώνονται όλα τα καιρικά φαινόμενα. Εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των

10km κατά μέσο όρο. Ακριβέστερα, υπεράνω του ισημερινού η τροπόσφαιρα έχει ύψος 16km, ενώ στα μεγαλύτερα πλάτη χαμηλώνει, για να φτάσει τα 8km πάνω από τους πόλους. (παρατήρηση: το καλοκαίρι και τον χειμώνα η τροπόσφαιρα στους πόλους είναι ακαθόριστη). Στην τροπόσφαιρα η θερμοκρασία πέφτει όσο ανεβαίνουμε με μέσο ρυθμό $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, δηλαδή όσο αυξάνει η απόσταση από την επιφάνεια της Γης. Τέλος σε αυτή την περιοχή της ατμόσφαιρας λαμβάνει χώρα σε συντριπτικό ποσοστό η εκπομπή των ρύπων. Το τέλος της τροπόσφαιρας συνιστά την τροπόπαυση, ένα πολύ λεπτό στρώμα που διαχωρίζει την τροπόσφαιρα από το αμέσως παραπάνω στρώμα που ονομάζεται στρατόσφαιρα. Το ύψος της μεταβάλλεται με την αλλαγή της θερμοκρασίας του αέρα και των εποχών του χρόνου, καθώς και με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Στρατόσφαιρα: Το ατμοσφαιρικό στρώμα το οποίο καταλαμβάνει την περιοχή μεταξύ της τροπόπαυσης και των 50km από το έδαφος. Μέρος της στρατόσφαιρας καταλαμβάνεται από την περιοχή του όζοντος, η οποία περιλαμβάνεται μεταξύ των 35km και 60km ύψους. Το όζον αυτό είναι ένα είδος φίλτρου των υπεριωδών ακτινοβολιών του ηλιακού φωτός, οι οποίες, όπως είναι γνωστό, βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό). Μέσα στη στρατόσφαιρα η διακύμανση της θερμοκρασίας μπορεί να αναλυθεί κατά δύο κατευθύνσεις, την κατακόρυφη και την οριζόντια. Κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση η θερμοκρασία παραμένει σταθερή ως τα 35km ύψους (ισόθερμη περιοχή), ενώ πιο πάνω και μέχρι το τέλος του στρώματος, λόγω της ύπαρξης του όζοντος, η θερμοκρασία ανεβαίνει απότομα στους $+10^{\circ}\text{C}$. Κατά την οριζόντια κατεύθυνση η θερμοκρασία στη βάση της στρατόσφαιρας (τροπόπαυση) κυμαίνεται μεταξύ των ορίων -55°C και -75°C , ανάλογα με τον τόπο όπου γίνονται οι παρατηρήσεις, δηλαδή κυμαίνεται μεταξύ των ίδιων ορίων της θερμοκρασίας του ανώτερου τέλους της τροπόσφαιρας. Αυτές οι θερμοκρασίες παραμένουν σταθερές μέχρι το ύψος των 35km, λόγω της κατακόρυφης ισοθεμίας. Πάνω από τα 35km, η θερμοκρασία είναι περίπου 10°C , γιατί εκτείνεται η περιοχή του όζοντος. Η στρατόσφαιρα διαχωρίζεται από το αμέσως επόμενο στρώμα της ατμόσφαιρας με ένα λεπτό στρώμα που ονομάζεται στρατόπαυση (Σχήμα 1.1). Το πλάτος της είναι 5km και εκτείνεται μεταξύ των 50km και 55km .



Σχήμα 1.1. Μέση κατανομή της θερμοκρασίας στα διάφορα ύψη και οι περιοχές που καθορίζονται από αυτήν, στην ομοιόσφαιρα (Reid 2000).

Μεσόσφαιρα: Εκτείνεται από την στρατόπαιση μέχρι τα 80km περίπου και είναι η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας. Στο κατώτερο άκρο η θερμοκρασία είναι +10°C λόγω της ύπαρξης των τελευταίων μαζών του όζοντος, αλλά μετά, όσο αυξάνεται το ύψος, η θερμοκρασία ελαττώνεται με γρήγορο ρυθμό και φτάνει στο ανώτερο όριο της μεσόσφαιρας τους -90°C, που είναι και η χαμηλότερη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Το λεπτό στρώμα που διαχωρίζει τη μεσόσφαιρα από το αμέσως επόμενο στρώμα (θερμόσφαιρα), ονομάζεται **μεσόπαιση** (Σχήμα 1.1).

Θερμόσφαιρα: Ακριβώς πάνω από τη μεσόπαιση που είναι η ανώτερη επιφάνεια της μεσόσφαιρας, σε ύψος 80km, αρχίζει το τέταρτο στρώμα της ατμόσφαιρας που ονομάζεται θερμόσφαιρα και φθάνει σε ύψος τα 800km. Η θερμοκρασία στο στρώμα αυτό διαπιστώθηκε ότι αυξάνει αλματωδώς μέχρι περίπου τα 400-500km. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο ονομάστηκε «θερμόσφαιρα». Η δε διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ της θερμόσφαιρας και του τελευταίου ατμοσφαιρικού στρώματος, της εξώσφαιρας καλείται θερμόπαιση (θεωρητική ζώνη οριοθέτησης, ελάχιστου πάχους). Η θερμοκρασία στη θερμόσφαιρα αρχίζει από -92°C και φθάνει μέχρι μερικές χιλιάδες βαθμούς στα 400km. Στο ύψος των 1600km μέχρι των οποίων επεκτείνεται η Γήινη ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μεγάλη αραιότητα του αέρα. Επειδή η ατμόσφαιρα έχει πολύ μικρή πυκνότητα σε αυτό το ύψος, η υψηλή "θερμοκρασία"

της θερμόσφαιρας δεν αναφέρεται σε "ζέστη" όπως τη γνωρίζουμε εμπειρικά. Ένας άνθρωπος στη θερμόσφαιρα θα αισθανόταν κρύο, ακριβώς γιατί η ατμόσφαιρα είναι τόσο αραιή. Η θερμοκρασία αναφέρεται στη μέση κινητική ενέργεια των μορίων της ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε αυτό το ύψος, και η οποία είναι υψηλή γιατί τα μόρια απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και αλληλεπιδρούν με τα σωματίδια του ηλιακού ανέμου. Τέλος, η θερμόσφαιρα είναι η περιοχή όπου βρίσκεται ο Διεθνής διαστημικός σταθμός και όπου κινούνται τα διαστημικά λεωφορεία και δορυφόροι.

Εξώσφαιρα: ονομάζεται το πέμπτο και πλέον εξωτερικό στρώμα της ατμόσφαιρας, όπως ορίζεται στη Μετεωρολογία, που εκ της θέσεώς του οφείλει και το όνομά του. Η εξώσφαιρα είναι το ανώτατο και τελευταίο στρώμα της ατμόσφαιρας που βρίσκεται πάνω από τη θερμόσφαιρα και επεκτείνεται μέχρι το κοσμικό διάστημα, με το οποίο και βαθμιαία αναμιγνύεται. Αρχίζει από τη θερμόπαυση, δηλαδή από τα 800km. ύψος, και φθάνει στα 2000km ή στα 3500km όπως θεωρητικά υπολογίζεται ότι φθάνει το μέγιστο ύψος (πάχος) της ατμόσφαιρας ή και λίγο περισσότερο, μέχρι το σημείο όπου η βαρύτητα της Γης δεν μπορεί πλέον να συγκρατήσει τα τελευταία μόρια της ατμόσφαιρας. Η πυκνότητα πάντως είναι έστω και κατά τι μεγαλύτερη εκείνης του Ηλιακού ανέμου που διαχέεται στο Ηλιακό σύστημα. Η κινητική ενέργεια των ιόντων των αερίων στην εξώσφαιρα πιθανώς αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 2500°C. Η θερμοκρασία αυτή οφείλεται σε συγκρούσεις με τα σωματίδια της κοσμικής ακτινοβολίας. Αντιθέτως, την νύχτα η θερμοκρασία των σωματιδίων στην εξώσφαιρα πέφτει σχεδόν στο απόλυτο μηδέν.

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφερθούμε και στην σπουδαιότητα της Γήινης ατμόσφαιρας καθώς σε αυτήν οφείλεται η ύπαρξη ζωής, αφού αυτή είναι υπεύθυνη για την απορρόφηση μεγάλου τμήματος της υπεριώδους ακτινοβολίας όπως επίσης και για τη μείωση της διαφοράς των ακραίων θερμοκρασιών που θα υπήρχαν μεταξύ ημέρας και νύχτας χωρίς αυτήν. Προσφέρει το μέσο για την ανακύκλωση της ενέργειας, των θρεπτικών συστατικών και του νερού στον πλανήτη ενώ ταυτόχρονα μας παρέχει το οξυγόνο (O₂) για τους ανθρώπους και τα ζώα, το άζωτο (N₂) για τη σύνθεση των πρωτεϊνών, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) για τη φωτοσύνθεση των φυτών και λειτουργεί σαν μέσο μεταφοράς του νερού καθώς χωρίς αυτή δε μπορεί να λειτουργήσει ο υδρολογικός κύκλος.

1.2. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Με τον όρο ατμοσφαιρική ρύπανση εννοούμε την παρουσία στην ατμόσφαιρα κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα (Καραθανάσης 2006).

1.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της εποχής μας. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές να ζουν 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.

Το έτος 1157, η σύζυγος του βασιλιά Ερρίκου του 2ου της Αγγλίας, Ελεονόρα, μετακόμισε από το Tutbury Castle του Nottingham (Ζάνης 2008) γιατί θεώρησε ανυπόφορη τη ρύπανση του αέρα εξ αιτίας της καύσης των ξύλων. Άλλες αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου, με αποτέλεσμα, ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο Α' να απαγορεύσει το έτος 1307 τη χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Μαρτυρίες αναφέρουν ότι ένα άτομο πιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου.

Η βιομηχανική επανάσταση, τον 19ο αιώνα, οδήγησε στην εντατική χρήση κυρίως του κάρβουνου και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου, για την παραγωγή ενέργειας, κίνησης ατμομηχανών και πλοίων, καθώς και οικιακής θέρμανσης, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη (Εικόνα 1.2.α). Το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέβη το έτος 1875 στο Λονδίνο, όπου σημειώθηκαν αρκετοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων.

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 έτος 1909, στη Γλασκόβη και το Εδιμβούργο θεωρήθηκε η κύρια αιτία για 1000 περίπου θανάτους ανθρώπων. Το έτος 1930, πάλι σε επεισόδιο αιθαλομίχλης, στη βιομηχανική περιοχή της κοιλάδας του Meuse στο Βέλγιο αρρώστησαν εκατοντάδες άτομα, από τα οποία 60 πέθαναν τις επόμενες μέρες. Το έτος 1948 στην πόλη Donoga των Ηνωμένων Πολιτειών κατά την διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και εμφανίσθηκαν 6000 άτομα που ασθένησαν με συμπτώματα που συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόνο 14000 κάτοικοι. Το μεγαλύτερο, όμως, επεισόδιο συνέβη στο Λονδίνο το έτος 1952, 5-9/12/1952, όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να προκληθούν 4000 «πλεονάζοντες» θάνατοι (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο) οι

οποίοι αποδόθηκαν στην ρύπανση (Σχήμα 1.2). Παρόμοια φαινόμενα ρύπανσης στο Λονδίνο, καταγράφηκαν κατά τα έτη 1956, 1957 και 1962 με απολογισμό 2.500 θύματα. Σαν αποτέλεσμα το Λονδίνο και πάλι υιοθέτησε τη συμβουλή του Εδουάρδου του Α' και θέσπισε αυστηρά μέτρα ελέγχου για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Boubel et al. 1994).

Το 1963 οι υψηλές περιεκτικότητες ρυπαντών συσσωρεύτηκαν στον αέρα της Νέας Υόρκης προκαλώντας το θάνατο σε 300 ανθρώπους. Άλλα επεισόδια στη Νέα Υόρκη, στο Λος Άντζελες και σε μεγάλες πολιτείες της δεκαετίας του 1960 οδήγησαν στην εφαρμογή αυστηρότερων προγραμμάτων για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη δεκαετία του 1970. Όταν ο άνθρακας αντικαταστάθηκε με το πετρέλαιο και λόγω των αυξημένων αναγκών το πρόβλημα της ρύπανσης έγινε οξύτερο και ένας άλλος τύπος ρύπανσης έκανε την εμφάνισή του, αρχικά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ. Μετέπειτα παρατηρήθηκε σε πολλές μεγαλουπόλεις του κόσμου, μη εξαιρετές και της Αθήνας (Boubel et al. 1994).



Σχήμα 1.2. Εικόνες από το επεισόδιο αιθαλομίχλης του Λονδίνου, 5-9/12/1952 (<http://tinella.gr/p/aithalomixli-thessaloniki-athina/>).

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 ρύπανση, έκανε την εμφάνισή του, αρχικά στο Λος Άντζελες των ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του 1940 (Σχήμα 1.3). Γενικότερα μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η αύξηση του πληθυσμού, η συγκέντρωση στα αστικά κέντρα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε αγαθά, η ανάπτυξη της βιομηχανίας, η απρόσεκτη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας και γενικά η αξιολόγηση όλων των παραμέτρων μόνο με οικονομικά μεγέθη, χωρίς να γίνεται ταυτόχρονη συνεκτίμηση των συνεπειών τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ποιότητα ζωής, είχαν σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία άνοδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που από

περιορισμένο τοπικό πρόβλημα, έγινε ευρύτερα σοβαρό ζήτημα, με τάση να καταστεί παγκόσμιο και να επηρεάσει όλη τη Γη.

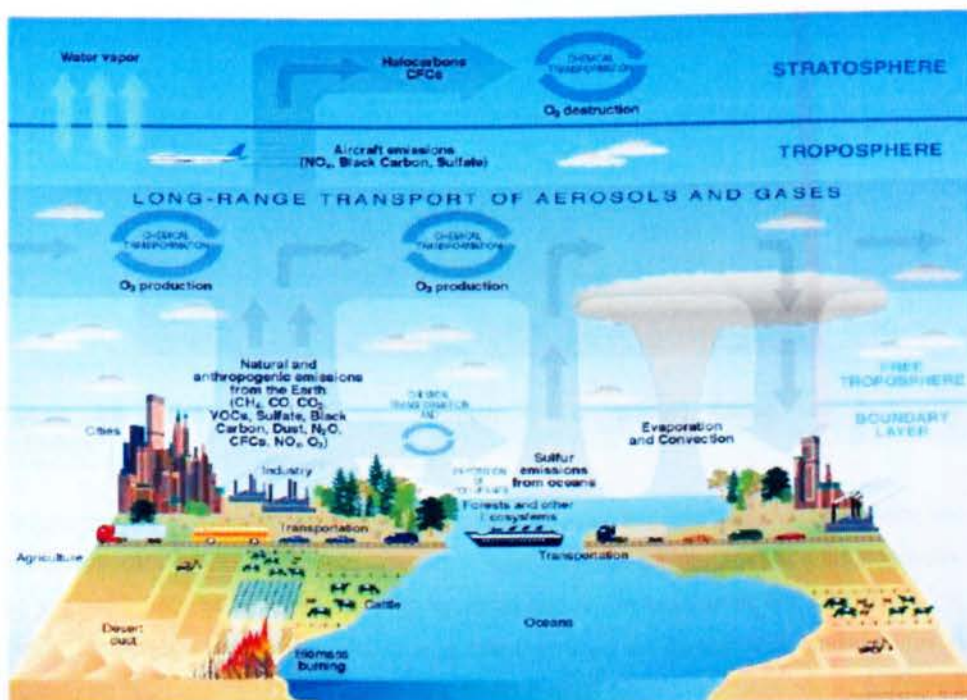


Σχήμα 1.3. Φωτοχημική αιθαλομίχλη στο Las Vegas (<http://www.env-edu.gr>).

1.2.2. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται από την ανθρωπογενή δραστηριότητα (Σχήμα 1.4)

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 έχουν εμφανισθεί. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες).



Σχήμα 1.4. Χημικές διεργασίες, μεταφορές και κύριες πηγές εκπομπής ρύπων στην ατμόσφαιρα (<http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/atmosphere.html>).

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.

1.2.2.1 Φυσικές Πηγές

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



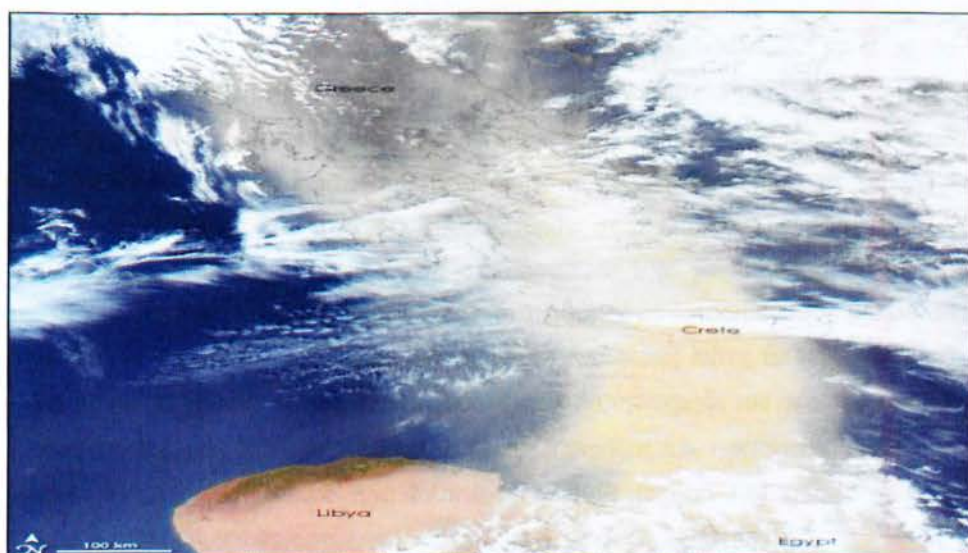
Σχήμα 1.5. Ο «πνεύμονας» του πλανήτη – Το τροπικό δάσος του Αμαζονίου (<http://fainareti.wordpress.com/2011/02/05/>).

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ως παράδειγμα η καταστροφική ξηρασία που έπληξε τα δάση του Αμαζονίου κατά το έτος 2010 έχει αναγκάσει τους «πνεύμονες του κόσμου» να παράγουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ότι απορροφούν, επιταχύνοντας έτσι επικίνδυνα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Σύμφωνα με ομάδα Βρετανών και Βραζιλιάνων επιστημόνων, η ξηρασία θα έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση περίπου οκτώ δισεκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα από τα «δάση βροχής», ποσότητα μεγαλύτερη από εκείνη που εκλύουν ετησίως οι Ηνωμένες Πολιτείες. Η αιτία είναι ότι από πολλά από τα δέντρα που απαρτίζουν τα δάση βροχής ξεράθηκαν και πέθαναν. Μέχρι τώρα τα πυκνά δάση του Αμαζονίου (Σχήμα 1.5) απορροφούσαν το ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονταν παγκοσμίως, γεγονός που τα καθιστούσε κρίσιμης σημασίας «τείχος» ενάντια στην κλιματική αλλαγή και την παγκόσμια άνοδο της θερμοκρασίας (<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=23106&subid=2&pubid=53442951>).

Οι ωκεανοί αποτελούν τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή «φυσικών» ρύπων. Η δράση των βενθικών και φυτοπλαγκτονικών οργανισμών οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτωνθειούχων ενώσεων (Σχήμα 1.6.α). 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 (Σχήμα 1.6.β). Τέλος, ο άνεμος συμπαρασύρει υδροσταγονίδια που περιέχουν άλατα αποτελώντας, έτσι, συνεχή πηγή ατμοσφαιρικών αιωρημάτων (αεροζόλ).



Σχήμα 1.6. (α) Μηχανισμός της φωτοσύνθεσης που προκαλεί την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα τη νύχτα (<http://www.protothema.gr/environment/article/?aid=89110>). (β) Δημιουργία κυμάτων από την επίδραση ισχυρού ανέμου (<http://www.ecoerth.com>).



Σχήμα 1.7. 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>).

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 τις θεσπισμένες οριακές για την προστασία της δημόσιας υγείας. Αποτέλεσμα των υψηλών συγκεντρώσεων αποτελεί η μείωση της ορατότητας της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, πρόκειται για το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα (Σχήμα 1.7). Πρόκειται για ένα μετεωρολογικό φαινόμενο που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ατμόσφαιρα πάνω από τον Ευρωπαϊκό χώρο καθώς και χώρους πέραν του Ατλαντικού εδώ και δεκαετίες. Η επίδραση της σκόνης εκτός από τη μείωση της ορατότητας στην ατμόσφαιρα και την πρόκληση κάποιων καιρικών

φαινομένων, ευθύνεται για τη δημιουργία προβλημάτων στη δημόσια υγεία που σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα. Η πιο σημαντική όμως επίπτωση από τη μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας των χωρών της Νότιας Ευρώπης σε τέτοιο βαθμό ώστε να προκαλούνται υπερβάσεις των οριακών τιμών, των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (EC 1999).

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, είτε μετά από ισχυρές καταιγίδες, λόγω των κεραυνών (Μελάς 2000).

Τέλος, αναφερόμενοι στις φυσικές πηγές, θα ήταν ουσιαστική παράληψη η μη αναφορά στη δράση των ηφαιστείων. Κατά την έκρηξη ενός ηφαιστείου εκλύονται μεγάλες ποσότητες τόσο σωματιδιακής ύλης, όσο και αερίων όπως το διοξείδιο του θείου, το μεθάνιο και το υδρόθειο. Επειδή οι κρατήρες των ηφαιστείων βρίσκονται σε μεγάλα ύψη, κατά τις εκρήξεις των ηφαιστείων τα σωματίδια μπορεί να εκτιναχθούν σε πολύ μεγάλο ύψος μέσα στην τροπόσφαιρα, ενδεχομένως δε και στη στρατόσφαιρα. Έχει παρατηρηθεί ότι σε μέτριες εκρήξεις ηφαιστείων, έχει σχηματισθεί αχλής (σκοτεινιά) σε απόσταση 3000km μακριά από το ηφαίστειο. Η έκρηξη του ηφαιστείου Krakatoa στις Ανατολικές Ινδίες το 1983, επηρέασε το κλίμα για πολλά χρόνια. Το ίδιο παρατηρήθηκε και κατά την έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στα Β.Δ. των ΗΠΑ, το 1980 και το 1990. Οι εκρήξεις των ηφαιστείων El Chichón στο Μεξικό το 1982 και Pinatubo στις Φιλιππίνες το 1991 (Σχήμα 1.8) επίσης προκάλεσαν επιδράσεις στο κλίμα (http://www.geo.auth.gr/765/3_products/38_clima.htm)



Εικόνα 1.8. Η έκρηξη του Mt. Pinatubo στις Φιλιππίνες, το 1991, ήταν η μεγαλύτερη του 20ου αιώνα. Μετά από μια έκρηξη ηφαιστείου απαιτούνται δύο περίπου χρόνια ώστε να επανέλθουν οι τιμές των αεροζόλ στα «κανονικά» τους επίπεδα (http://nrdisaster.blogspot.com/2009/03/blog-post_7675.html).

Έχει διαπιστωθεί ότι μετά από μια έκρηξη ηφαιστείου απαιτούνται δύο περίπου χρόνια ώστε να επανέλθουν οι τιμές των αεροζόλ στα «κανονικά» τους επίπεδα (http://nrdisaster.blogspot.com/2009/03/blog-post_7675.html).

1.2.2.2 Ανθρωπογενείς Πηγές

Τρεις είναι οι κυριότερες κατηγορίες ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης: η βιομηχανική δραστηριότητα (συμπεριλαμβανομένου και του τομέα παραγωγής ενέργειας), οι μεταφορές και οι κεντρικές θερμάνσεις.

Η βιομηχανία αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή αερίων ρύπων καθώς το μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας (Σχήμα 1.9). 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 υπερ-συγκέντρωση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων στις περιοχές 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.



Σχήμα 1.9. Η βιομηχανία αποτελεί την κύρια ανθρωπογενή πηγή αερίων ρύπων (<http://planetearth.pblogs.gr/>).

Μέσα στην πληθώρα των ρυπογόνων δραστηριοτήτων μιας σύγχρονης πόλης, η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου αποτελεί ενδεχομένως τη σημαντικότερη ανθρωπογενή συνεισφορά στη ρύπανση μιας αστικής περιοχής. Παρά τη μικρή, σχετικά, συνεισφορά κάθε μεμονωμένου αυτοκινήτου, η ρύπανση από το μεγάλο αριθμό των κυκλοφορούντων αυτοκινήτων λειτουργεί αθροιστικά με αποτέλεσμα να αποτελεί τη μεγαλύτερη απειλή για τον υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος των μεγαλουπόλεων.

Όπως είναι γνωστό, η ισχύς που είναι απαραίτητη για την κίνηση του αυτοκινήτου, προέρχεται από την καύση του καυσίμου στον κινητήρα του (μηχανή εσωτερικής καύσης). Όμως, η ρύπανση προέρχεται τόσο από τα προϊόντα της καύσης (τα τυπικά εκλυόμενα από την εξάτμιση του αυτοκινήτου) καθώς και από την εξάτμιση του καυσίμου, κυρίως στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, λόγω υψηλών θερμοκρασιών. Θα πρέπει να προστεθούν τα επαναιωρούμενα σωματίδια κατά την κυκλοφορία, ιδίως σε μη ασφαλτοστρωμένους δρόμους, όπως και αυτά που προέρχονται κατά τη λειτουργία του συστήματος πέδησης.

Η συνεισφορά της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης στα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει καθαρά εποχικό χαρακτήρα και έγκειται στην παραγωγή καπνού, διοξειδίου του θείου και σε μικρότερο ποσοστό, οξειδίων του αζώτου και τελευταία αιωρούμενων σωματιδίων (Σχήμα 1.10). Αν και οι ρύποι, που παράγονται σε ετήσια βάση από τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης, αποτελούν ένα μικρό ποσοστό σε σχέση με την παραγωγή των ίδιων ρύπων από άλλες πηγές, το διοξείδιο του θείου αποτελούσε στις προηγούμενες δεκαετίες του '70 και του '80, στις αστικές περιοχές, δείκτη του συνολικού φόρτου της αέριας ρύπανσης μιας περιοχής. Ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι οι μικρού ύψους 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 της ρύπανσης, μεγάλων αστικών κέντρων, από διοξείδιο του θείου εμφάνισε πορεία βελτίωσης, αφενός λόγω βελτίωσης της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων (χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο), αφετέρου λόγω της αντικατάστασης των παλαιών καυστήρων με νέους που λειτουργούν με φυσικό αέριο.

Παλαιότερα, οι αιχμές που παρατηρούνταν στις τιμές των ρύπων, παρουσιάζονταν τις πρώτες πρωινές και τις πρώτες βραδινές ώρες. Αν δε κατά τις ώρες της μέγιστης έκλυσης διοξειδίου του θείου επικρατούσαν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες (π.χ. άπνοια και θερμοκρασιακή αναστροφή), τότε προκαλείτο συσσώρευση του εκπεμπόμενου διοξειδίου του θείου που κατέληγε στο σχηματισμό νεφών καπνομίχλης.



Σχήμα 1.10. Χρήση βιομάζας και άνθρακα για θέρμανση αποτελεί έναν ακόμη ρυπογόνο παράγοντα που συντελεί στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας αστικών περιοχών (http://meteoparea.blogspot.gr/2011_09_01_archive.html).

1.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

1.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και διαλύεται ελάχιστα στο νερό. Είναι αναφλέξιμο και καίγεται με μπλε φλόγα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις (>100ppm) είναι και θανατηφόρο (Βασιλικιώτης 1989). Η πιο σημαντική πηγή του είναι η ατελής καύση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων γενικότερα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του παγκόσμια εκλυόμενου CO προέρχεται από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Άλλες πηγές εκπομπής CO είναι τα ηφαιστεια, οι δασικές πυρκαγιές και διάφορες βακτηριακές δράσεις.

Η τοξική του δράση οφείλεται στη μεγάλη χημική συγγένεια που έχει με την αιμογλοβίνη (Hb), τη χημική ουσία στα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και CO₂ από τα κύτταρα στους πνεύμονες.

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον :

Η αύξηση του CO στο αίμα επηρεάζει διάφορα ανθρώπινα όργανα και πρώτα - πρώτα αυτό στο οποίο η έλλειψη οξυγόνου έχει άμεσες συνέπειες, τον εγκέφαλο. Τα αποτελέσματα είναι η μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου.

Είναι φανερό ότι τις συνέπειες αυτές υφίστανται οι οδηγοί αυτοκινήτων που το επάγγελμα τους υποχρεώνει να κινούνται σε πολυσύχναστους δρόμους στενούς δρόμους με πολυώροφα κτίρια και κακό αερισμό, δηλαδή υφίστανται τις επιπτώσεις του φαινομένου της οδικής χαράδρας. Επίσης, τα όργανα της τάξεως ή και άλλες κατηγορίες ανθρώπων που είναι υποχρεωμένοι να περνούν πολλές ώρες σε κυκλοφοριακούς κόμβους. Το γεγονός αυτό πρέπει να παίρνεται υπόψη ώστε ο χρόνος παραμονής τους να είναι κατά το δυνατόν μικρότερος.

Συνεχής έκθεση σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης CO έχει ως αποτέλεσμα ξαφνική απώλεια της συνειδήσεως χωρίς αναπνευστικές διαταραχές, που συνεχιζόμενη προκαλεί το θάνατο. Θάνατοι από CO συνέβαιναν συχνά στο παρελθόν όταν ο κόσμος χρησιμοποιούσε μαγκάλια για θέρμανση, διότι λόγω έλλειψης αρκετής ποσότητας αέρα (O₂) δεν γίνονταν τέλεια καύση με αποτέλεσμα έκλυση CO το οποίο επέφερε το θάνατο.

Ο καπνός του τσιγάρου περιέχει μεγάλες συγκεντρώσεις CO, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται αρκετή ποσότητα καρβοξυαιμογλοβίνης σε μικρό χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό πρέπει να το παίρνει σοβαρά υπόψη κανείς, όταν μάλιστα ζει στο περιβάλλον μιας πόλεως όπου η ατμόσφαιρα είναι επιβαρημένη με διάφορους αέριους ρύπους η συνεργιστική δράση των οποίων, σε πολλές περιπτώσεις, δεν έχει ακόμα εκτιμηθεί. Καθαρή ατμόσφαιρα πλούσια σε οξυγόνο έχει ως αποτέλεσμα να καθαρίζεται ο άνθρωπος από την καρβοξυαιμογλοβίνη που υπάρχει στο αίμα του. Είναι φανερή επομένως και γι αυτό το λόγο η σημασία των εξορμήσεων το Σαββατοκύριακο στην εξοχή. Ο περιορισμός της ρύπανσης από CO της ατμόσφαιρας των αστικών κυρίως περιοχών έχει άμεση σχέση με τον περιορισμό των εκπομπών από τα αυτοκίνητα, γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί τόσο με την καλύτερη λειτουργία του κινητήρα, όσο και με τη χρησιμοποίηση ειδικών αντδραστήρων μέσα από τους οποίους διοχετεύονται τα καυσαέρια. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στη δημόσια υγεία έχει καθιερωθεί διεθνώς να λαμβάνεται υπόψη η οκτάωρη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η επιλογή αυτής της διάρκειας οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτείται χρονικό διάστημα 4 έως 12 ωρών για να επέλθει ισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στον εισπνεόμενο αέρα

και της καρβοξυαιμογλοβίνης (ένωσης αιμογλοβίνης και μονοξειδίου του άνθρακα) .Το ποσοστό της καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα, που προτείνει η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ) σαν ανεκτό για την προστασία του γενικού πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένων και των ευαίσθητων ομάδων, είναι 2.5-3% .Το προτεινόμενο από την ΠΟΥ όριο για το μονοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι $10\text{mg}/\text{m}^3$, συγκέντρωση που αντιστοιχεί σε ποσοστό καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα ίση με 1.60% (σημαντικό περιθώριο ασφαλείας) .Στην Ελλάδα το θεσμοθετημένο όριο επιφυλακής υπηρεσιών για την περιοχή της Αθήνας είναι τα $15\text{mg}/\text{m}^3$, που αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό καρβοξυαιμογλοβίνης στο αίμα ίσο με 2.25%, γεγονός που δεν αφήνει πρακτικά κανένα περιθώριο ασφαλείας (<http://www.air-quality.gr/co.php>).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει εκδώσει ακόμη Οδηγία με την οποία να καθορίζονται οι οριακές και κατευθυντήριες τιμές για τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, τα περισσότερα όμως ευρωπαϊκά κράτη έχουν θεσπίσει σαν οριακή τιμή της ποιότητας της ατμόσφαιρας το προτεινόμενο όριο από την ΠΟΥ, που είναι $10\text{mg}/\text{m}^3$.

1.3.2 Διοξείδιο του θείου (SO_2)

Το διοξείδιο του θείου είναι ανόργανη χημική ένωση με τύπο SO_2 . Το διοξείδιο του θείου (SO_2) είναι ένας από τους κύριους ρύπους των αστικών περιοχών. Είναι αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστειών, ενώ άλλες σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές διοξειδίου του θείου είναι η διύλιση πετρελαίου και η βιομηχανική κατεργασία θειούχων ενώσεων.

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον :

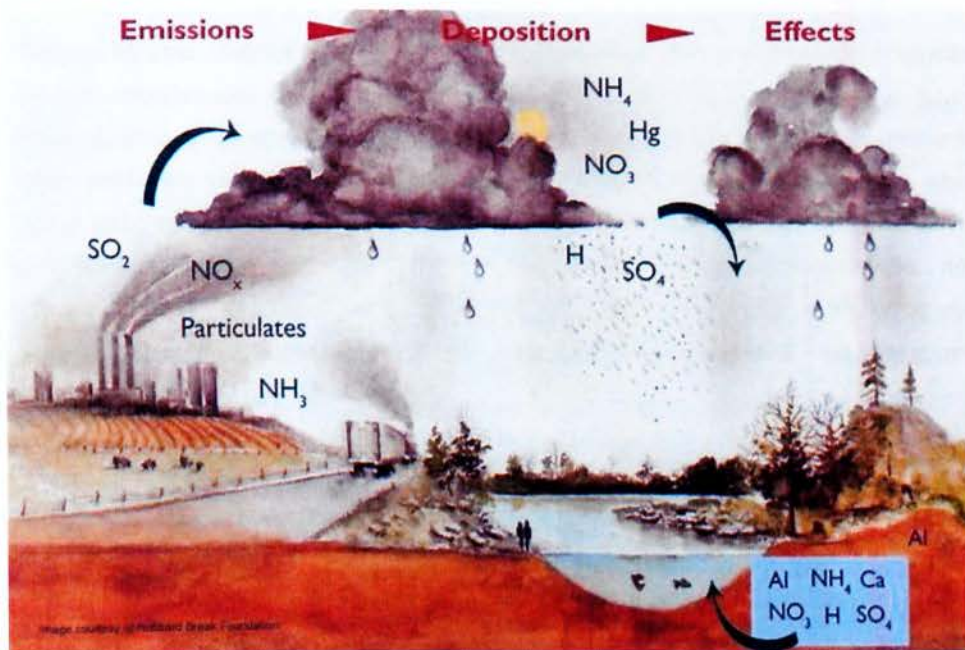
Ως ευδιάλυτο, απορροφάται από τα υγρά στο ανώτερο κυρίως τμήμα του αναπνευστικού συστήματος προκαλώντας έκκριση βλέννας. Τελικά, πολύ μικρό ποσοστό φτάνει κανονικό στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα. Σε συνδυασμό με τον καπνό και τα σωματίδια, με τα οποία συνήθως συνυπάρχει, μεταφέρεται στους πνεύμονες. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειώδες οξύ. Σε ξηρό αέρα οξειδώνεται σε SO_3 , το οποίο μετατρέπεται σε θειικό οξύ H_2SO_4 , κύριο συστατικό της όξινης βροχής.

Όξινη βροχή ονομάζεται το φαινόμενο των ασυνήθιστα όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων, όπως για παράδειγμα βροχή, χαλάζι, χιόνι, ομίχλη, πάχνη, έως και ξηρή σκόνη (Σχήμα 1.11). Το επίθετο «ασυνήθιστα» χρησιμοποιείται, γιατί συνήθως και η γήινη βροχή έχει όξινο χαρακτήρα, λόγω της διάλυσης σε αυτήν αερίων συστατικών της με όξινη συμπεριφορά, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

Η όξινη βροχή επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα σε οικοσυστήματα, καλλιέργειες, πολιτιστικά μνημεία αλλά και περιουσιακά στοιχεία των πολιτών. Οι βαριές επιπτώσεις του

φαινομένου ανάγκασαν, τα τελευταία χρόνια, πολλές κυβερνήσεις να επιβάλλουν νόμους και άλλα μέτρα με σκοπό τη μείωση, τουλάχιστον, του φαινομένου και άρα των επιπτώσεών του.

Η όξινη βροχή έχει έντονες επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα (δάση, υδροβιότοπους, έδαφος), σκοτώνοντας άμεσα ή έμμεσα διάφορες μορφές ζωής, αλλά και στα οικιστικά οικοσυστήματα, διαβρώνοντας ιστορικά μνημεία, προκαλώντας ζημιές σε κτίρια και οχήματα, αλλά και βλάπτοντας άμεσα την ανθρώπινη υγεία.



Σχήμα 1.11. Ο κύκλος της όξινης βροχής (<http://cenvironment.blogspot.gr/2009/11/epa-proposing-stronger-sulfur-dioxide.html>).

Η πτώση του pH στα επιφανειακά ύδατα από την όξινη βροχή έχει δραματικές επιπτώσεις σε πολλά υδρόβια είδη ζωής και ιδιαίτερα στα αυγά ή τα νεογνά τους, που συνήθως είναι πιο ευαίσθητα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται με προσθήκη ασβεστόλιθου. Αυτή η διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε λίμνες στη Νορβηγία και τη Σουηδία. Μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή, η οποία πρέπει να γίνεται επαναλαμβανόμενα για να αποτρέψει το νερό να ξαναγυρίσει στην όξινη κατάσταση. Θεωρείται μια βραχυπρόθεσμη επιδιόρθωση σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι μια προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης της μόλυνσης. Επιπλέον, δεν λύνει ευρύτερα προβλήματα, όπως την αλλαγή της σύστασης του εδάφους, τη μείωση της ορατότητας, την καταστροφή των υλικών και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, συχνά επιτρέπει στα ψάρια να παραμείνουν σε μια λίμνη, έτσι

ώστε ο ενδογενής πληθυσμός να επιζήσει σ' αυτό το μέρος έως ότου να μειωθεί η εκπομπή ρύπων και η απόθεση οξέων στην περιοχή (http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher6_6.html).

Το έδαφος βλάπτεται σοβαρά από την όξινη βροχή. Πολλές μορφές ζωής δεν αντέχουν το χαμηλό pH και εξοντώνονται. Επίσης τα οξέα διαλύουν και ενεργοποιούν βαρέα μέταλλα και άλλες τοξίνες με ακόμη χειρότερα αποτελέσματα. Ωστόσο, ορισμένα αλκαλικά εδάφη εξουδετερώνουν, εν μέρει τουλάχιστον, το φαινόμενο (http://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη_Βροχή).

Τα δυσμενή αποτελέσματα μπορούν να αφορούν άμεσα την ίδια την όξινη βροχή, ή έμμεσα, όπως τα αποτελέσματα του οξέος στο έδαφος. Τα δάση υψηλού ύψους είναι ιδιαίτερα τρωτά όπως περιβάλλονται συχνά από όξινη ομίχλη που είναι πιο όξινη από τη βροχή. Τα υπόλοιπα φυτά, καθώς και οι ανθρώπινες καλλιέργειες επίσης βλάπτονται σοβαρά από την όξινη βροχή, αλλά οι ζημιές στα τελευταία μειώνονται με τη χρήση λιπασμάτων που βοηθούν τα φυτά να επουλώσουν τις πληγές τους, ή μιγμάτων λιπασμάτων με ασβεστόλιθο, που εξουδετερώνει τα οξέα του εδάφους. Έχει αποδειχθεί όμως ότι η τακτική αυτή, εκτός από πολυέξοδη, είναι συχνά βλαβερή αν εφαρμοστεί στα φυσικά οικοσυστήματα (http://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη_Βροχή).



Σχήμα 1.12. Καταστροφή μνημείων από την όξινη βροχή (<https://gymmes.wikispaces.com/>).

Η όξινη βροχή μπορεί επίσης να προκαλέσει τη ζημία σε ορισμένα οικοδομικά υλικά και ιδιαίτερα σε ιστορικά μνημεία (Σχήμα 1.12). Αυτό συμβαίνει όταν αντιδρά χημικά το θειικό οξύ της όξινης βροχής με τις ενώσεις ασβεστίου στα πετρώματα (ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, μάρμαρο και γρανίτης) για να δημιουργήσει ευδιάλυτο και εύθρυπτο γύψο:



Επίσης, η όξινη βροχή είναι δυνατόν να προκαλέσει διάβρωση και οξειδωση μεταλλικών κατασκευών.

Τέλος, αποτελέσματα επιδημιολογικών μελετών έχουν επιβεβαιώσει και άμεσες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία από το διοξείδιο του θείου. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζεται ότι επιβαρύνεται η αναπνευστική λειτουργία σε ανθρώπους με προδιάθεση άσθματος (Glantz 1993, Seaton et al. 1995, Katsouyanni et al. 1997, Paliatsos et al. 2006a).

1.3.3 Αιωρούμενα Σωματίδια

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Suspended Particulate Matter - SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0.0002μm και μικρότερη από 500μm περίπου. Η σκόνη, ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αιωρούμενων σωματιδίων. Κάποια σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα ή σκουρόχρωμα, ώστε καθίστανται ορατά σαν καπνός, ενώ άλλα είναι τόσο μικρά που δύνανται να ανιχνευθούν μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ορισμένα σωματίδια διαφεύγουν απευθείας από τις πηγές τους, όπως οι καπνοδόχοι και τα αυτοκίνητα. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, αέρια όπως CO, SO₂, NO_x και VOC αντιδρούν με διάφορες ενώσεις του αέρα και δημιουργούν έτσι τα λεπτόκοκκα σωματίδια. Η φύση τους και η χημική σύστασή τους ποικίλλει, και εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή του χρόνου και τις καιρικές συνθήκες.

Διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων (με βάση τη διάμετρο τους):

Τα αιωρούμενα σωματίδια δεν είναι ένας ενιαίος ρύπος, αλλά μάλλον είναι ένα μίγμα πολλών ρύπων. Μέτρο της προσροφητικής ικανότητας των σωματιδίων αποτελεί η ειδική επιφάνειά τους, η οποία αυξάνει όσο μειώνεται η διάμετρος των σωματιδίων. Αυτό συγκλίνει και με τις τελευταία δημοσιευμένες έρευνες (πρόγραμμα CAFE (Clear Air For Europe), ΠΟΥ, πρακτική στις ΗΠΑ και Ιαπωνία) σύμφωνα με τις οποίες τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία σωματίδια είναι αυτά με την μικρότερη διάμετρο (PM_{2,5}), διότι εισέρχονται στους μικρότερους βρόγχους των πνευμόνων και μια σχετικά υψηλή και διαρκής έκθεση σε PM_{2.5} είναι περισσότερο επιβλαβής για την υγεία από ότι μια ευκαιριακή υψηλή επιβάρυνση.

Τα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν σωματίδια με διαφορετική το καθένα μορφή και σχήμα. Έτσι, η γεωμετρική τους διάμετρος δεν μπορεί να περιγράψει τις διαστάσεις τους και δεν επιτρέπει τη μελέτη των ιδιοτήτων των σωματιδίων. Με τον όρο «αεροδυναμική διάμετρος» ορίζεται η διάμετρος που πρέπει να έχει ένα σφαιρικό σώμα πυκνότητας 1g/cm³, ώστε κάτω από τις ίδιες συνθήκες να έχει την ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο (Samet and Krewski 2007, Dockery et al. 1993). Η αεροδυναμική διάμετρος, άρα το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων, είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα όπως και τις φυσικές και χημικές ιδιότητές τους. Έτσι, ο μέσος χρόνος

ζωής τους στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι πέντε ημέρες, ενώ στην ανώτερη τροπόσφαιρα φθάνει τον ένα μήνα. Όταν τα σωματίδια βρεθούν στη στρατόσφαιρα π.χ. λόγω έκρηξης ηφαιστείου, ο χρόνος παραμονής τους φθάνει τα 2-3 χρόνια. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των αερολυμάτων βρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σημαντικές εκπομπές βρίσκονται κοντά στο έδαφος, οπότε οι μικροί σχετικά χρόνοι παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν αφήνουν μεγάλα χρονικά περιθώρια για τη μεταφορά τους σε μεγαλύτερα ύψη.

Αρχικά, οι μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων αναφερόταν στα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulates, TSP), δίχως να γίνεται διαφοροποίησή τους ανάλογα με το μέγεθός τους. Η προσέγγιση αυτή ωστόσο, εξελίχθηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ανακάλυψη των διαφορετικών επιπτώσεων των σωματιδίων ανάλογα με την αεροδυναμική τους διάμετρο. Το πρωταρχικό μέτρο TSP αντικαταστάθηκε με τα PM_{10} , δηλαδή τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερης των $10\mu m$. Μελέτες που αφορούν στην μεταφορά και τον μετασχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων προτείνουν τον ακόλουθο διαχωρισμό:

- Αιωρούμενα σωματίδια *διαμέτρου μεταξύ 2.5 και $10\mu m$* , χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια, $PM_{2.5-10}$ ("coarse" particles). Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν διάφορες πηγές προέλευσης, όπως από τη σκόνη που μεταφέρεται με τον άνεμο, από οχήματα τα οποία κινούνται σε άστρωτους δρόμους, από μηχανήματα βιομηχανιών συμπίεσης, λιωσίματος και τροχισμού διαφόρων υλικών, αλέσματος, κ.ά. Σχηματίζονται υπό την επίδραση, κυρίως, μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Σωματίδια σκόνης ή χώματος προέρχονται από την κίνηση του ανέμου, ή από άλλες μηχανικές δράσεις της περιοχής. Γύρη και σπόροι απαντώνται ως μέρη των χονδρόκοκκων σωματιδίων, και κυριαρχούν ιδιαίτερος υλικά γεωλογικής προελεύσεως. Τα PM_{10} επομένως, αποτελούνται από λεπτομερώς διαχωρισμένη ανόργανη ύλη-ορυκτά, όπως οξείδια του αργιλίου, πυρίτιο, σίδηρο και κάλιο.
- Αιωρούμενα σωματίδια *διαμέτρου μικρότερης των $2.5\mu m$ ($<2.5\mu m$)* αναφέρονται ως λεπτόκοκκα σωματίδια, $PM_{2.5}$ ("fine" particles). Ως μέτρο σύγκρισης, να αναφερθεί πως μία ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου $70\mu m$. Αποδίδονται στα σχηματιζόμενα από την αέρια φάση σωματίδια, με διαδοχικές συσσωρεύσεις, συμπύκνωση, μεταφορά ή καύση, και αρχικά έχουν διάμετρο περίπου $0.05\mu m$. Αναφέρονται ως πολύ λεπτόκοκκα σωματίδια (ultra fine) ή πυρήνες σωματιδίων (nuclei mode ή very fine nuclei). Τα $PM_{2.5}$ προκύπτουν από πολλές, διαφορετικές πηγές, όπως από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, από διάφορες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και από οικιακές εστίες φωτιάς, τζάκια, φούρνους

κ.ά., οπότε έτσι η σύστασή τους ποικίλλει. Δημιουργούνται επίσης από αέρια πυρανάφλεξης, τα οποία μετατρέπονται με χημικό τρόπο σε σωματίδια.

Επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον :

Η Αμερικανική Υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA) δίνει μία νέα διάσταση και επικεντρώνεται πλέον, σε ακόμη μικρότερα σωματίδια, τα οποία διεισδύουν βαθύτερα στους πνεύμονες και προκαλούν πλήθος συμπτωμάτων. Οι μέχρι τώρα έρευνες, δείχνουν ότι σωματίδια αυτής της τάξεως μεγέθους (<2.5μm) αποτελούνται από ποικίλες ποσότητες θειικών (SO_4^{2-}) και νιτρικών (NO_3^-) ιόντων, ιόντων αμμωνίου, άνθρακα, οργανικών ενώσεων του άνθρακα, ύδατος, καθώς και μικρών ποσοτήτων χρώματος, σκόνης, ενώσεων του μολύβδου και ίχνη άλλων. Το είδος, αυτού του μεγέθους των σωματιδίων, προέρχεται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντικές και ποικιλόμορφες σε όλους τους τομείς του περιβάλλοντος, ενώ ειδικότερα στην υγεία εξαρτώνται από τη διάμετρό τους, τη χημική τους σύσταση καθώς και από την ύπαρξη άλλων ρύπων, με τους οποίους δρουν συνεργητικά.

Σύμφωνα με μελέτη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA 2009), κατά τη διάρκεια του έτους 2005 καταγράφηκαν στην Ευρώπη περίπου 373000 πρόωροι θάνατοι ατόμων που εκτέθηκαν σε αιωρούμενα σωματίδια. Από αυτούς περίπου 1300 θάνατοι ανά εκατομμύριο κατοίκους αντιστοιχούν στη χώρα μας. Συνολικά στη Γηραιά Ήπειρο το 9% των πολιτών έχει εκτεθεί σε μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων που ξεπερνούν την οριακή τιμή που έχει οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Σε έξι χώρες όμως - Ελλάδα, Αλβανία, Βουλγαρία, Κύπρος, ΠΓΔΜ και Ρουμανία- υπολογίζεται ότι το ένα τέταρτο και πλέον του πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων πάνω από τις θεσμοθετημένες οριακές τιμές (EEA 2009). Επιπλέον, όπως δείχνουν τα στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), περίπου το 28% του πληθυσμού της Ευρώπης εισπνέει για περισσότερες από 35 ημέρες τον χρόνο συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{10} πάνω από το όριο των $50\mu g/m^3$, δηλαδή πάνω από τη θεσμοθετημένη ημερήσια οριακή τιμή συγκέντρωσης με βάση την Οδηγία 2008/50/EK.

1.3.4 Οξειδία του αζώτου

Με τον όρο οξειδία του αζώτου εννοούνται το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) που εμφανίζονται στον αέρα. Το άζωτο, που αποτελεί το 78% της κατ' όγκο περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας, σχηματίζει διάφορα οξειδία κατά τη λειτουργία όλων των μηχανών εσωτερικής καύσεως (π.χ. αυτοκίνητα) και των μονάδων παραγωγής ενέργειας που

για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα. Η κύρια ένωση του αζώτου που παράγεται κατά λειτουργία των αυτοκινήτων είναι το μονοξειδίο του αζώτου (NO). Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσεως, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του οξειδίου του αζώτου που εκλύεται. Το σχηματιζόμενο μονοξειδίο του αζώτου αντιδρά, σε διάστημα μερικών δεκάδων λεπτών, με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, παράγοντας διοξειδίο του αζώτου ([el.wikipedia.org/wiki/Οξειδία του αζώτου \(NOx\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Οξειδία_του_αζώτου_(NOx))):



Το μονοξειδίο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Αντίθετα, το διοξειδίο έχει δριμεία μυρωδιά και κόκκινο-κίτρινο-καστανό χρώμα. Μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα μειώνει τη φωτεινότητα και αποτελεί κύριο συστατικό για τη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

Επιπτώσεις στην υγεία και το φυσικό περιβάλλον:

Έκθεση μικρής διάρκειας (π.χ. για λιγότερο από 3 ώρες) σε τρέχοντα επίπεδα NO₂, πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νόσων, όπως το παιδικό άσθμα (5-12 ετών). Παρατεταμένη έκθεση προκαλεί ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές, μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων (www.ergoerevnitiki.gr/NO2.htm)

Τα οξείδια του αζώτου συμμετέχουν στην εμφάνιση ποικιλίας αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως οι σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης υδροβιοτόπων και χερσαίων εκτάσεων, το σχηματισμό της όξινης βροχής, την οξίνιση υδάτινων συστημάτων, την πρόκληση ευτροφισμού σε υδάτινα συστήματα, τη μείωση της ορατότητας στην ατμόσφαιρα σε συνθήκες φωτοχημικής αιθαλομίχλης, την αύξηση των επιπέδων τοξικότητας σε διάφορα υδάτινα οικοσυστήματα με αποτέλεσμα την «εκδίωξη» των διαφόρων ειδών ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων που ζουν σε αυτά και σε ακραίες περιπτώσεις τοξικότητας την πρόκληση του θανάτου τους (Παλιατσός 2009).

1.3.5. Επιφανειακό Όζον

Το όζον (O₃) είναι αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου και είναι ένας από τους δευτερογενείς ρύπους της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή και με ισχυρή οξειδωτική δράση. Η χημική αντίδραση του σχηματισμού του βασίζεται στη φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου σε μήκη κύματος λ<380 nm οπότε παράγεται το ατομικό οξυγόνο (O) που αντιδρά πολύ γρήγορα με το ελεύθερο οξυγόνο του αέρα για να σχηματισθεί όζον. Αυτή η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος γίνεται κάτω από κάτω από συνθήκες έντονης ηλιακής δραστηριότητας και υψηλής θερμοκρασίας. Συνεπώς, το επιφανειακό όζον είναι

δευτερογενής ρύπος που υπεισέρχεται σε ολόκληρη σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων στις οποίες μεγάλη σημασία έχουν και οι εκλούμενοι, στην ατμόσφαιρα, υδρογονάνθρακες.

Επιπτώσεις στην υγεία και το φυσικό περιβάλλον:

Η σημασία των επιπτώσεων του επιφανειακού όζοντος στην ανθρώπινη υγεία, το ζωικό πληθυσμό, την ανάπτυξη των φυτών, καθώς και το σημαντικό του ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο της τροπόσφαιρας έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Lippmann 1991, Schenone and Lorenzini 1992, Brauer and Brook 1997). Έκθεση μικρής χρονικής διάρκειας (1-3 ωρών) και παρατεταμένης διάρκειας (6-8 ωρών) σε περιβάλλον όζοντος έχει συνδεθεί με μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην υγεία, για παράδειγμα, επείγοντα περιστατικά με αναπνευστικά προβλήματα. Επαναλαμβανόμενη έκθεση σε όζον προκαλεί στους ανθρώπους πόνους στο στέρνο, επίμονο βήχα, επιδείνωση προϋπαρχόντων αναπνευστικών νοσημάτων όπως το άσθμα, σοβαρές φλεγμονές των πνευμόνων, ακόμη και μη αναστρέψιμες βλάβες αυτών, που τελικά οδηγούν σε πρόωρη γήρανση και/ή σε χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες. Παιδιά τα οποία παίζουν στην ύπαιθρο και άτομα που εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν δηλαδή οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι στα υψηλότερα επίπεδα, κινδυνεύουν άμεσα από την εκδήλωση τέτοιων συμπτωμάτων (www.air-quality.gr/o3.php).

Το επιφανειακό όζον είναι ένας ατμοσφαιρικός ρύπος που βρίσκεται παντού και θεωρείται υπεύθυνος για τον τραυματισμό των φύλλων, για τις μειώσεις της συγκομιδής και της παραγωγής σπόρου, και την ανικανότητα αύξησης των δασικών δέντρων (Chevone and Linzon 1988, Krupa and Manning 1988, Pye 1988, Velissariou et al. 1992, Fuhrer et al. 1997, Lefohn et al. 1997, Jackson et al. 2000, Fumagalli et al. 2001). Το επιφανειακό όζον επιδρά στη βλάστηση και στα οικοσυστήματα, οδηγώντας στην υποβάθμιση των αγροτικών εδαφών, στη μείωση της παραγωγικότητας λαχανικών με ταυτόχρονη αύξηση των ασθενειών των φυτών, στην εμφάνιση εντόμων. Καταστρέφει το φύλλωμα των δέντρων κι έτσι την αισθητική των δασών και των πάρκων. Προηγούμενες μελέτες που ανέλυσαν τα επίπεδα του επιφανειακού όζοντος τόσο στην περιοχή Αλιάρτου-Βοιωτίας, όσο και στην περιοχή του Βόλου, διαπίστωσαν αρνητικές επιπτώσεις στη συγκομιδή γεωργικών προϊόντων στις υπό μελέτη περιοχές (Paliatsos et al. 2006b, Proias et al 2012).

2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την Ε.Ε. και την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (ΠΟΥ). Αυτή λοιπόν η συχνή εμφάνιση τέτοιων υπερβάσεων, έχει σαν αποτέλεσμα την

επιδείνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αστικών περιοχών, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την υγεία των κατοίκων αυτών των περιοχών. Από σχετικές μελέτες που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί, έχει διαπιστωθεί ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται τόσο από τις κατά τόπους επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, όσο και από τις ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη περιοχών.

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ρυπασμένες περιοχές. Λόγω της ανομοιομορφίας των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν εισαχθεί διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες, των οποίων η χρήση καθιστά δυνατή την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μιας περιοχής. Ένας περιβαλλοντικός δείκτης είναι μια αριθμητική ή περιγραφική κατηγοριοποίηση μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών παραμέτρων, με αντικειμενικό σκοπό την παροχή δυνατότητας για εξαγωγή πληροφοριών που μπορούν να καταστούν χρήσιμες στους σχετιζόμενους με την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας παράλληλα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και επιστημονικής τους ανάλυσης (Canter 1996, Thom and Ott 1976, Tunstall 1979, Washington 1984).

2.1. Πρότυπος Δείκτης Ρύπανσης

Ένας περιβαλλοντικός δείκτης, κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής, είναι ο πρότυπος δείκτης ρύπανσης (PSI) που προτάθηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency και για συντομία EPA), περίπου στα μέσα της δεκαετίας του '70 (Ott and Hunt 1976, Ott and Thom 1976, Thom and Ott 1976), με αντικειμενικό σκοπό την τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης, η χρησιμοποίηση αυτού του δείκτη αποβλέπει στη διευκόλυνση των συγκρίσεων που σχετίζονται με την ποιότητα της ατμόσφαιρας διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Ο δείκτης PSI είναι σύνθετος δείκτης που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων. Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται από 0 μέχρι 500 και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας (Πίνακας 2.1). Οπότε οι τιμές του δείκτη PSI καθορίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με σχετικό πίνακα αποτίμησης.

Πίνακας 2.1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boubel et al. 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0 - 50	Καλή
51 - 100	Μέτρια
101 - 200	Ανθυγιεινή
201 - 300	Πολύ Ανθυγιεινή
> 300	Επικίνδυνη

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) \quad (2.1)$$

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, του I_2 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, του I_3 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου, του I_4 από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του I_5 από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και τέλος του I_6 από το γινόμενο των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου.

Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε γεγονότα πολύ επιβλαβή για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ρύπων που τις διαμορφώνουν, εμφανίζονται στον Πίνακα 2.2.

Είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μ m (PM₁₀) έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πίνακας 2.2. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al. 1994).

I	TSP 24 hr $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO ₂ 24 hr $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TSP* SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ²	CO 8 hr mg/m^3	O ₃ 1 hr $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ 1 hr $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0	0	0	-	0	0	-
50	75	80	-	5	118	-
100	260	365	-	10	235	-
200	375	800	65000	17	400	1130
300	625	1600	261000	34	800	2260
400	875	2100	393000	46	1000	3000
500	1000	2620	490000	57.5	1200	3750

Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα στο οποίο εισέρχονται με την αναπνοή. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10μm, που αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση. Λόγω των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται στην υγεία από την εισπνοή αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10μm, η EPA έλαβε υπόψη το συγκεκριμένο ρύπο στη διαμόρφωση των τιμών του περιβαλλοντικού δείκτη PSI, δημιουργώντας σχετικό υποδείκτη οι τιμές του οποίου διαμορφώνονται από τις τιμές του PM₁₀, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3.

Στην περίπτωση αυτή η σχέση (2.1) παίρνει τη μορφή

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) \quad (2.2)$$

όπου I_1 στη σχέση (2.2), είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των PM₁₀.

Πίνακας 2.3. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al. 1994).

	PM ₁₀ 24 hr μg/m ³	SO ₂ 24 hr μg/m ³	CO 8 hr mg/m ³	O ₃ 1 hr μg/m ³	NO ₂ 1 hr μg/m ³
0	0	0	0	0	-
50	50	80	5	118	-
100	150	365	10	235	-
200	380	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	> 500	> 2100	> 46	> 1000	> 3000

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας (Πίνακας 2.1) συνδέεται με επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων της περιοχής. Στη διεθνή βιβλιογραφία εμφανίζονται, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI (Πίνακας 2.4), οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής.

Ο υπολογισμός της τιμής του περιβαλλοντικού δείκτη PSI γίνεται με τον υπολογισμό των τιμών του επιμέρους δείκτη I_1 που προσδιορίζεται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 2.3). Από τις τιμές της 2ης στήλης του Πίνακα 2.3 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_1 εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα, καθορίζεται η συνάρτηση υπολογισμού των τιμών

του επιμέρους δείκτη I_i που αντιστοιχεί στις 24ωρες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τη βοήθεια κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής (παρεμβολή με συναρτήσεις splines), που είναι:

$$I_i = \frac{I_{i+1} - I_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) + I_i \quad (2.3)$$

όπου I_i με $i=0(1)6$ είναι οι τιμές του επιμέρους δείκτη I_i και C_i με $i=0(1)6$ είναι οι αντίστοιχες 24ωρες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, που εμφανίζονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.4. Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Bouhel et al. 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία
0 - 50	Καλή	Καμία για το συνολικό πληθυσμό
51 - 100	Μέτρια	Μερικές ή και καμία για το συνολικό πληθυσμό
101 - 200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
201 - 300	Πολύ Ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα. Εκτεταμένα συμπτώματα στην υγεία του πληθυσμού
> 300	Επικίνδυνη	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών με σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία των ανθρώπων. Σε περιπτώσεις που $PSI > 400$, τότε ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθένειες καθώς και ηλικιωμένων ατόμων

Με όμοιο τρόπο υπολογίζονται και οι υπόλοιποι επιμέρους δείκτες (I_2, I_3, I_4) λαμβανομένων υπόψη των τιμών, για κάθε κατώφλι του εκάστοτε «εμπλεκόμενου» ρύπου, με βάση τον Πίνακα 2.3.

2.2. Δείκτης Ποιότητας Αέρα

Ο δείκτης PSI αναθεωρήθηκε και μετασχηματίστηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος το έτος 1999 και μετονομάστηκε σε δείκτη ποιότητας αέρα (Air Quality Index - AQI). Ο δείκτης AQI υπολογίζεται για κάθε ρύπο χωριστά, με βάση τη σχέση (2.4) (U.S.E.P.A. 1999):

$$I_i = \frac{I_{i+1} - I_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) + I_i \quad (2.4)$$

όπου:

I_{i+1} : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_{i+1} (Πίνακας 2.5),

I_i : η τιμή του δείκτη AQI σύμφωνα με την τιμή συγκέντρωσης C_i (Πίνακας 2.5),

C : η τιμή συγκέντρωσης του ρύπου τη στιγμή που υπολογίζεται ο δείκτης και με βάση τα εθνικά όρια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Πίνακας 2.5),

C_{i+1} : η ανώτερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 2.5),

C_i : η μικρότερη τιμή συγκέντρωσης κάθε ρύπου χωριστά (Πίνακας 2.5).

Στον Πίνακα 2.5 δίνονται οι τιμές συγκέντρωσης με τα άνω και κάτω όριά τους, για κάθε ρύπο χωριστά καθώς επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες και κατώτερες τιμές του δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης AQI (Franceschini et al. 2005). Αφού υπολογιστούν οι επιμέρους δείκτες, για κάθε ρύπο χωριστά, ως ημερήσια τιμή του δείκτη AQI θεωρείται η μεγαλύτερη από τις επιμέρους τιμές.

Πίνακας 2.5. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη AQI (Franceschini et al. 2005).

Τιμή AQI	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-500
PM ₁₀ μg/m ³ (24 hr)	0-54	55-154	155-254	255-354	355-424	425-604
PM _{2.5} μg/m ³ (24 hr)	0-15.4	15.5-40.4	40.5-65.4	65.5-150.4	150.5-250.4	250.5-500.4
SO ₂ ppm (24 hr)	0-0.034	0.035-0.144	0.145-0.225	0.225-0.304	0.305-0.604	0.605-1.004
CO mg/m ³ (8 hr)	0-4.4	4.5-9.4	9.5-12.4	12.5-15.4	15.5-30.4	30.5-50.4
O ₃ ppm (8 hr)	0-0.064	0.065-0.084	0.085-0.104	0.105-0.124	0.125-0.374	(*)
O ₃ ppm (1 hr)	-	-	0.125-0.164	0.165-0.204	0.205-0.404	0.405-0.604
NO ₂ ppm (1 hr)	-	-	-	-	0.65-1.24	1.25-2.04

(*): σε περιπτώσεις που οι μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος είναι μεγαλύτερες των 0.374 ppm, τότε ο AQI πρέπει να υπολογίζεται από τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος.

Υπάρχουν επτά επιμέρους δείκτες. Η ημερήσια τιμή του δείκτη PSI είναι η μέγιστη τιμή αυτών των επτά επιμέρους δεικτών, με βάση τη σχέση (2.5):

$$AQI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7) \quad (2.5)$$

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μ m (PM_{10}), I_2 είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων μικροσωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5 μ m ($PM_{2.5}$), I_3 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου, I_4 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα, I_5 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος, I_6 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του όζοντος και I_7 ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και τα αντίστοιχα όρια τιμών συγκέντρωσης των ρύπων που τις διαμορφώνουν, δίνονται στον Πίνακα 2.5.

Ο σκοπός του δείκτη AQI είναι στο να βοηθήσει στην κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία, σε τοπικό επίπεδο. Για το σκοπό αυτό χωρίζεται σε έξι διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα που με τη σειρά τους αντιπροσωπεύονται από έξι διαφορετικά χρώματα, όπως εμφανίζονται και στον Πίνακα 2.6. Σε κάθε κατηγορία τιμών του δείκτη AQI αντιστοιχούν και κάποιες πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού (U.S. EPA 1999).

Πίνακας 2.6. Κατηγορίες τιμών του δείκτη AQI και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (U.S.E.P.A. 1999).

Τιμές επιμέρους δείκτη του AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία
0-50	Καλή	Καμία επίπτωση για το σύνολο του πληθυσμού
51-100	Μέτρια	Μερικές ή καθόλου επιπτώσεις στο σύνολο του πληθυσμού
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
151-200	Ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των πιο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
201-300	Πολύ ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου σχεδόν του πληθυσμού
301-500	Επικίνδυνα ανθυγιεινή	Σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου του πληθυσμού με ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων

3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και μπορούν να διαχωριστούν σε προβλήματα βιομηχανικής (θερμοηλεκτρικοί σταθμοί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές μονάδες) και αστικής ρύπανσης (κεντρική θέρμανση, κυκλοφορία).

Αναφέρουμε μόνο την περίπτωση της ανθρωπογενούς ρύπανσης καθώς στην υπό μελέτη περιοχή, το πρόβλημα αφορά σε βιομηχανική ρύπανση και δημιουργείται από τη συγκέντρωση πολλών (έστω και μικρών) μονάδων σε περιοχή που βρίσκεται σε άμεση γεινίαση με κατοικημένες περιοχές. Οι εκπομπές των βιομηχανικών μονάδων συμβάλλουν με ένα σημαντικό ποσοστό στη διαμόρφωση των επιπέδων αέριας ρύπανσης, κυρίως στη διαμόρφωση της αέριας ρύπανσης από SO₂, NO_x και αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM₁₀).

Η περιοχή των Οινοφύτων στη Βοιωτία συνιστά τη μεγαλύτερη βιομηχανική συγκέντρωση στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Πρόκειται για μια "άτυπη" βιομηχανική περιοχή που αποτελεί δορυφορική ανάπτυξη του βιομηχανικού συγκροτήματος της Αθήνας. Η δημιουργία της οφείλεται στο Προεδρικό Διάταγμα 84/1984 το οποίο απαγόρευε την ίδρυση νέων αλλά και τον εκσυγχρονισμό υφιστάμενων βιομηχανιών στην Αττική και έδινε κίνητρα σε όσες χωροθετούνταν σε απόσταση μεγαλύτερη από 60km από την Αθήνα.

Ωστόσο, η άτυπη και άναρχη βιομηχανική ανάπτυξη στην περιοχή των Οινοφύτων είχε ως αποτέλεσμα οι μονάδες να μην έχουν πρόσβαση σε απαραίτητες τεχνικές υποδομές όπως τα βασικά δίκτυα οδοποιίας, το δίκτυο υδροδότησης, τις κεντρικές υπηρεσίες εξυπηρέτησης και κυρίως στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων και λυμάτων. Οι ελλείψεις αυτές, σε συνδυασμό με τους πλημμελείς ελέγχους σε επίπεδο επιχείρησης, έχουν οδηγήσει στη σοβαρή περιβαλλοντική υποβάθμιση της ευρύτερης περιοχής.



Σχήμα 3.1. Εργοστάσια στα Οινόφυτα. Οι αέριοι ρύποι κυριαρχούν στο τοπίο (<http://static.panoramio.com/photos/original/7788389.jpg>).

Το σοβαρότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα προκαλείται από την ανεξέλεγκτη λειτουργία 60 περίπου εργοστασίων της περιοχής που δεν διαθέτουν ή δεν θέτουν σε λειτουργία τον απαραίτητο εξοπλισμό για την κατακράτηση των εκλυόμενων αέριων ρύπων, για την επεξεργασία των αποβλήτων και των λυμάτων με καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον (Σχήμα 3.1).

Στα πλαίσια του Εθνικού Χωροταξικού για τη Βιομηχανία έχει προγραμματιστεί η ποιοτική αναδιάρθρωση της περιοχής και η δημιουργία Β.Ε.ΠΕ. (Βιομηχανικής και Επιχειρηματικής Περιοχής) εθνικής εμβέλειας σε περιοχή έκτασης 2000 στρεμ. στη ζώνη Οινόφυτων – Σχηματαρίου – Τανάγρας, στην οποία θα εγκατασταθούν και αποθηκευτικοί χώροι και κέντρα διανομής του τριτογενή τομέα. Στα πλαίσια της Β.Ε.ΠΕ. πρόκειται να κατασκευαστούν τα απαραίτητα έργα για την αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος (οργανωμένος χώρος υποδοχής επιχειρήσεων, εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων, κ.ά.)

Κύρια κατεύθυνση είναι η υψηλή αύξηση των οργανωμένων υποδοχέων, για την εξυγίανση υφιστάμενων συγκεντρώσεων (ιδίως στο τμήμα της περιφέρειας που εμπίπτει στη Μητροπολιτική Περιοχή της Αθήνας), για μετεγκαταστάσεις υφιστάμενων μονάδων και για εγκατάσταση νέων μονάδων μεταποίησης. Επίσης, μια άλλη κατευθυντήρια γραμμή είναι η

παροχή δυνατοτήτων επί τόπου εκσυγχρονισμού μέρους των υφιστάμενων μονάδων, δηλαδή μονάδων που από τη φύση τους τείνουν να χωροθετούνται αυτοτελώς και επίσης πολύ μεγάλες μονάδες με άκαμπτη χωροθέτηση λόγω της εξάρτησης από σημαντικούς ορυκτούς πόρους (<http://www.greekscapes.gr/~landscapesatlas/index.php/2010-01-21-16-47-29/landscapescat/41/230-oinofita.html>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

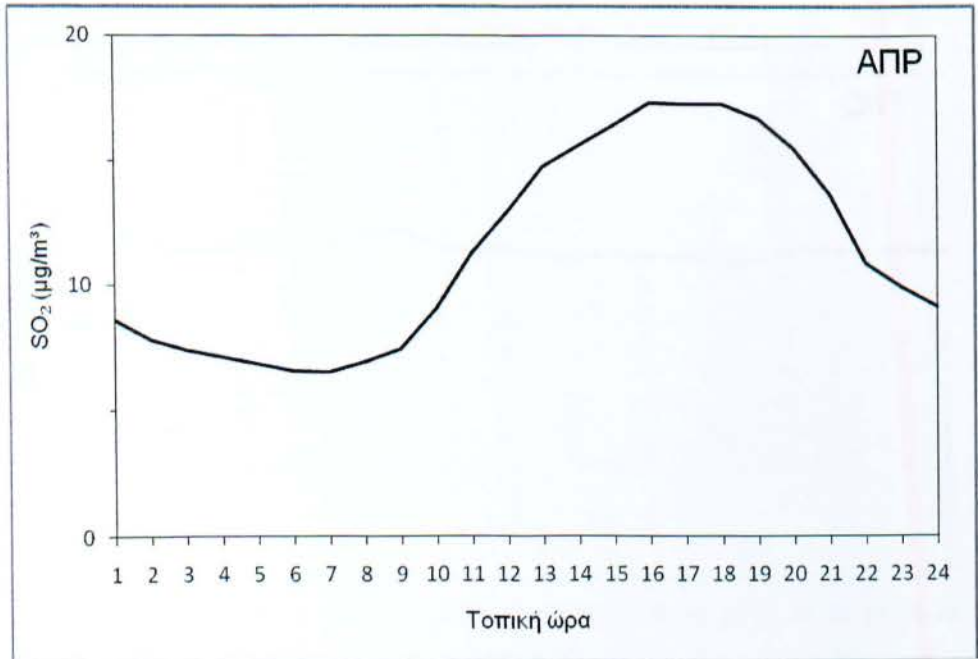
1. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ

1.1. Διοξείδιο του θείου (SO₂)

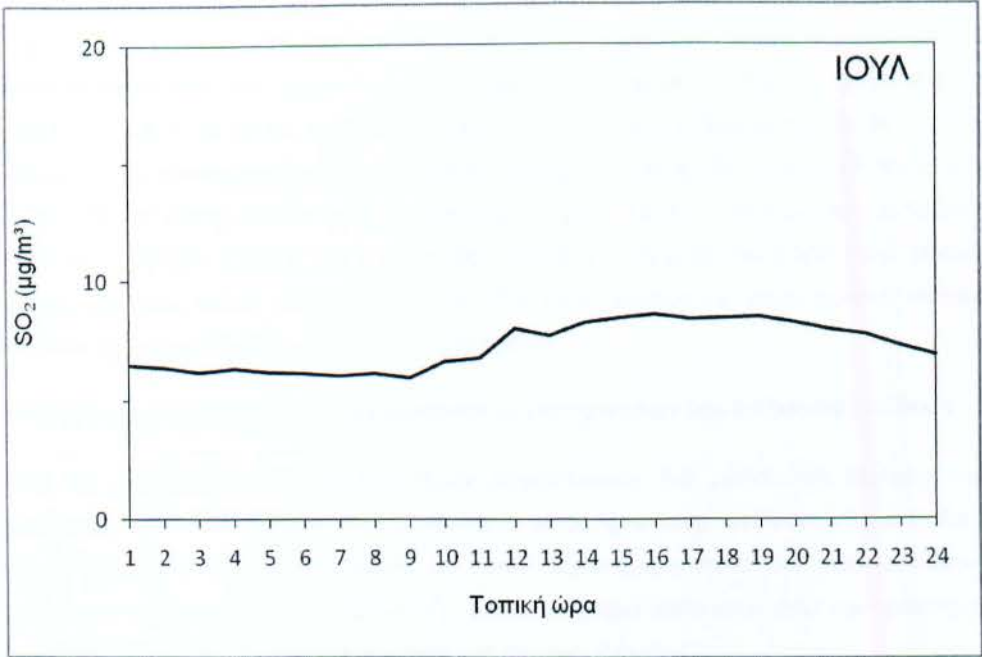
Ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2009. Προκειμένου να μελετηθεί η ενδοημερήσια μεταβολή των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου, μελετήθηκε η μεταβολή στη διάρκεια των κεντρικών μηνών κάθε εποχής, δηλαδή για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 1α-1γ.

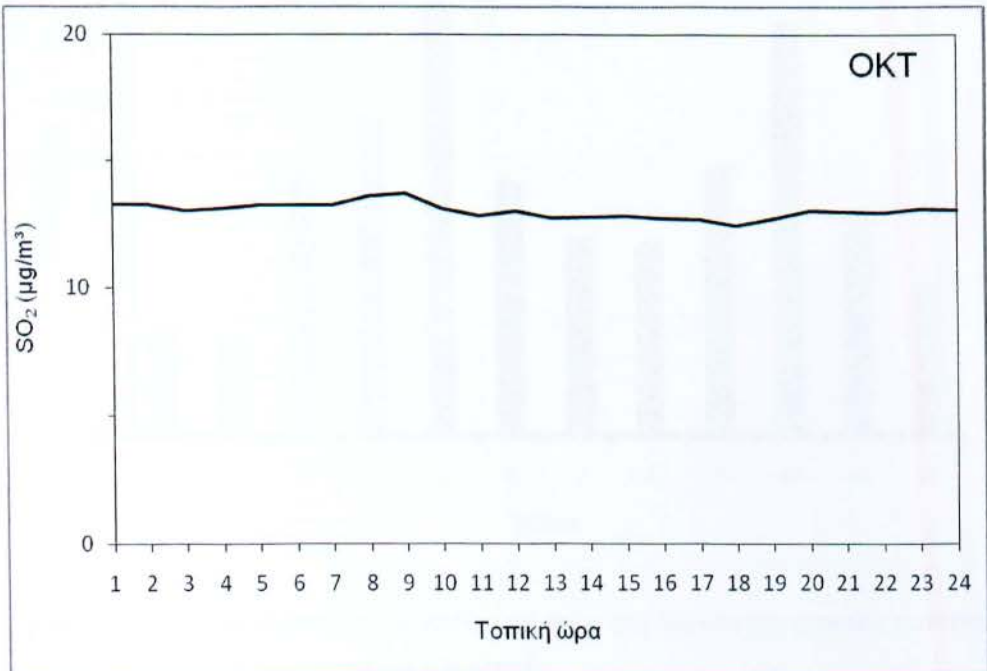
Στη διάρκεια της υπό μελέτη διετούς περιόδου, η πληρότητα δεδομένων για τους εξεταζόμενους μήνες ανέρχεται, για τον Ιανουάριο (~16%), τον Απρίλιο (100%), τον Ιούλιο (~97%) και τον Οκτώβριο (87%). Εξαιτίας χαμηλής πληρότητας των δεδομένων στη διάρκεια του μέσου μήνα του χειμώνα, δεν παρουσιάζεται η ενδοημερήσια μεταβολή για το συγκεκριμένο μήνα (Ιανουάριο).



Σχήμα 1α. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του SO₂ στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2008-2009.



Σχήμα 1β. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του SO₂ στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2008-2009.

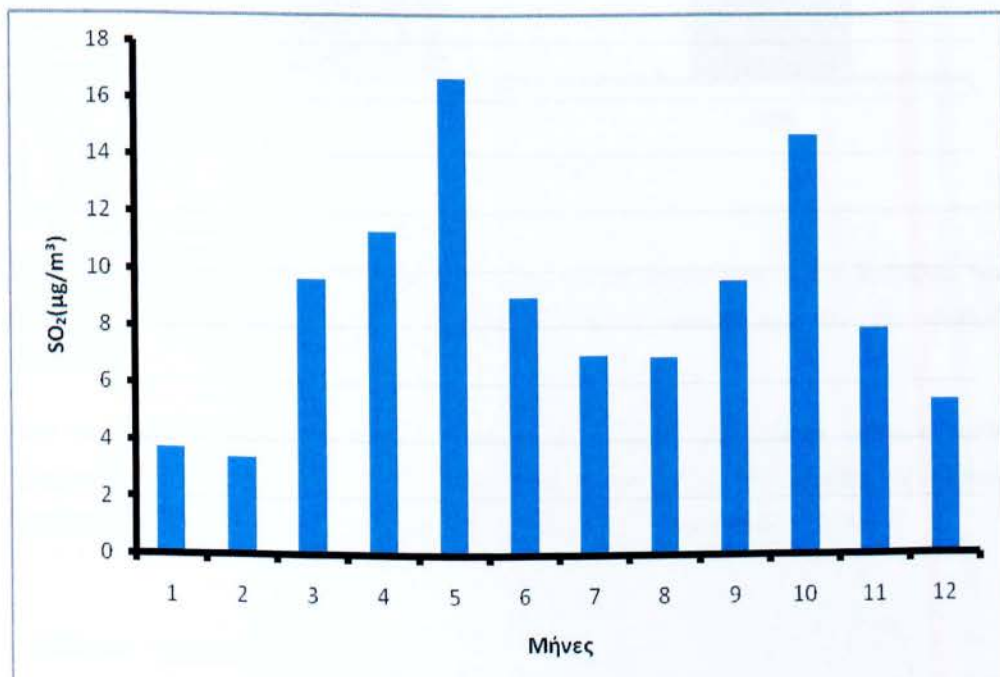


Σχήμα 1γ. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του SO₂ στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2008-2009.

Από τα Σχήματα 1α-1γ διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του ρύπου χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο το οποίο εμφανίζεται, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, μεταξύ των ωρών 09:00 και 21:00. Ειδικότερα, το μέγιστο είναι εντονότερο κατά τον Απρίλιο (Σχήμα 1α) με ενδοημερήσιο εύρος μεταβολής $10.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, λιγότερο δε έντονο κατά τον Ιούλιο (Σχήμα 1β) με ενδοημερήσιο εύρος μεταβολής $2.6\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τέλος, η ενδοημερήσια μεταβολή κατά τον Οκτώβριο (Σχήμα 1γ) είναι σχεδόν ανύπαρκτη εξαιτίας του πάρα πολύ μικρού εύρους της που φτάνει μόλις τα $1.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν είναι δυνατόν να αποτυπωθούν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της στο συγκεκριμένο μήνα.

Ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου

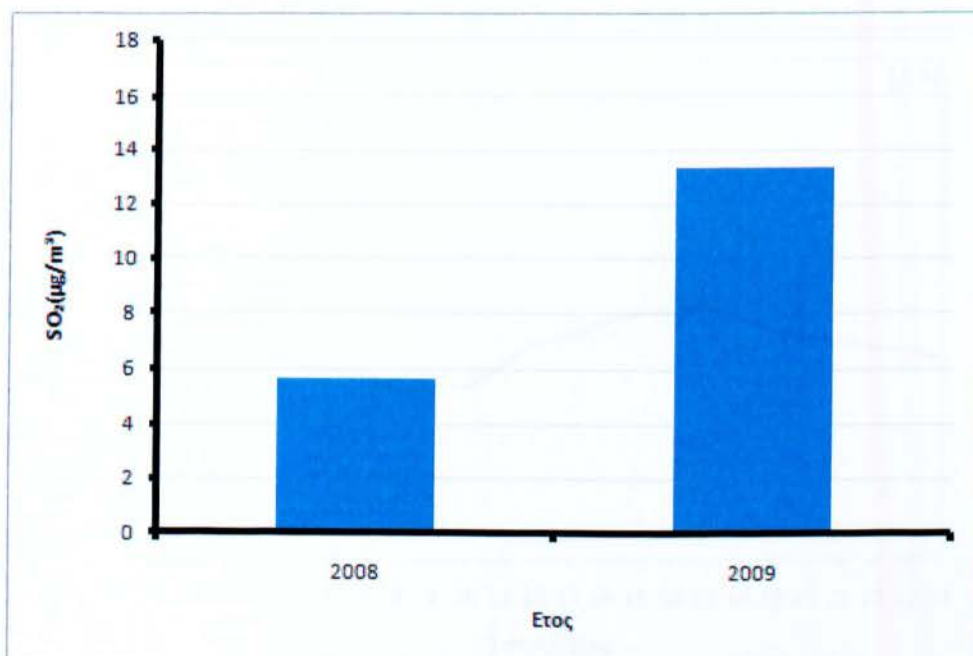
Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2009 υπολογίσθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης. Από την επεξεργασία τους διαπιστώθηκε ότι, στην εξεταζόμενη διαείτα δεν παρουσιάστηκε υπέρβαση της οριακής τιμής ($125\mu\text{g}/\text{m}^3$), όπως αυτή έχει καθοριστεί από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (ΕΚ 1999), στο συγκεκριμένο σταθμό μέτρησης.



Σχήμα 2. Ενδοετήσια μεταβολή του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου.



Σχήμα 3. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

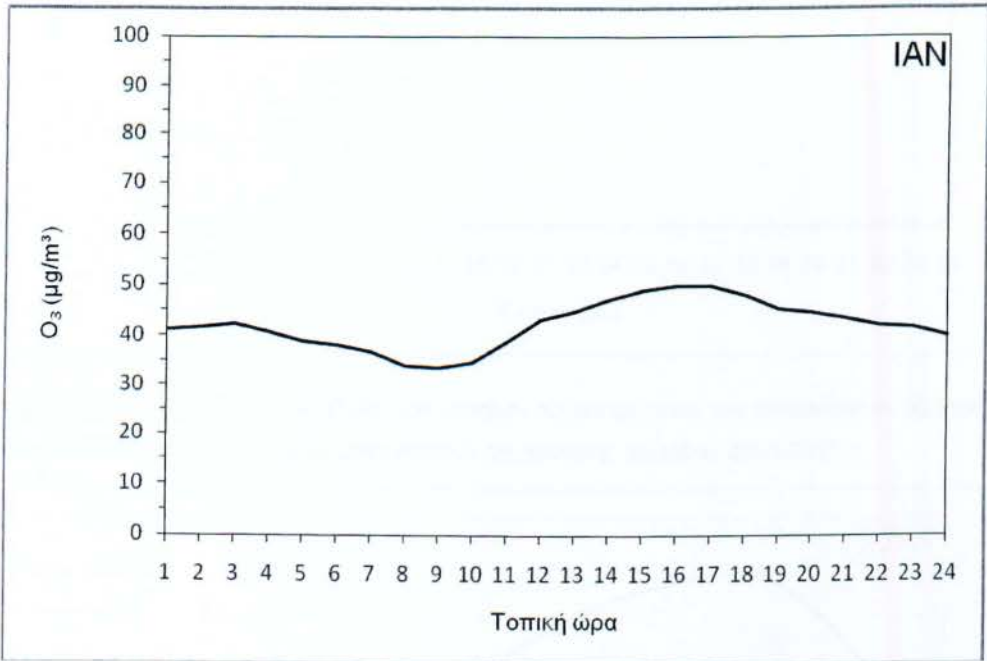
Από το Σχήμα 3 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου εμφανίζει ανοδική τάση, στη διάρκεια της 2-ετούς περιόδου, 2008-2009, συνεχούς καταγραφής του ρύπου στη συγκεκριμένη θέση.

1.2 Επιφανειακό όζον (O₃)

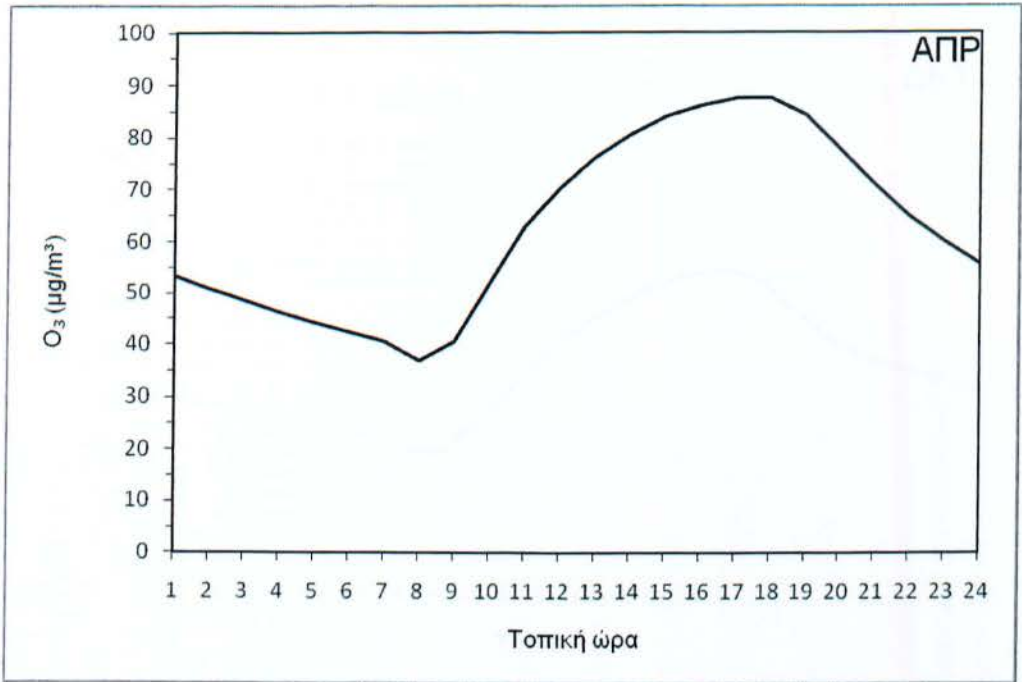
Ενδοημερήσια μεταβολή του επιφανειακού όζοντος

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2011, έγινε η μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβολής των συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος για τους κεντρικούς μήνες κάθε εποχής του έτους,

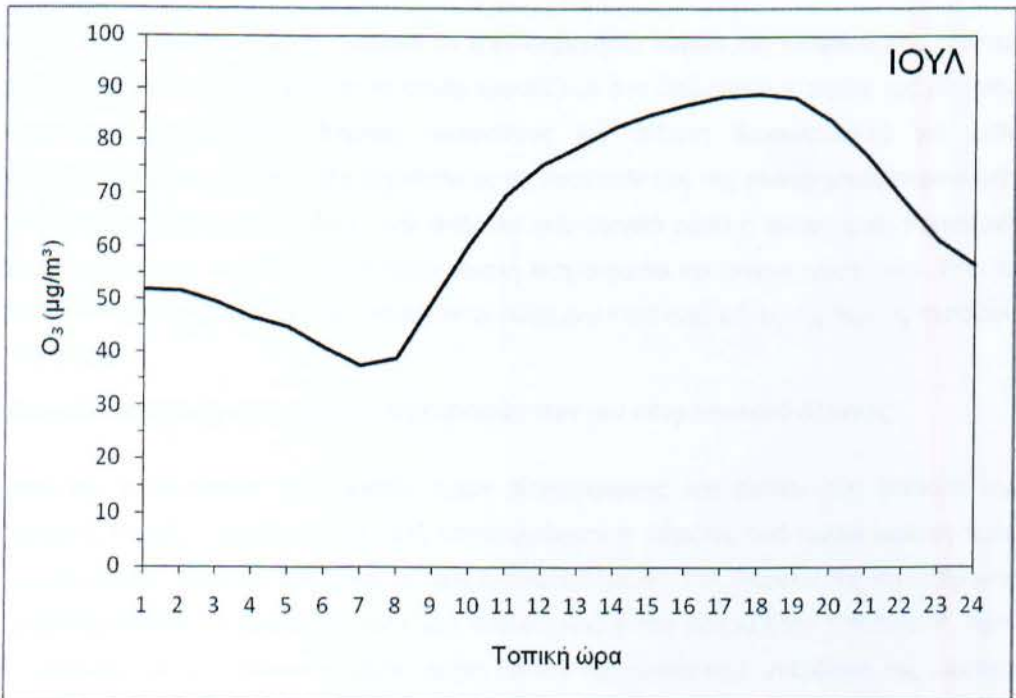
δηλαδή για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 4α-4δ. Στη διάρκεια της υπό μελέτη τετραετούς περιόδου, 2008-2011, η πληρότητα δεδομένων για τους εξεταζόμενους μήνες ανέρχεται, για τον Ιανουάριο (~44%), τον Απρίλιο (100%), τον Ιούλιο (~92%) και τον Οκτώβριο (66%).



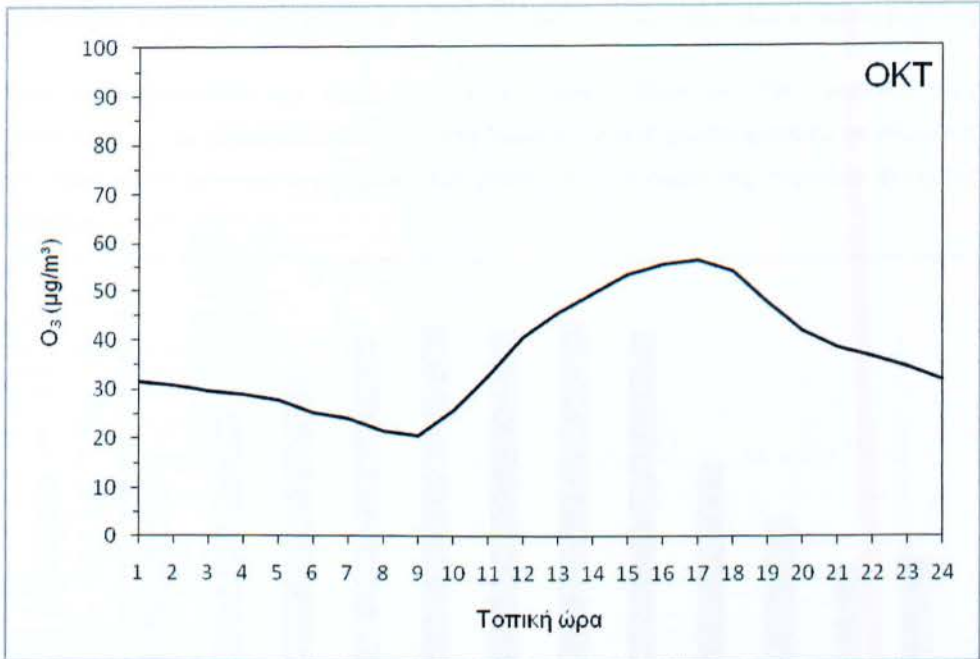
Σχήμα 4α. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2008-2011.



Σχήμα 4β. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2008-2011.



Σχήμα 4γ. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2008-2011.



Σχήμα 4b. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2008-2011.

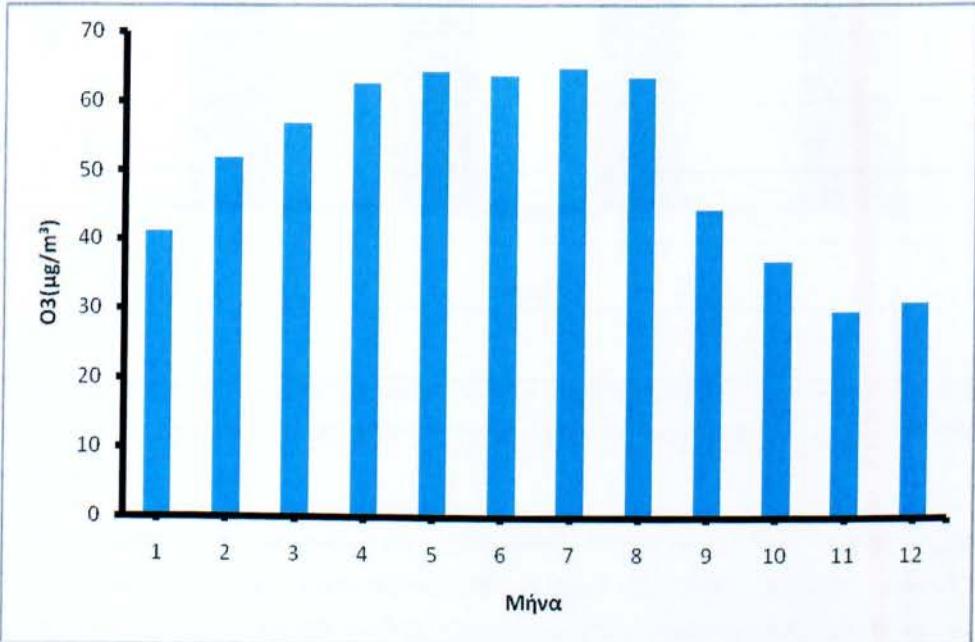
Από τα Σχήματα 4α-4δ διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια πορεία του επιφανειακού όζοντος χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο το οποίο εμφανίζεται στη διάρκεια των ωρών της μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας (διάρκεια ηλιοφάνειας και αύξηση θερμοκρασίας) για κάθε εξεταζόμενο μήνα, γεγονός που συμπίπτει με τις προϋποθέσεις της φωτοχημικής παραγωγής του συγκεκριμένου ρύπου. Αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό αφού η φωτοχημική παραγωγή του επιφανειακού όζοντος προϋποθέτει υψηλή θερμοκρασία και έντονη ηλιοφάνεια. Έτσι τα επίπεδα της συγκέντρωσής του εμφανίζονται αυξημένα κατά τους μήνες της θερμής περιόδου του έτους.

Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής 4-ετούς περιόδου 2008-2011 υπολογίσθηκαν οι μέγιστες ανά ημέρα ωριαίες τιμές συγκέντρωσης. Από την επεξεργασία τους διαπιστώθηκε ότι, στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου η μέγιστη ωριαία τιμή συγκέντρωσης του ρύπου ήταν 104.6µg/m³. Άρα, συμπεραίνουμε ότι στην υπό μελέτη τετραετία δεν παρουσιάστηκε υπέρβαση της ωριαίας οριακής τιμής (180µg/m³), σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2002/3/ΕΚ.

Ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος

Από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου και στη συνέχεια η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, στη διάρκεια της περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

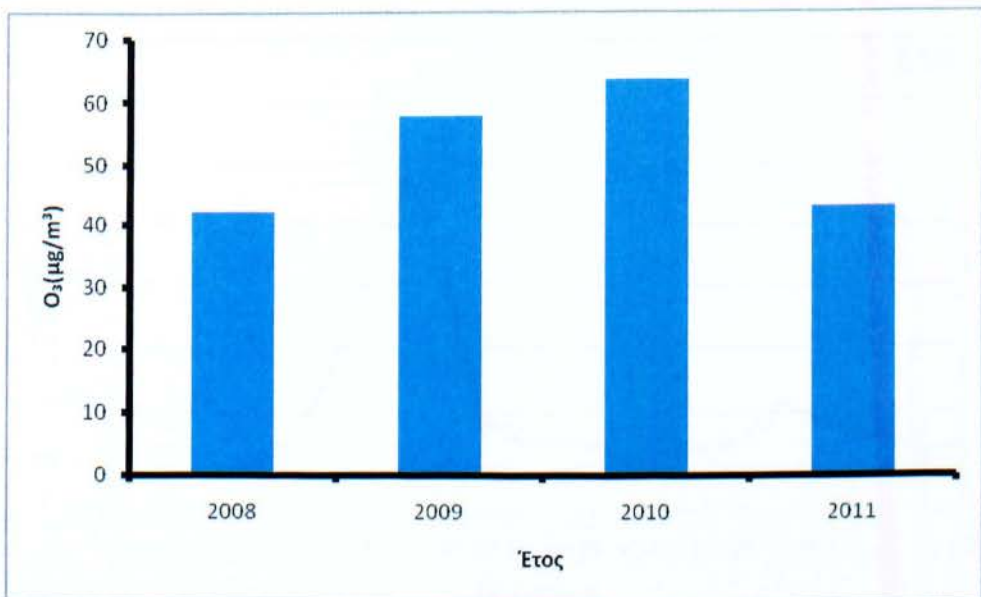


Σχήμα 5. Ενδοετήσια μεταβολή του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Στο Σχήμα 5 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της θερμής περιόδου και ελάχιστο στη διάρκεια της ψυχρής, γεγονός αναμενόμενο με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Ziomas et al. 1989, Paliatsos et al. 2006, 2008, Παραϊοαννου et al. 2010, Proias et al. 2012).

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του επιφανειακού όζοντος

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της υπό μελέτη 4-ετούς χρονικής περιόδου. Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου.



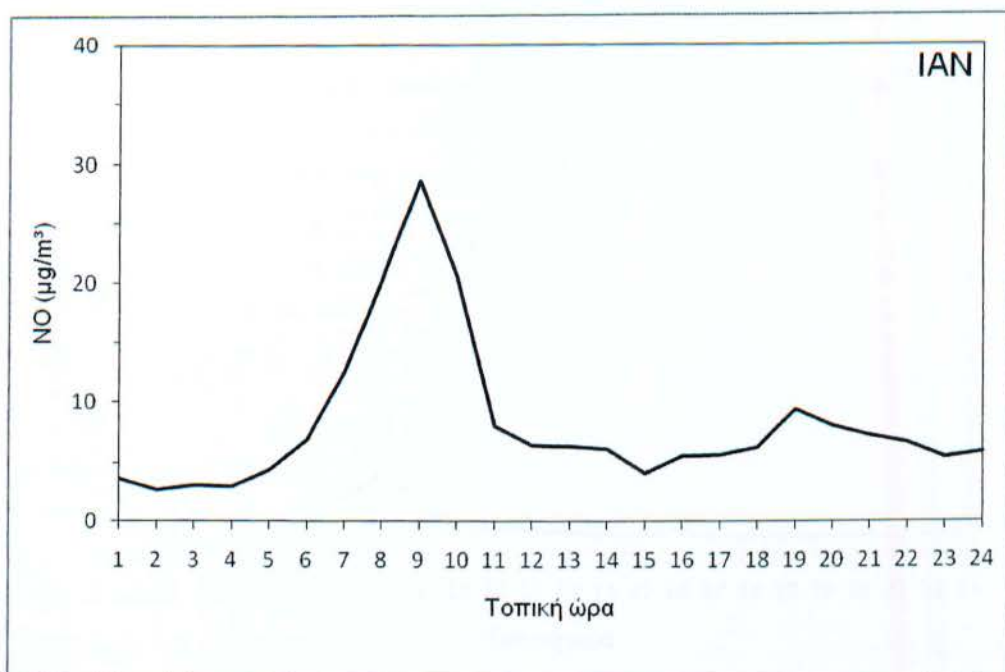
Σχήμα 6. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Από το Σχήμα 6 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος, στη διάρκεια της 4-ετίας 2008-2011 εμφανίζει μικρή, μη στατιστικά σημαντική, ανοδική τάση και μάλιστα ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής του ισούται με $0.79\mu\text{g}/\text{m}^3$. Δηλαδή, στη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, η μέση ετήσια συγκέντρωσή του αυξάνεται κατά $0.79\mu\text{g}/\text{m}^3$ κάθε χρόνο.

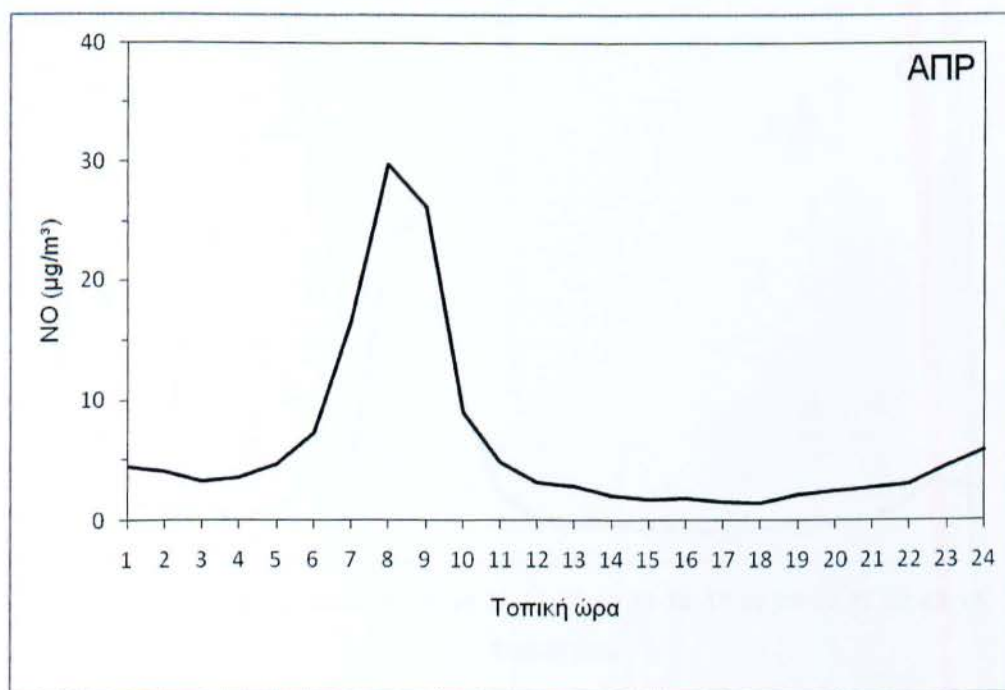
1.3. Μονοξειδίο του αζώτου (NO)

Ενδοημερήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου

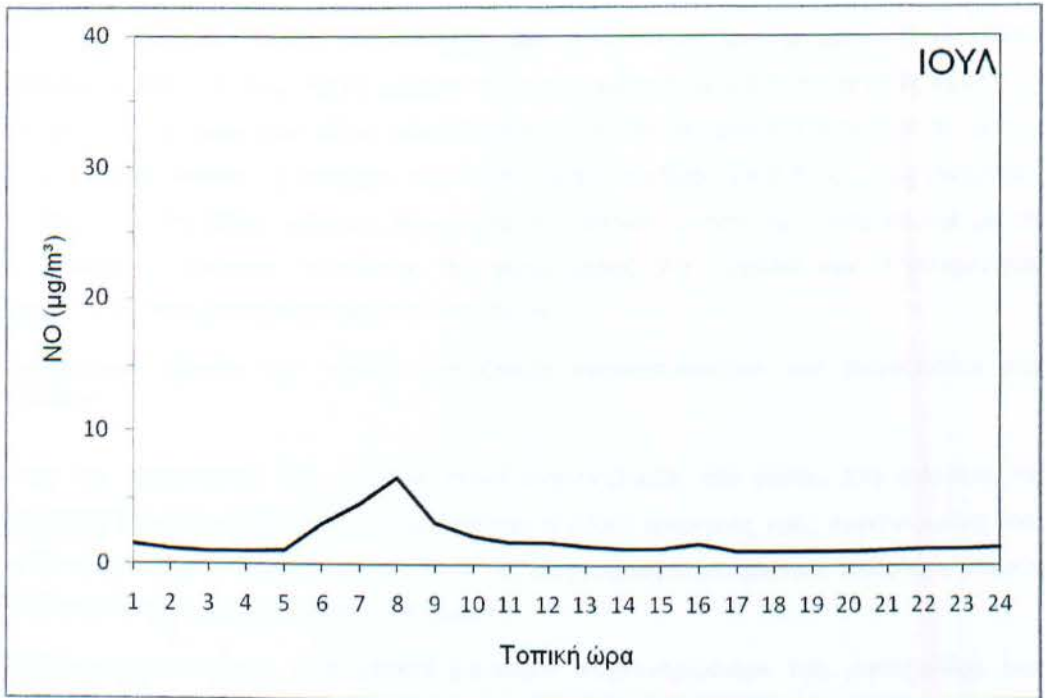
Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2010, έγινε η μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβολής των συγκεντρώσεών του για τους κεντρικούς μήνες κάθε εποχής του έτους, δηλαδή για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 7α-7δ. Στη διάρκεια της υπό μελέτη τριετούς περιόδου, η πληρότητα δεδομένων για τους εξεταζόμενους μήνες ανέρχεται, για τον Ιανουάριο (~50%), τον Απρίλιο (~33%), τον Ιούλιο (~95%) και τον Οκτώβριο (~78%).



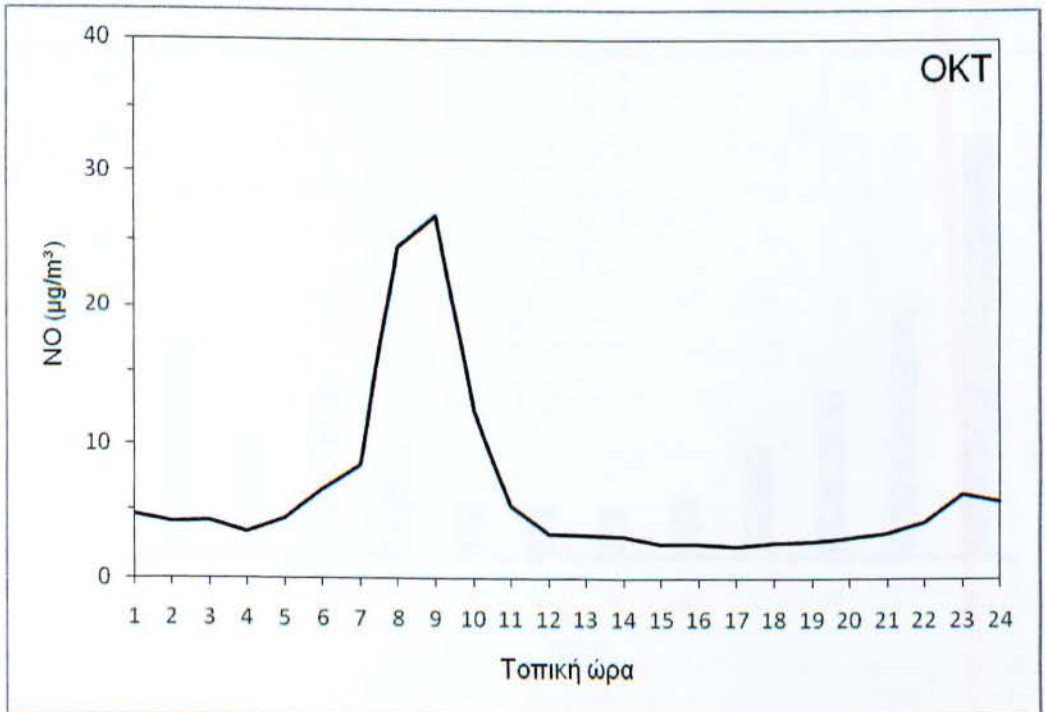
Σχήμα 7α. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του NO στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 7β. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του NO στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 7γ. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του NO στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 7δ. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του NO στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2008-2010.

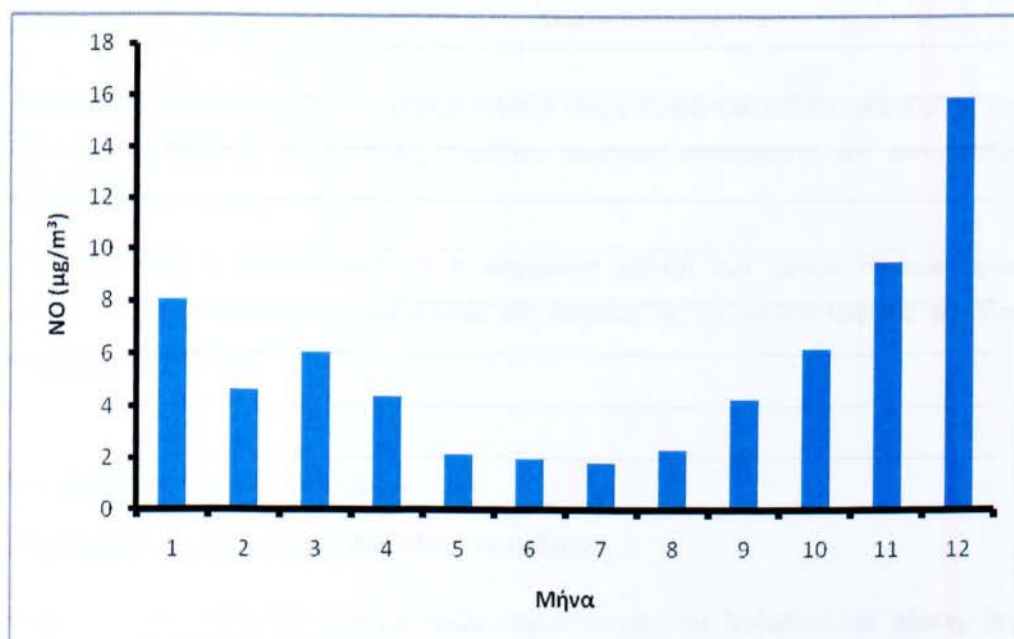
Από τα Σχήματα 7α-7δ διαπιστώνεται ότι η ενδοημερήσια μεταβολή του ρύπου χαρακτηρίζεται από ένα έντονο μέγιστο το οποίο εμφανίζεται κατά τις πρωινές ώρες, για όλους τους εξεταζόμενους μήνες και συμπίπτει με τη δραστηριότητα των πηγών του ρύπου στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, το μέγιστο είναι εντονότερο κατά τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο και Οκτώβριο, γεγονός που εκτός των άλλων μπορεί να σχετίζεται και με τις επικρατούσες συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας στη διάρκεια των συγκεκριμένων μηνών, ενώ είναι λιγότερο έντονο κατά τον Ιούλιο.

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2010 υπολογίσθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσής του. Από την επεξεργασία τους διαπιστώθηκε ότι, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε ήταν ίση με $29.8\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου

Από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου και στη συνέχεια η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, στη διάρκεια της περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

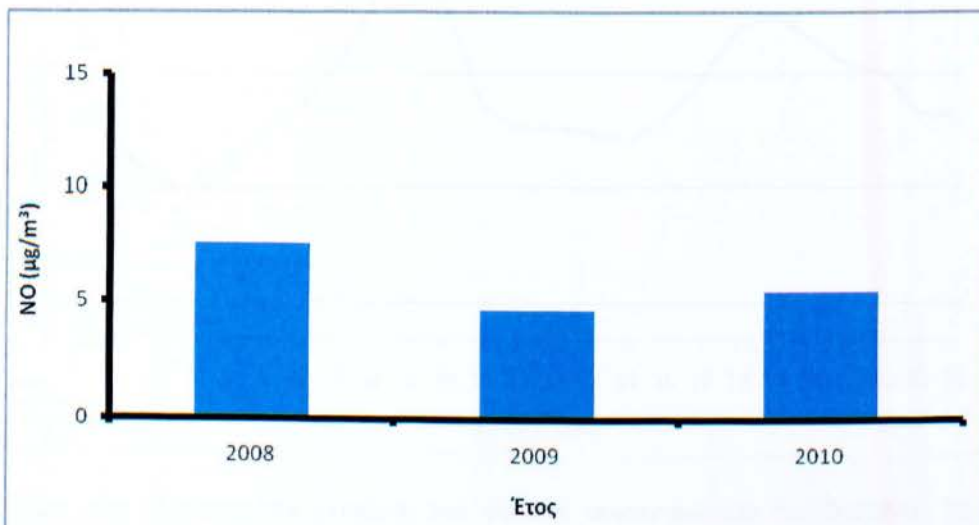


Σχήμα 8. Ενδοετήσια μεταβολή του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Στο Σχήμα 8 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους και ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής, όπως ακριβώς αναμένει κανείς έχοντας υπόψη του τη βιβλιογραφία (Papaioannou et al. 2010).

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του αζώτου

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 9 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου.



Σχήμα 9. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

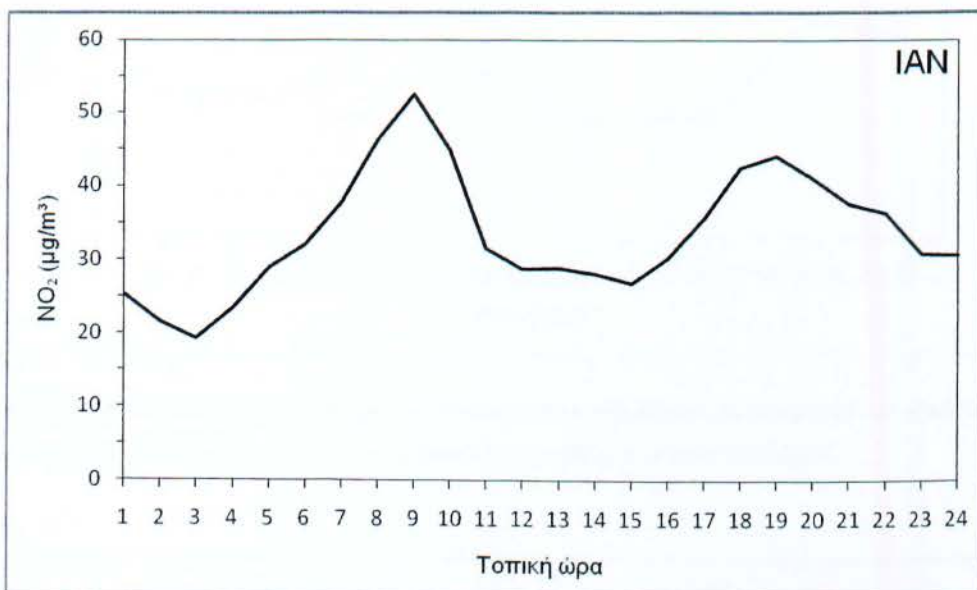
Από το Σχήμα 9 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου, στη διάρκεια της υπό μελέτη τριετούς περιόδου εμφανίζει πτωπική τάση.

1.4. Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

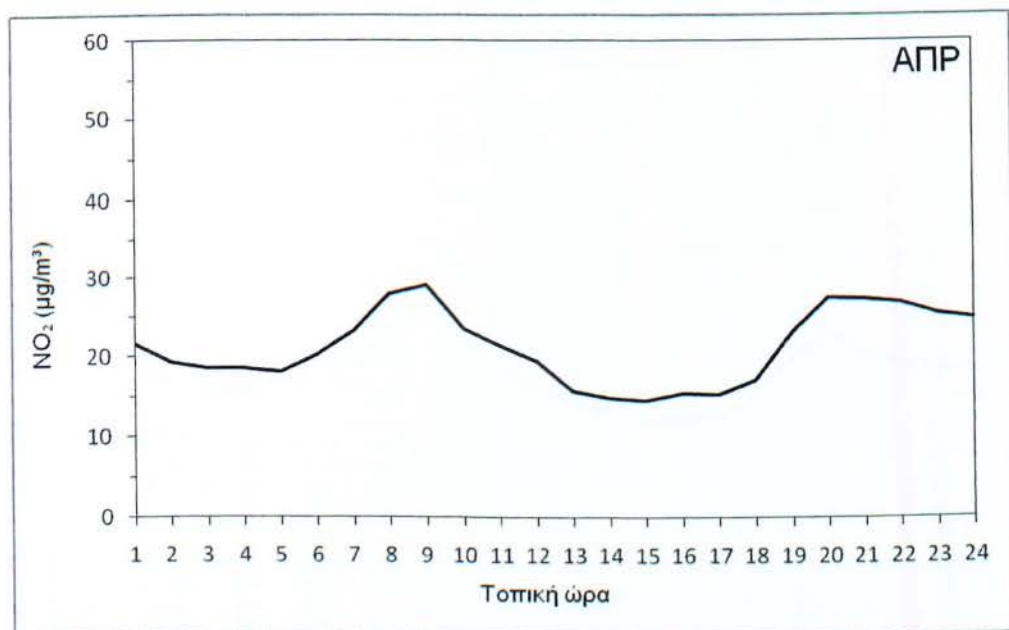
Ενδοημερήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2010, έγινε η μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβολής των συγκεντρώσεων του για τους κεντρικούς μήνες κάθε εποχής του έτους, δηλαδή για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων

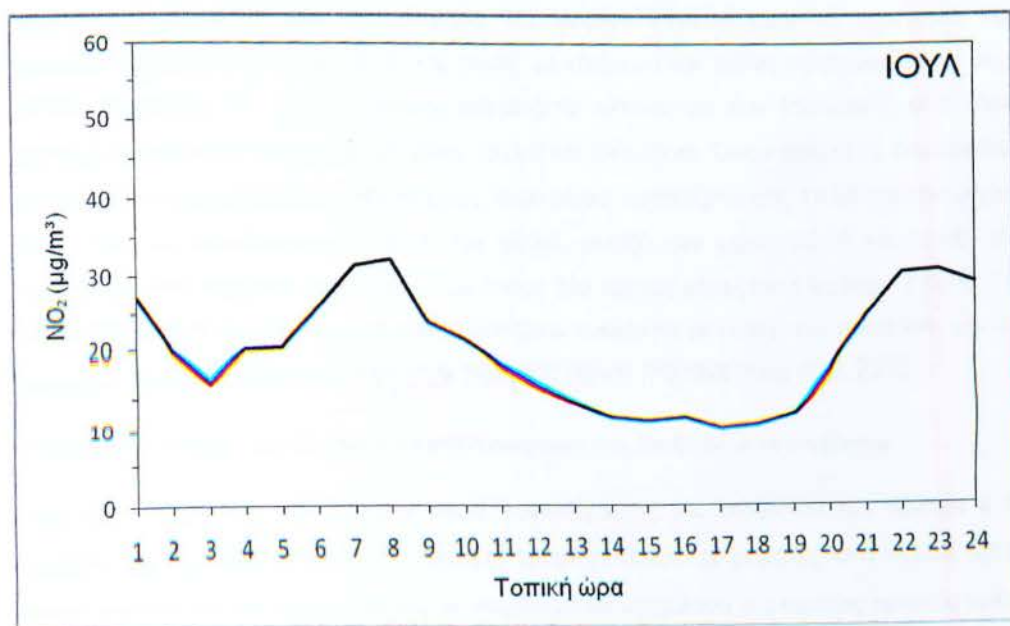
δεδομένων τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 10α-10δ. Στη διάρκεια της υπό μελέτη τριετούς (2008-2010) περιόδου, η πληρότητα δεδομένων για τους εξεταζόμενους μήνες ανέρχεται, για τον Ιανουάριο (44%), τον Απρίλιο (~66%), τον Ιούλιο (~96%) και τον Οκτώβριο (79.5%).



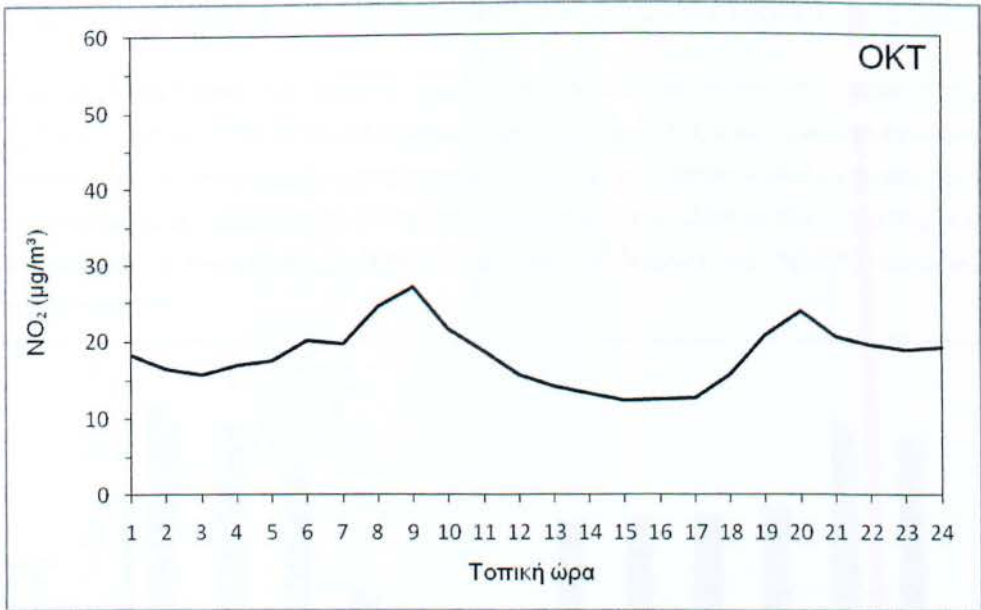
Σχήμα 10α. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιανουάριο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 10β. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Απρίλιο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 10γ. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Ιούλιο της χρονικής περιόδου 2008-2010.



Σχήμα 105. Ενδοημερήσια μεταβολή των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου στο σταθμό «Οινόφυτα», για το μήνα Οκτώβριο της χρονικής περιόδου 2008-2010.

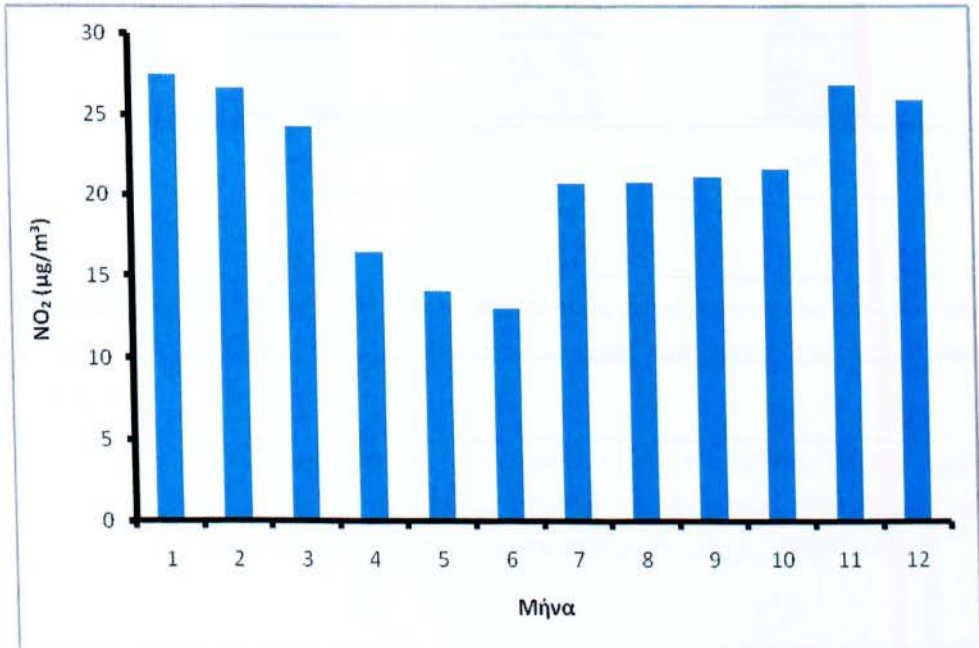
Από τα Σχήματα 10α-10δ διαπιστώνεται ότι η μέση ημερήσια πορεία του διοξειδίου του αζώτου χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα. Το πρωινό μέγιστο είναι το πρωτεύον και εμφανίζεται μεταξύ των ωρών 08:00 και 09:00, με εξαίρεση τον Ιούλιο που εμφανίζεται στις 07:00. Ειδικότερα, το πρωινό μέγιστο εμφανίζεται εντονότερο τον Ιανουάριο, ενώ είναι λιγότερο έντονο κατά τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο. Όσον αφορά το δευτερεύον μέγιστο, αυτό εμφανίζεται τις βραδινές ώρες. Ειδικότερα, εμφανίζεται στις 19:00 τον Ιανουάριο όπου είναι και εντονότερο, στις 22:00 τον Ιούλιο, μεταξύ των ωρών 20:00 και 21:00 τον Απρίλιο και στις 20:00 τον Οκτώβριο όπου στους δύο αυτούς μήνες είναι λιγότερο έντονο. Οι εικονιζόμενες ενδοημερήσιες μεταβολές εμφανίζουν ομοιότητα με αυτές που βρέθηκαν, για τη ψυχρή και θερμή περίοδο του έτους στην πόλη του Βόλου (Papaioannou et al. 2010).

Διαχρονική εξέλιξη των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2010 υπολογίσθηκαν οι μέγιστες ανά ημέρα τιμές συγκέντρωσής του και γίνεται έλεγχος αν παρατηρείται υπέρβαση της ωριαίας οριακής τιμής ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές το χρόνο, όπως θεσμοθετείται από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία 2008/50/ΕΚ. Από την επεξεργασία τους διαπιστώθηκε ότι, στη διάρκεια της εξεταζόμενης τριετίας, δεν σημειώθηκαν υπερβάσεις της θεσμοθετημένης ωριαίας οριακής τιμής ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) και ειδικότερα η μέγιστη ωριαία τιμή εμφανίσθηκε την 02-10-2009 και ήταν ίση με $143\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου

Από την επεξεργασία των ωριαίων τιμών συγκέντρωσης του ρύπου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2010 υπολογίσθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης. Στη συνέχεια από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου και στη συνέχεια η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, στη διάρκεια της περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

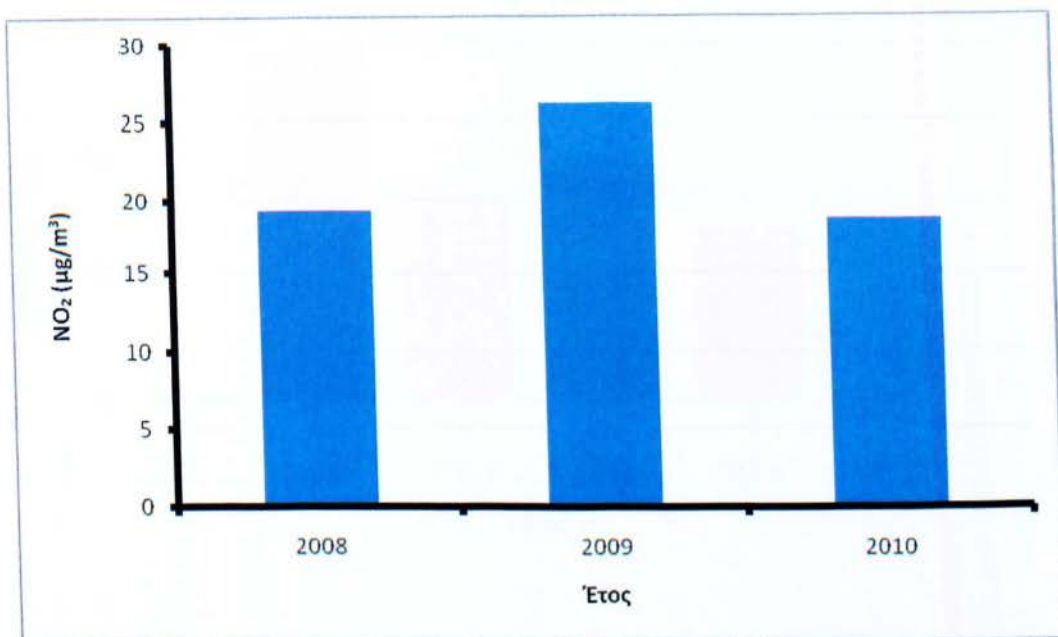


Σχήμα 11. Ενδοετήσια μεταβολή του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Στο Σχήμα 11 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, η οποία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της ψυχρής και ελάχιστο στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Η εικονιζόμενη ενδοετήσια μεταβολή εμφανίζει ομοιότητα με αυτή που βρέθηκε από τους Παραιοαννου et al. (2010) κατά την επεξεργασία των ωριαίων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου, της περιόδου 2001-2004, στην πόλη του Βόλου.

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου.



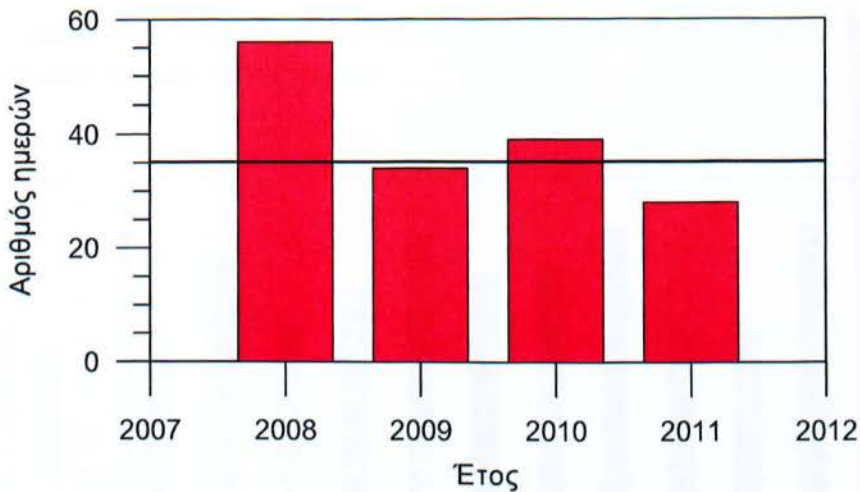
Σχήμα 12. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Από το Σχήμα 12 διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου δεν υπερβαίνει την αντίστοιχη ετήσια οριακή τιμή ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) που είναι θεσμοθετημένη από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (2008/50/ΕΚ).

1.5. Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀)

Διαχρονική εξέλιξη των ημερήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀)

Από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2011, προκειμένου να μελετηθεί η διαχρονική τους εξέλιξη και ειδικότερα να διαπιστωθεί αν υπάρχουν υπερβάσεις της θεσμοθετημένης ημερήσιας οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται για περισσότερες από 35 ημέρες το χρόνο, σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ.



Σχήμα 13. Διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ετήσιων ημερών με υπέρβαση της θεσμοθετημένης ημερήσιας οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα». Η οριζόντια γραμμή απεικονίζει το μέγιστο ετήσιο αριθμό υπερβάσεων (35 ημέρες), σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ.

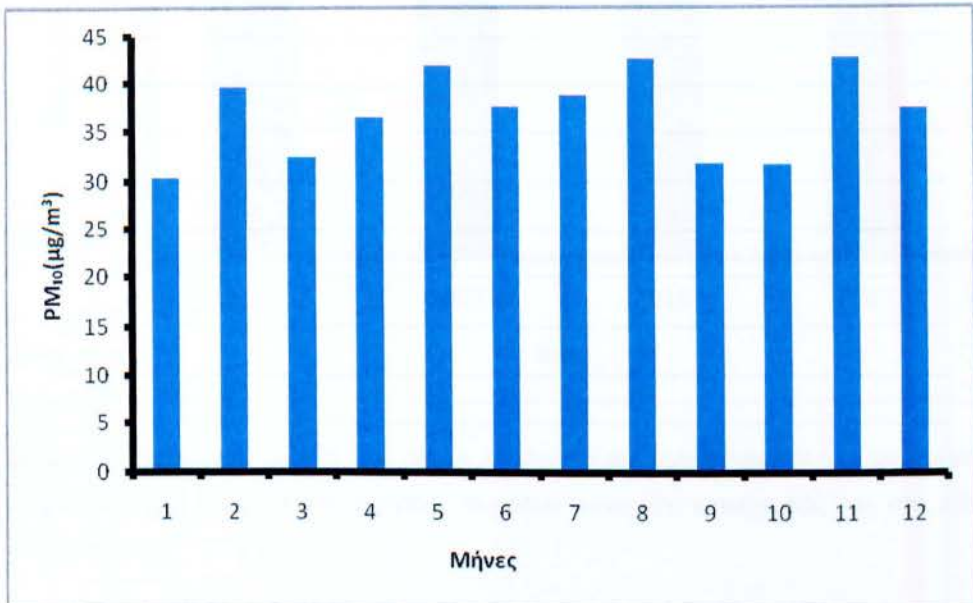
Από το Σχήμα 13 διαπιστώνεται ότι υπερβάσεις της θεσμοθετημένης ημερήσιας οριακής τιμής ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της 4-ετούς χρονικής περιόδου μελέτης του ρύπου στο σταθμό «Οινόφυτα» δείχνουν να εμφανίζουν πτωτική συμπεριφορά. Ειδικότερα, στη διάρκεια των ετών 2009 και 2011 δεν υπήρξε υπέρβαση του ορίου των 35 ημερών (μέγιστος ετήσιος επιτρεπτός αριθμός υπερβάσεων σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ), όπου οι αριθμοί ημερών με υπέρβαση ήταν 34 και 28, αντιστοίχως.

Με βάση την Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης της Διεύθυνσης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου του ΥΠΕΚΑ, για το έτος 2011 διαπιστώνεται ότι στο σταθμό «Οινόφυτα» στη διάρκεια της 4-ετίας 2008-2011 καταγράφηκαν συνολικά 13 ημέρες με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρα. Τα επεισόδια αυτά επέδρασαν στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}).

Ενδοετήσια μεταβολή των μέσων μηνιαίων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων

Από την επεξεργασία των ημερήσιων τιμών υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής

περιόδου και στη συνέχεια μελετήθηκε η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου, στη διάρκεια της περιόδου συνεχούς καταγραφής του.

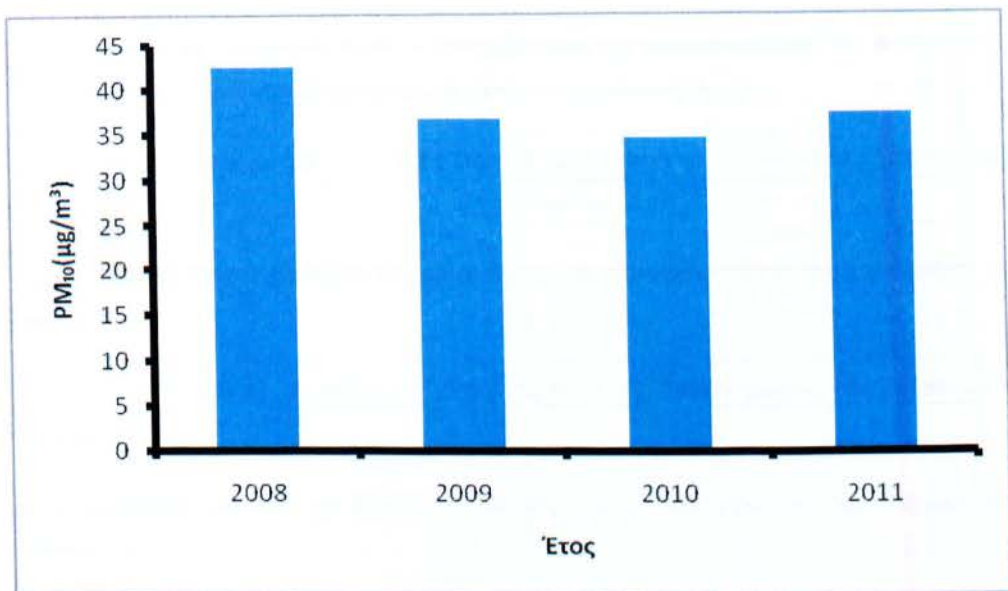


Σχήμα 14. Ενδοετήσια μεταβολή των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Στο Σχήμα 14 εμφανίζεται η ενδοετήσια μεταβολή του ρύπου στη διάρκεια της υπό μελέτη 4-ετούς χρονικής περιόδου 2008-2011. Από το σχήμα αυτό διαπιστώνεται αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τόσο κατά τη θερμή περίοδο του έτους, όσο και στη διάρκεια του φθινοπώρου. Ειδικότερα, τα αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης στη διάρκεια των μεταβατικών εποχών του έτους –άνοιξη και φθινόπωρο- μπορούν να αποδοθούν και σε επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, ως ένα ποσοστό συνεισφοράς στην αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης (Prezerakos et al. 2010, Proias et al. 2010). Επίσης, μπορούν να συνδεθούν και με τις δραστηριότητες της υπό μελέτη περιοχής, ειδικότερα στην περίπτωση του φθινοπώρου που γίνονται για την προετοιμασία της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου (κάψιμο καλαμιάς, άροση κ. ά.).

Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων

Τέλος, από τις μηνιαίες τιμές κάθε έτους υπολογίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Στο Σχήμα 15 απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών του ρύπου.



Σχήμα 15. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στη διάρκεια της χρονικής περιόδου συνεχούς καταγραφής του στο σταθμό «Οινόφυτα».

Από το Σχήμα 15 διαπιστώνεται ότι στο σταθμό «Οινόφυτα» οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) μόνο το έτος 2008, κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη 4-ετίας, υπερέβησαν την αντίστοιχη οριακή τιμή (40µg/m³) που είναι θεσμοθετημένη από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία 1999/30/ΕΚ.

2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΟΙΝΟΦΥΤΩΝ

Η ποιότητα της ατμόσφαιρας καθορίζεται όπως έχουμε αναφερθεί και στο 3^ο κεφάλαιο από τον δείκτη ποιότητας αέρα AQI. Για να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή έγινε υπολογισμός των ημερήσιων τιμών του δείκτη AQI με βάση τις μετρήσεις των διαθέσιμων ρύπων.

Υπενθυμίζεται ο τύπος υπολογισμού των τιμών του δείκτη AQI που είναι ο εξής:

$$AQI = \max (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7)$$

όπου :

I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10µm (PM₁₀),

I₂ είναι ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 2.5μm (PM_{2.5}),

I₃ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 24ωρες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου (SO₂),

I₄ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO),

I₅ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις μέσες 8ωρες τιμές συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος (O₃),

I₆ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του επιφανειακού όζοντος(O₃),

και I₇ ο επιμέρους δείκτης με βάση τις ωριαίες τιμές συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου.

Διευκρινίζεται ότι τα διαθέσιμα δεδομένα της συγκεκριμένης θέσης μελέτης (Οινόφυτα) για τον υπολογισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού της περιβάλλοντος ήταν τα PM₁₀ το O₃ και το SO₂ η δε περίοδος μελέτης είναι η τετραετία 2008-2011. Μετά την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων και τον υπολογισμό των ημερήσιων τιμών του δείκτη AQI στον Πίνακα 6.1 εμφανίζεται η ανά έτος αποτίμηση των ημερήσιων τιμών του δείκτη στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου.

Πίνακας 2.2.1. Ανά έτος αποτίμηση των ημερήσιων τιμών του δείκτη AQI στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου.

AQI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	2008	2009	2010	2011
1-50	Καλή	249	313	342	344
51-100	Μέτρια	40	23	23	21
101-150	Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού	0	1	0	0

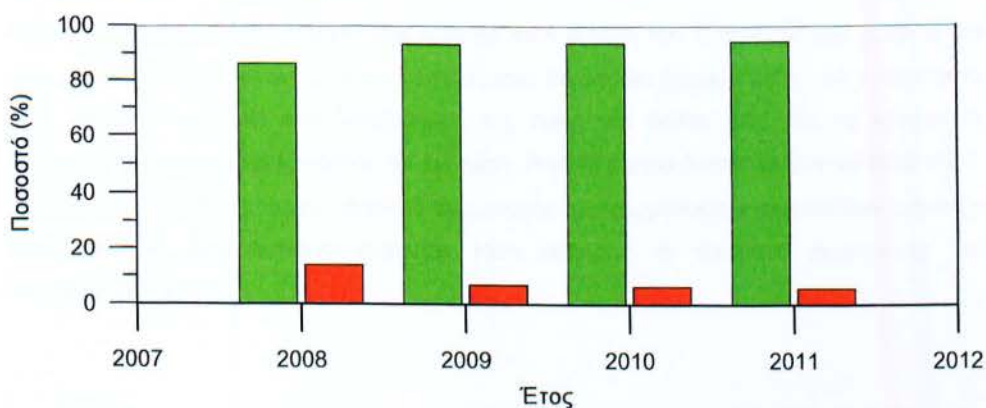
Από τον Πίνακα 2.2.1 προκύπτουν τα εξής πολύ χρήσιμα συμπεράσματα, όσον αφορά την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή, στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου:

Η διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών που χαρακτηρίζονται με ποιότητα ατμόσφαιρας «καλή», εμφανίζει ανοδική τάση με ετήσιο ρυθμό μεταβολής περίπου 31 ημέρες (Σχήμα 2.2.1).

Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών που χαρακτηρίζονται με ποιότητα ατμόσφαιρας «μέτρια», εμφανίζει καθοδική τάση με ετήσιο ρυθμό μεταβολής περίπου 6 ημέρες (Σχήμα 2.2.1).

Τέλος, στη διάρκεια της 4-ετούς περιόδου μελέτης παρατηρήθηκε μόνο μία ημέρα, το έτος 2009, με ποιότητα ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού» (Πίνακας 2.2.1).

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι στη διάρκεια της περιόδου 2008-2011, προοδευτικά παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή των Οиноφύτων.



Σχήμα 2.2.α Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού των ημερών για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» (πράσινο χρώμα) και «μέτρια» (πορτοκαλί χρώμα) κατά την περίοδο 2008-2011 στην περιοχή των Οиноφύτων.

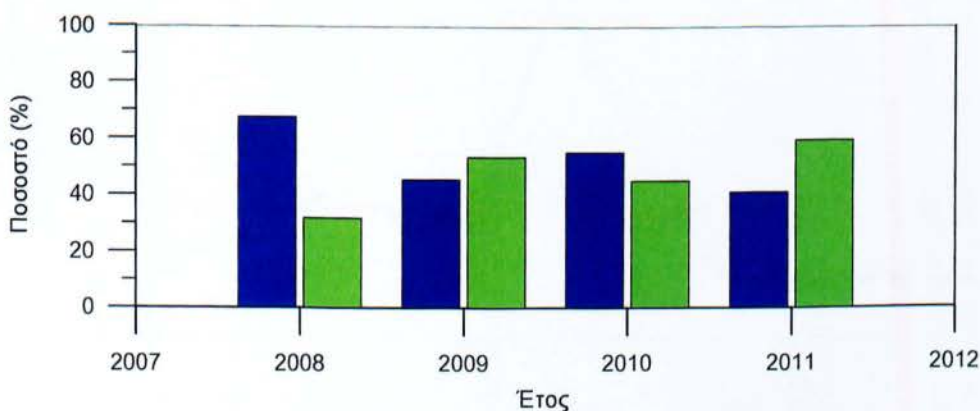
Στον Πίνακα 2.2.2, διακρίνουμε το πλήθος ημερών κάθε έτους μελέτης όπου εμφανίζεται τόσο ο υπεύθυνος ρύπος που κάθε φορά διαμορφώνει την τιμή του δείκτη AQI, όσο και η κατηγορία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της υπό μελέτη περιοχής.

Επίσης, από τον Πίνακα 2.2.2 διαπιστώνεται ότι η μοναδική ημέρα, του έτος 2009, που η ποιότητα της ατμόσφαιρας υποβιβάσθηκε στην κατηγορία «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού» οφείλεται στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , αξίζει να διερευνηθεί αν η συγκεκριμένη ημέρα χαρακτηρίζεται σαν ημέρα με επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα.

Πίνακας 2.2.2 Διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών για κάθε εμπλεκόμενο ρύπο στη διαμόρφωση της τιμής του δείκτη AQI, για κάθε εμφανιζόμενη κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας κατά την περίοδο 2008-2011 ((*): Δεν λειτουργήσε ο αναλυτής καταγραφής SO₂ στη διάρκεια του έτους 2011).

AQI	2008			2009			2010			2011		
	PM ₁₀	SO ₂	O ₂	PM ₁₀	SO ₂	O ₂	PM ₁₀	SO ₂	O ₂	PM ₁₀	SO ₂ *	O ₂
1-50	155	2	92	129	4	180	178	0	164	128	#	216
51-100	40	0	0	23	0	0	23	0	0	21	#	0
101-150	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	#	0

Τέλος, στο Σχήμα 2.2.β απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού των ημερών για τους κυρίως εμπλεκόμενους ρύπους (αιωρούμενα σωματίδια (χρώμα μπλε) και επιφανειακό όζον (χρώμα πράσινο)) στη διαμόρφωση της τιμής του δείκτη AQI, για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» και «μέτρια». Από το σχήμα διαπιστώνεται ότι κατά την 4-ετή περίοδο 2008-2011 το μεν ποσοστό συμμετοχής των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζει τάση μείωσης, ενώ αντίθετα εμφανίζει τάση αύξησης το ποσοστό συμμετοχής του επιφανειακού όζοντος.

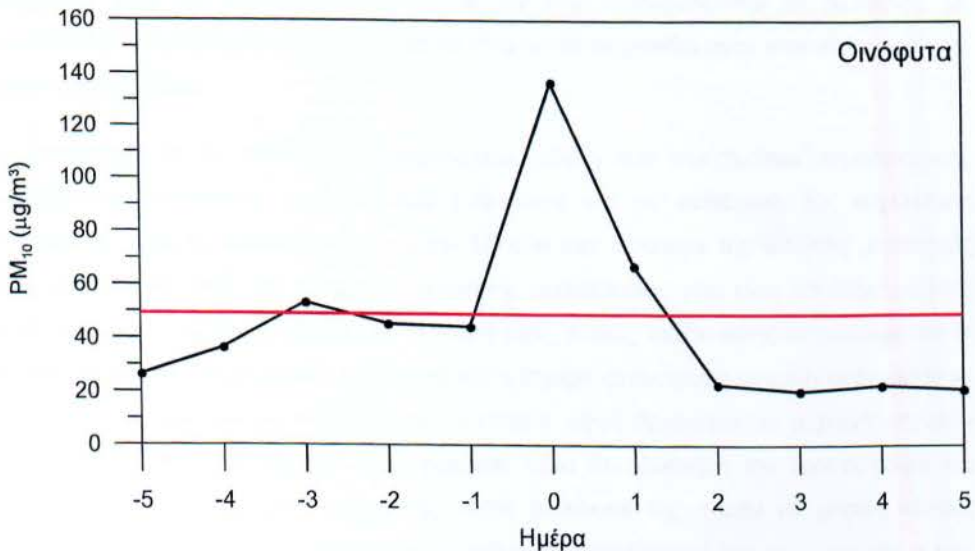


Σχήμα 2.2.β Διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού των ημερών για κάθε εμπλεκόμενο ρύπο στη διαμόρφωση της τιμής του δείκτη AQI, για κάθε εμφανιζόμενη κατηγορία ποιότητας της ατμόσφαιρας κατά την 4-ετή περίοδο 2008-2011. Αιωρούμενα σωματίδια (χρώμα μπλε) και επιφανειακό όζον (χρώμα πράσινο).

3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΟΔΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ PM₁₀

Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας αναλύθηκαν περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στη διάρκεια της περιόδου 2008-2009. Ειδικότερα, μελετάται η επίδρασή τους στη διαμόρφωση των επιπέδων συγκέντρωσης των PM₁₀ στο σταθμό των Οινόφυτων. Οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀ στον υπό μελέτη σταθμό, κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2009, λήφθηκαν υπόψη σύμφωνα με τις απαιτήσεις της «μεθόδου των υπερπιθεμένων εποχών» (Panofsky and Brier 1968).

Στο Σχήμα 3.1 η ημέρα «μηδέν» (D₀) αντιπροσωπεύει τη μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM₁₀ κατά τις ημέρες εκείνες που καταγράφηκαν περιπτώσεις «εισβολής» σκόνης από τη Σαχάρα στον ελλαδικό χώρο. Στα ίδια σχήματα απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀ κατά τη διάρκεια πέντε ημερών πριν και πέντε ημερών μετά τις ημέρες «μηδέν», κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.



Σχήμα 3.1. Μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των PM₁₀ στο σταθμό «Οινόφυτα» πέντε ημέρες πριν και πέντε ημέρες μετά από επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, κατά την περίοδο 2008-2009.

Από το Σχήμα 3.1 διαπιστώνεται ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την περιοχή της Σαχάρας, οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων

PM₁₀ στο σταθμό «Οινόφυτα», κυμάνθηκαν τις ημέρες D₀, D₁ 274% και 135%, αντίστοιχα, πάνω από την ημερήσια οριακή συγκέντρωση των 50μg/m³ που έχει καθοριστεί από την αντίστοιχη Ευρωπαϊκή οδηγία (1999/30/EK).

3.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΠΙΣΟΔΙΩΝ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΤΗΣ ΣΑΧΑΡΑΣ

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

Οι Prezerakos et al. (2002) πραγματοποίησαν μελέτη των συστημάτων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας συνοπτικής κλίμακας που ευθύνονται για το 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 αποκάλυψε ότι οι ισχυροί άνεμοι που συνόδευσαν την ύφεση και η ισχυρή κατακόρυφη ανάμιξη ανάγκασαν τη σκόνη να αιωρείται και να κινείται προς τα επάνω, αφού βρισκόταν σε περιοχή ισχυρών ανοδικών κινήσεων. Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα σε 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 στην πορεία των τροχιών του νέφους της άμμου έξω από τη ΒΔ Σαχάρα προς την Ελλάδα, ήταν κατάλληλη με αποτέλεσμα τη δημιουργία πεδίου ισχυρών κατολισθήσεων που μαζί με τη δύναμη της βαρύτητας ανάγκασαν την άμμο ή/και τη σκόνη να έχουν καθοδική συνιστώσα κατακόρυφης κίνησης και έτσι επικάθισε επάνω στις επιφάνειες των αντικειμένων και του εδάφους στη βόρεια Ελλάδα.

Η ευαισθητοποίηση της επιστημονικής κοινότητας στα επίπεδα διακύμανσης και εξέλιξης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγάλη, λόγω και των επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία (Nastos et al. 2008, 2010). Υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός σχετικών μελετών που αναφέρονται στα επίπεδα συγκεντρώσεων των PM_{10} σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας στη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα. Ενδεικτικά συνοψίζουμε τα παρακάτω:

Οι Λαρίσση κ. ά. (2009) μελετώντας τις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM_{10} για σταθμούς τόσο του δικτύου που καλύπτει την ΕΠΑ, σε περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, στη διάρκεια της περιόδου 2005-2007, εφαρμόζοντας τη μέθοδο υπερτιθεμένων εποχών διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια, η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} σε περιαστικό σταθμό της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας «Λυκόβρυση» αυξήθηκε κατά 3.3 φορές περίπου, σε σχέση με τις ημερήσιες συγκεντρώσεις τόσο των προηγούμενων, όσο και των επόμενων πέντε ημερών.

Οι Proias et al. (2009) μελετώντας τις χρονοσειρές των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων PM_{10} σε σταθμό του κέντρου της πόλης του Βόλου, σε περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, στη διάρκεια της περιόδου 2005-2007, εφαρμόζοντας τη μέθοδο υπερτιθέμενων εποχών διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με επεισόδια, η μέση ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} στο συγκεκριμένο σταθμό αυξήθηκε κατά 2-4 φορές περίπου, σε σχέση με τις ημερήσιες συγκεντρώσεις τόσο των προηγούμενων, όσο και των επόμενων πέντε ημερών.

Οι Nastos et al. (2012) μελετώντας τις μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των PM_{10} σε δύο θέσεις που βρίσκονταν στην ΕΠΑ, σε περιπτώσεις επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα κατά τη διάρκεια του Φεβρουαρίου του έτους 2009, κατέγραψαν 28 υπερβάσεις της μέσης ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης των PM_{10} . Οι μέγιστες καταγραφείσες μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης ήταν $109.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $152.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, δηλαδή 2.2 και 3.1 φορές πάνω από τη μέγιστη επιτρεπτή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιαστική περιοχή των Οινόφυτων αποτελεί βιομηχανική ζώνη στην οποία δραστηριοποιούνται δεκάδες εργοστασιακές μονάδες. Μη πληρώντας, σε πολλές περιπτώσεις, τις κατάλληλες προϋποθέσεις λειτουργίας, επιβαρύνουν το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής, αυξάνοντας κυρίως τα επίπεδα του SO₂, NO_x και των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως διαπιστώθηκε και από την επεξεργασία των διαθέσιμων τιμών συγκέντρωσης του SO₂, του O₃, του NO, του NO₂ και των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀, που καταγράφηκαν στο σταθμό των Οινόφυτων κατά τη διάρκεια της τετραετίας 2008-2011.

Από την ανάλυση αυτή, τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Για το SO₂, κατά την περίοδο συνεχούς καταγραφής του, 2008-2009, παρατηρείται αύξηση των επιπέδων της συγκέντρωσης του ρύπου κατά 40.3%.

Για το επιφανειακό όζον, η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσής του, στη διάρκεια της 4-ετίας 2008-2011 εμφανίζει μικρή, μη στατιστικά σημαντική, ανοδική τάση και μάλιστα ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής (αύξησής) του ισούται με 0.79μg/m³.

Για το NO, για την τριετία 2008-2010, διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσής του εμφανίζει πτωτική τάση.

Για το NO₂, την ίδια χρονική περίοδο (2008-2010), διαπιστώνεται ότι η διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου δεν υπερβαίνει την αντίστοιχη ετήσια οριακή τιμή (40μg/m³) που είναι θεσμοθετημένη από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία 2008/50/EK.

Τέλος, για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, κατά τη διάρκεια της τετραετίας 2008-2011, διαπιστώνεται ότι στο σταθμό «Οινόφυτα» οι μέσες ετήσιες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀) μόνο το έτος 2008 υπερέβησαν την αντίστοιχη οριακή τιμή (40μg/m³) που είναι θεσμοθετημένη από την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία 1999/30/EK..

Αξιολογώντας την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην υπό μελέτη περιοχή με τη βοήθεια του περιβαλλοντικού δείκτη AQI, στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, 2008-2011, διαπιστώθηκαν τα εξής:

Η διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών που χαρακτηρίζονται με ποιότητα ατμόσφαιρας «καλή», εμφανίζει ανοδική τάση με ετήσιο ρυθμό μεταβολής περίπου 31 ημέρες.

Όσον αφορά τη διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών που χαρακτηρίζονται με ποιότητα ατμόσφαιρας «μέτρια», εμφανίζει καθοδική τάση με ετήσιο ρυθμό μεταβολής περίπου 6 ημέρες.

Τέλος, στη διάρκεια της 4-ετούς περιόδου μελέτης παρατηρήθηκε μόνο μία ημέρα, το έτος 2009, με ποιότητα ατμόσφαιρας «ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού».

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο γενικό συμπέρασμα ότι στη διάρκεια της περιόδου 2008-2011, προοδευτικά παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην περιοχή των Οινόφυτων.

Επιπλέον, έγινε προσπάθεια διερεύνησης της συμμετοχής των ρύπων που λήφθηκαν υπόψη για τον υπολογισμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην υπό μελέτη περιοχή. Διαπιστώθηκε ότι η διαχρονική εξέλιξη του ποσοστού των ημερών για τους κυρίως εμπλεκόμενους ρύπους (αιωρούμενα σωματίδια και επιφανειακό όζον στη διαμόρφωση της ημερήσιας τιμής του δείκτη AQI, για τις κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας «καλή» και «μέτρια», το μεν ποσοστό συμμετοχής των αιωρούμενων σωματιδίων εμφανίζει τάση μείωσης, ενώ αντίθετα εμφανίζει τάση αύξησης το ποσοστό συμμετοχής του επιφανειακού όζοντος. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το ποσοστό συμμετοχής του διοξειδίου του θείου είναι μη αξιολογήσιμο, λόγω της πολύ μικρής συνεισφοράς του στη διαμόρφωση των τιμών του χρησιμοποιούμενου δείκτη.

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην διαμόρφωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) τη χρονική περίοδο 2008-2009. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο ρύπο, στον σταθμό των Οινόφυτων, τις ημέρες που καταγράφηκαν περιπτώσεις «εισβολής» σκόνης από τη Σαχάρα στον ελλαδικό χώρο, παρατηρήθηκε μεγάλη υπέρβαση του ορίου της ημερήσιας οριακής συγκέντρωσης των $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ που έχει καθοριστεί από την αντίστοιχη Ευρωπαϊκή οδηγία (1999/30/EK). Παρόμοια άνοδος της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων εντοπίζονται επίσης σε μελέτες που έχουν γίνει κατά το διάστημα 2005-2007, αλλά και τον μήνα Φεβρουάριο το 2009, δίνοντας έτσι στο φαινόμενο αυτό «διαχρονικό χαρακτήρα».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βασιλικιώτης, Γ. (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Ζάνης Π., (2008). Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καραθανάσης Σ.Σ. (2007). Ατμοσφαιρική Ρύπανση (Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές & Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Λαρίσση, Ι.Κ., Αντωνίου, Γ.Α., Αντωνίου, Α., Μουστρής, Κ.Π., Παλιατσός, Α.Γ. (2009). Διαχρονική εξέλιξη των επιπέδων συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Πρακτικά 21ου Εθνικού Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών (ΕΕΕΕ), Αθήνα, 28-29 Μαΐου 2009, том. Β, 973-987 (ISBN: 978-960-87277-4-8).
- Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαριδου, Μ., Σουλακέλλης, Ν. (2000). Ατμοσφαιρική Ρύπανση, ΥΠΕΠΘ – Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΕΠΕΑΕΚ Ι, Αθήνα.
- Παλιατσός, Α.Γ. (2009). Σημειώσεις Τεχνολογία Περιβάλλοντος, Εισαγωγή σε θέματα Περιβάλλοντος. Αθήνα.
- ΥΠΕΚΑ (2011). Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2010. Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση ΕΑΡΘ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- American Environmental Protection Agency (EPA) (1999). Guideline for reporting the daily air quality-air quality index (AQI). EPA-454/R-99-010. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC 2771.
- Brauer, M. and Brook, J.R. (1997). Ozone personal exposures and health effects for selected groups residing in the Fraser Valley. Atmospheric Environment, 31, 14, 2113-2121.
- Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B. and Stern, A.C. (1994). Fundamentals of air pollution. Academic Press, pp. 574.

- Canter, W.L. (1997). *Nitrates in Groundwater*, CRC Press Inc., Lewis Publishers.
- Chevone, B.I. and Linzon, S.N. (1988). Tree decline in North America. *Environmental Pollution*, 50, 87-99.
- EEA (2009). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009 - Technical guidance to prepare national emission inventories*. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (ISBN 978-92-9213-034-3).
- EU (1999). Council Directive 99/30/EC of April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, OJ L 163 of 29/06/1999, p. 41-60.
- EU (2000). Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air, OJ L 313 of 13/12/2000, p. 0012-0021.
- EU (2002). Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, OJ L 067, 09/03/2002, p. 0014-0030.
- EU (2008). Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe OJ L 152, 11/06/2008, p. 1-44.
- Franceschini, F., Galetto, M. and Maisano, D. (2005). A short survey on air quality indicators: properties, use, and (mis)use. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 16, 5, 490-504.
- Fuhrer, J., Skarby, L. and Ashmore, M.R. (1997). Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution*, 97, 91-106.
- Fumagalli, I., Gimeno, B.S., Velissariou, D., Temmerman, L.D. and Mills, G. (2001). Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35, 2583-2587.
- Glantz, S.A. (1993). Heart disease and the environment. *Journal of the American College of Cardiology*, 21, 1473-1474.
- Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Spizer, F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal of Medicine*, 329, 1735-1759.

- 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.
- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Moustiris, K., Tselepidaki, I., Asimakopoulos, D., Pouloupoulou, G., Trichopoulos, D. (1993). Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health*, 48, 235–242.
- Krupa, S.V. and Manning, W.J. (1988). Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50, 101-137.
- Lefohn, 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 of concern. *Atmospheric Environment*, 31, 11, 1695-1708.
- Lippmann, M. (1991). Health effects of tropospheric ozone. *Environmental Science and Technology*, 25, 1954-1962.
- Nastos P.T., Paliatsos A.G., 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., 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* (doi: 10.1177/1420326X12451033).
- Ott, W.R. and Hunt, W.F. (1976). A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 1050-1054.
- Ott, W.R. and Thom, G.C. (1976). A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 460-470.
- 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.
- Panofsky, H.A. and Brier, G.W. (1968). *Some Applications of Statistics to Meteorology*, Pennsylvania: University Park, pp. 159-161
- Prezerakos N.G., Paliatsos A.G., Anastasatos D.G., 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 in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 786-795.
- Proias G.T., Nastos P.T., Larissi I.K., 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 (doi:10.1063/1.3322316).
- Proias, G.T., Larissi, I.K., Paliatsos, A.G. (2012). Effect of surface ozone exposure on vegetation in the greater area of Volos, Greece. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 13, 2A, 827-836.
- Pye, J.M. (1988). Impact of ozone on the growth and yield of trees: a review. *Journal of Environmental Quality*, 17, 347-360.
- Reid, S.J. (2000). *Ozone and Climate Change – A Beginner's Guide*. Gordon and Breach Science Publishers, The Netherlands.
- Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*, 345, 176-178.
- Samet, J. and Krewski, D. (2007). Health effects associated with exposure to ambient air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 70, 227-242.
- Schenone, G., Lorenzini, G. (1992). Effects of regional air pollution on crops in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38, 51-59.
- Thom, G.C. and Ott, W.R. (1976). A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment*, 10, 261-264.
- Tunstall, D.B. (1979). Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality. *Social Indicators Research*, 6, 301-347.

Velissariou, D., Davidson, A.W., Barnes, J.D., Pfirmann, T., MacLean, D.C. and Holevas, C.D. (1992). Effects of air pollution on Pinus halepensis Mill. 1. Pollution levels in Attica, Greece. Atmospheric Environment, 26, 373-380.

Washington, H.G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. Water Research, 18, 6, 653-694.

Ιστοσελίδες

<http://tinella.gr/p/aithalomixli-thessaloniki-athina/>

<http://www.env-edu.gr>

<http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/atmosphere.html>

<http://fainareti.wordpress.com/2011/02/05/>

<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=23106&subid=2&pubid=53442951>

<http://www.protothema.gr/environment/article/?aid=89110>

<http://www.ecoerth.com>

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

http://www.geo.auth.gr/765/3_products/38_clima.htm

http://nrdisaster.blogspot.com/2009/03/blog-post_7675.html

<http://planetearth.pblogs.gr/>

http://meteoparea.blogspot.gr/2011_09_01_archive.html

<http://www.air-quality.gr/co.php>

<http://cenvironment.blogspot.gr/2009/11/epa-proposing-stronger-sulfur-dioxide.htm>

http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher6_6.html

http://el.wikipedia.org/wiki/Όξινη_Βροχή

<https://gymmes.wikispaces.com/>

[el.wikipedia.org/wiki/Όξειδια_του_αζώτου_\(NOx\)](http://el.wikipedia.org/wiki/Όξειδια_του_αζώτου_(NOx))

www.ergoerevnitiki.gr/NO2.htm

www.air-quality.gr/o3.php

<http://static.panoramio.com/photos/original/7788389.jpg>

<http://www.greeksapes.gr/~landscapesatlas/index.php/2010-01-21-16-47-29/landscapescat/41/230-oinofita.html>

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ