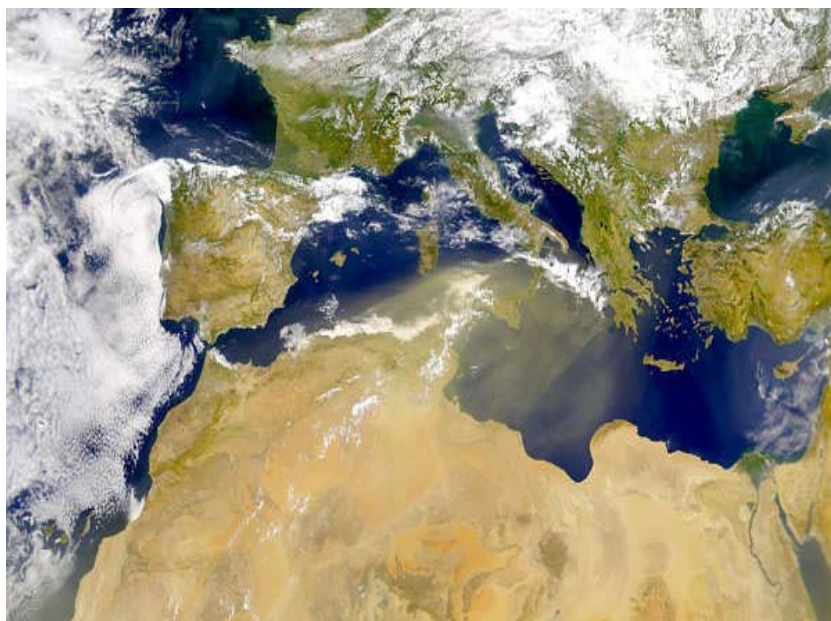




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ »**



ΣΩΦΡΟΝΙΟΣ ΔΗΜ. ΣΩΦΡΟΝΙΑΔΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ (επιβλέπων)
ΜΑΤΖΑΒΙΝΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ
ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Χανιά, Νοέμβριος 2007

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μιχάλη Λαζαρίδη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας καθώς και για την άριστη συνεργασία μας. Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές κ. Διονύσιο Ματζαβίνο και κ. Γεώργιο Καρατζά για την αποδοχή τους να αποτελέσουν την εξεταστική μου επιτροπή και για τις χρήσιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ τη Βικτωρία Αλεξανδροπούλου για την στήριξη της και την αμέριστη βοήθεια της όπου αυτή χρειαζόταν. Επίσης την L. Dzumbona και τον J. Ondracek για την βοήθεια τους κατά την διαδικασία των μετρήσεων στον μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης αλλά και για τις χρήσιμες υποδείξεις τους κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων που απαιτήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω ακόμη τους Θεόδωρο Γλυτσό και Ηλία Κοπανάκη για τη διάθεση των δεδομένων που αφορούν το σταθμό του Ακρωτηρίου τα προηγούμενα έτη.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους γονείς μου Δημήτριο και Μαγδαληνή και στις αδερφές μου Πηνελόπη και Ελένη.

Χανιά, Σεπτέμβριος 2007

Εικόνα Εξώφυλλου: Μία περίπτωση επεισοδίου σκόνης στις 18/07/2000 (από το site “Visible Earth” της NASA).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση και στατιστική ανάλυση των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στο σταθμό Ακρωτηρίου που ανήκει στο εργαστήριο ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η μελέτη εστιάζει στην περιοχή, διότι αυτή παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον και είναι μία περιοχή για την οποία δεν έχουν διεξαχθεί συνεχείς μελέτες του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

Στα δεδομένα αυτά περιλαμβάνονται μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος που λαμβάνονται το χρονικό διάστημα από τον Σεπτέμβριο του 2005 έως τον Σεπτέμβριο του 2006 και αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2,5}$) από τον Ιανουάριο του 2005 έως τον Μάρτιο του 2006. Οι μετρήσεις $PM_{2,5}$ διακόπηκαν στις 3/4/2006 για την λήψη δεδομένων συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 10 μm (PM_{10}). Οι μετρήσεις για τα σωματίδια PM_{10} διήρκεσαν από τις 3/4/2006 έως τις 15/9/2006. Παράλληλα όλη την περίοδο καταγράφονταν οι μετεωρολογικές παράμετροι της περιοχής (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των μετρήσεων, η στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Θα παρουσιασθούν κάποιες χρονοσειρές των υπό εξέταση παραμέτρων, ώστε να γίνει αντιληπτή η διακύμανσή τους μέσα στο έτος. Η ανάλυση αυτή θα εστιαστεί κυρίως στην εξήγηση των χρονοσειρών, στη συσχέτιση των μετεωρολογικών δεδομένων μεταξύ τους και των συγκεντρώσεων των ρύπων με τα μετεωρολογικά δεδομένα. Επιπλέον θα ερμηνευτούν τα επεισόδια ρύπανσης και τα επίπεδα συγκέντρωσης του όζοντος με βάση την προέλευση των αερίων μαζών (backward trajectory analysis). Επίσης, θα μελετηθεί η διακύμανση των συγκεντρώσεων του όζοντος κατά την διάρκεια της ημέρας και θα επιχειρηθεί στατιστική συσχέτιση των δεδομένων. Θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων από σταθμικές μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων που πραγματοποιήθηκαν το χρονικό διάστημα από 21/11/2006 έως τις 28/11/2006 καθώς και των διαγραμμάτων κατανομής μάζας των σωματιδίων για τις μετρήσεις αυτής της περιόδου. Τέλος, θα παρουσιαστεί η σύγκριση των επιπέδων όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του Ακρωτηρίου με τα επίπεδα ρύπανσης σε άλλες περιοχές της Ευρώπης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2. ΤΟ ΟΖΟΝ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ.....	10
2.1 Ο ρόλος του όζοντος στην ατμόσφαιρα.....	10
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος.....	12
2.3 Η παραγωγή του όζοντος στην τροπόσφαιρα.....	12
3. ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ.....	16
3.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση.....	16
3.2 Μορφές αιωρούμενων σωματιδίων.....	17
3.3 Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία και το περιβάλλον.....	19
3.4 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων (Size distribution).....	20
3.5 Πηγές εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και μηχανισμοί απομάκρυνσης.....	22
4. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	22
5. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ (BACKWARD TRAJECTORY ANALYSIS).....	24
6. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	26
6.1 Όργανα μέτρησης μετεωρολογικών δεδομένων.....	26
6.1.1 Θερμοκρασία – Υγρασία.....	26
6.1.2 Διεύθυνση Ανέμου.....	27
6.1.3 Ταχύτητα ανέμου.....	27
6.2 Όργανα μέτρησης της συγκέντρωσης όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων.....	28
6.2.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης όζοντος.....	28
6.2.2 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων.....	29

6.2.3 Όργανο διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων οκτώ σταδίων (Andersen impactor).....	32
6.2.4 Όργανο σταθμικού προσδιορισμού συγκέντρωσης σωματιδίων PM ₁₀ (Sequential Sampler).....	33
6.2.5 Ζυγός ακριβείας (Sartorius CP 225D).....	34

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	35
7.1 Θερμοκρασία.....	35
7.2 Υγρασία.....	38
7.3 Ταχύτητα του ανέμου.....	41
7.4 Διεύθυνση του ανέμου.....	43
8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	47
8.1 Εποχιακή διακύμανση όζοντος.....	47
8.2 Ημερήσια διακύμανση.....	50
9. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	51
9.1 Παρουσίαση μετρήσεων PM _{2,5}	51
9.2 Παρουσίαση μετρήσεων PM ₁₀	55
10. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	59
10.1 Εξήγηση των συγκεντρώσεων όζοντος.....	59
10.2 Εξήγηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων.....	67
11. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	77
11.1 Γραμμικές συσχετίσεις.....	77
11.2 Ανάλυση MDS.....	83
12. ΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	92
13. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ PM₁₀-PM_{2,5}-ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ.....	96

13.1 Σύγκριση επιπέδων PM_{10} - $PM_{2,5}$ με διάφορους σταθμούς της Ευρώπης (2004-2005).....	96
13.2 Σύγκριση επιπέδων όζοντος με διάφορους σταθμούς της Ευρώπης (2005).....	98
14. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	111

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Η ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται ως η προσθήκη χημικών ενώσεων σε αέρια και σωματιδιακή μορφή στην ατμόσφαιρα και που σαν αποτέλεσμα έχουν την επιβάρυνση των περιβαλλοντικών οικοσυστημάτων αλλά και της ίδιας της ανθρώπινης ζωής (Seinfeld και Pandis, 1998). Οι σημαντικότεροι πρωτογενείς ρύποι είναι τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου (SO_x), το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO , CO_2), η αμμωνία (NH_3), οι πτητικοί οργανικοί υδρογονάνθρακες (VOCs), τα βαρέα μέταλλα, τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια (PM) και οι έμμονοι οργανικοί ρύποι (POPs) που μπορεί να προέρχονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές (Λαζαρίδης, 2005). Ως φυσικές πηγές ρύπανσης θεωρούνται όλες οι πηγές που μέσω μιας φυσικής διαδικασίας συμβάλλουν στην αλλαγή της σύστασης του αέρα, όπως για παράδειγμα η έκρηξη ενός ηφαιστείου. Ως κύριες ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρούνται οι βιομηχανικές εκπομπές, τα μέσα μεταφοράς, η οικιακή θέρμανση και οι υπόλοιπες πηγές καύσης όπως για παράδειγμα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον στην ατμόσφαιρα παράγονται δευτερογενείς ρύποι από χημική μετατροπή των πρωτογενών ρύπων (π.χ. φωτοχημική παραγωγή όζοντος). Τις τελευταίες δεκαετίες αντιμετωπίζουμε την ατμοσφαιρική ρύπανση ως ένα παγκόσμιο πρόβλημα εξαιτίας της μεταφοράς πολλών ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα. Κατά συνέπεια σημαντικά προβλήματα δεν αντιμετωπίζουν μονάχα οι επιβαρημένες περιοχές από εκπομπές ρύπων αλλά και οι πιο απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη.

Ένας από τους σημαντικότερους διασυνοριακά μεταφερόμενους ρύπους στην τροπόσφαιρα είναι το όζον εξαιτίας των επιπτώσεων του στην δημόσια υγεία και στα οικοσυστήματα. Για τον λόγο αυτό έχουν υπογραφεί διεθνείς συμβάσεις για τον περιορισμό της διασυνοριακής μεταφοράς του (Ευρώπη Convection on Long Range Transboundary Air Pollution-CLRTAP, 1979). Η διασυνοριακή μεταφορά του οφείλεται στον μεγάλο χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα (περίπου μία βδομάδα) (Seinfeld και Pandis, 1998). Ιδιαίτερα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία

είναι επίσης και τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια (Pope κ.α., 1995; Schwartz κ.α., 1994).

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην Κρήτη, περιοχή στην οποία καταγράφονται υψηλά επίπεδα τροποσφαιρικού όζοντος και ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων (Kouvarakis, 2002; Σπυριδάκη, 2005). Στα επίπεδα αυτά συνεισφέρουν οι πηγές ρύπανσης που υπάρχουν στην περιοχή αλλά επηρεάζονται σημαντικά από την μεταφορά ρύπων (μεσαίας κλίμακας και διασυνοριακά) (Mihalopoulos, 1997). Σε αυτό συμβάλλει η θέση του νησιού αφού νότια βρίσκεται η Αφρική από την οποία μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες σωματιδίων (σκόνης από τις έρημους ή από πηγές καύσης) ενώ βόρεια βρίσκεται η ηπειρωτική Ευρώπη στην οποία λαμβάνουν χώρα πολλές ρυπογόνες δραστηριότητες (βιομηχανίες, αγροτικές καλλιέργειες, μεγάλα αστικά κέντρα). Η ύπαρξη της θάλασσας (παραγωγή θαλάσσιων αεροζόλ) αλλά και τα υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας (έντονη φωτοχημική δραστηριότητα) δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Η συγκέντρωση του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτώνται από τη διεύθυνση των ανέμων, οι οποίοι μπορεί να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις τους. Στην υπό εξέταση περιοχή, συνήθως οι Νότιοι άνεμοι ευνοούν την καταμέτρηση υψηλών συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα (είναι συχνά τα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα - Saharan dust events), ενώ οι Βόρειοι άνεμοι ευνοούν την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος (μεταφορά του όζοντος κυρίως από την Β.Δ. Ευρώπη)(Mihalopoulos, κ.α., 1997; Lazaridis, κ.α. 2007).

Παρά τις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων που καταγράφονται στη περιοχή μικρός αριθμός μελετών έχει πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για την εύρεση των παραμέτρων που επηρεάζουν τις τιμές τους (Mihalopoulos κ.α., 1997; Lazaridis κ.α., 2006; Gerasopoulos κ.α., 2006). Συστηματική καταγραφή των συγκεντρώσεών τους πραγματοποιείται στον σταθμό της Φοινοκαλιάς στην Ανατολική Κρήτη (Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης – Υπεύθυνος Καθηγητής: Μιχαλόπουλος, Ν.; Kouvarakis, 2002). Γενικά η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου έχει μελετηθεί περιστασιακά (μετρήσεις στα πλαίσια των προγραμμάτων PAUR και SUB-AERO; Σπυριδάκη Αθηνά, 2005; Kocak κ.α., 2007). Απεναντίας, η περιοχή της Δυτικής Μεσογείου έχει μελετηθεί πιο συστηματικά (Rodriguez κ.α., 2002; Querol κ.α., 2004; Escudero κ.α., 2007). Οι μελέτες αυτές

παρουσιάζουν την σπουδαιότητα των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την Αφρική στα επίπεδα της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε αγροτικές περιοχές της Δυτικής Μεσογείου.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια συνέχεια στις μετρήσεις για τροποσφαιρικό όζον και αιωρούμενα σωματίδια στον σταθμό του Ακρωτηρίου Χανίων (Βουλγαράκης Α., 2004), ο οποίος ανήκει στο εργαστήριο ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πραγματοποιήθηκε καταγραφή και στατιστική ανάλυση των τιμών συγκέντρωσης του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη ή ίση των 10 μm και 2,5 μm (PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$) για το χρονικό διάστημα 2005-2006 καθώς και των μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου). Η παρουσίαση των δεδομένων γίνεται με την χρήση χρονοσειρών και η στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες διακυμάνσεις. Χρησιμοποιείται επίσης η μέθοδος της ανάλυσης των ρετροπορειών των αερίων μαζών για τη σύνδεση της προέλευσης αυτών με τα επίπεδα ρύπανσης σε τοπικό επίπεδο. Τα δεδομένα θα συσχετιστούν στατιστικά και θα παρουσιαστεί ο βαθμός συσχέτισής τους όπου αυτός είναι σημαντικός και έχει φυσική σημασία. Θα γίνει συγκριτική παρουσίαση των επιπέδων ρύπανσης από όζον και αιωρούμενα σωματίδια ($\text{PM}_{2,5}$) στην περιοχή του Ακρωτηρίου σε σχέση με άλλους σταθμούς της Ευρώπης (μέσω του δικτύου σταθμών μέτρησης του EMEP). Τέλος, θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας που σκοπό έχει να δείξει την κατανομή της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων βάση της αεροδυναμικής τους διαμέτρου.

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται μία θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος που μελετάται και θα περιγραφούν αναλυτικά η διαδικασία μετρήσεων για το όζον και για τα αιωρούμενα σωματίδια, η περιοχή ενδιαφέροντος και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται.

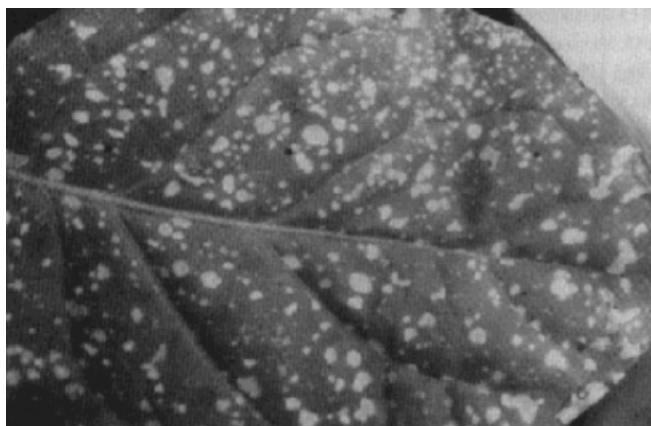
2.ΤΟ ΟΖΟΝ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

2.1 Ο ρόλος του όζοντος στην ατμόσφαιρα

Το όζον ανακαλύφθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και η ονομασία της ουσίας προέρχεται από την ελληνική λέξη 'όζει' που σημαίνει αυτό που μυρίζει (Schönbein, 1840). Ενώ η ύπαρξη του όζοντος στην στρατόσφαιρα είναι ευεργετική διότι 'φιλτράρει' την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία σε χαμηλότερα ύψη η παρουσία του είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία.

Το 90% της συγκέντρωσης του όζοντος που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα το συναντάμε στην στρατόσφαιρα (Seinfeld και Pandis, 1998). Το στρατοσφαιρικό όζον ευθύνεται για την απορρόφηση της UV- ακτινοβολίας και συγκεκριμένα των συνιστωσών της UV-A και UV-B με μήκος κύματος $\lambda < 315$ nm οι οποίες είναι και οι πιο επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία. (Ζερεφός, 1984). Τα τελευταία χρόνια διαπιστώσαμε πως πολλές χημικές ενώσεις που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες καταστρέφουν τα μόρια του όζοντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία να μην απορροφάται με καταστροφικές συνέπειες για την χλωρίδα και την πανίδα του πλανήτη αλλά και για την ίδια την ανθρώπινη υγεία (αύξηση ποσοστού εμφάνισης καταρράκτη στα μάτια, μελανωμάτων και διάφορων μορφών νεοπλασίας).

Ειδικότερα για την χλωρίδα το όζον αποτελεί έναν πολύ τοξικό ρύπο. Οι επιδράσεις του όζοντος στα φυτά έχουν να κάνουν με απώλεια του χρώματος (εικόνα 1) του φύλλου, με μεταβολές στην φυσιολογία τους και με μειωμένη ανάπτυξη και μεταβολές στον κύκλο αναπαραγωγής τους (Γεντεκάκης, 1999). Βασικά παρεμποδίζει την φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών την ανάπτυξη και την αντιμετώπιση ασθενειών (Βαλαβανίδης, 2007). Το όζον πλήττει τα δασικά οικοσυστήματα, ειδικά τα κωνοφόρα δέντρα. Σε συγκεντρώσεις όζοντος ακόμα και μικρότερες από 0,5 ppm, μπορούν να υποστούν σοβαρές αλλοιώσεις (Γεντεκάκης, 1999).



Εικόνα 1: Στίγματα σε φύλλο καπνού από την οξειδωτική δράση του όζοντος

Στον ανθρώπινο οργανισμό οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος μπορούν να προκαλέσουν πονοκεφάλους, βήχα αλλά και εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος. Οι παρατηρούμενες για μεγάλο χρονικό διάστημα υψηλές συγκεντρώσεις του όζοντος μπορούν να προκαλέσουν χρόνια βρογχίτιδα και πνευμονία.

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα μετρούνται συνήθως σε μέρη στο δισεκατομμύριο (ppb) ή σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm). Η μονάδα μέτρησης αυτή καθορίζει την αναλογία μίγματος του όζοντος στον αέρα (δηλαδή μόρια όζοντος προς μόρια αέρα). Επίσης μετρούνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπό φυσιολογικές συνθήκες το όζον στην τροπόσφαιρα βρίσκεται σε συγκεντρώσεις σχετικά μικρές (μερικά ppb). Το όριο ενημέρωσης κοινού, το οποίο παρουσιάζει το ΥΠΕΧΩΔΕ είναι τα $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ το όριο συναγερμού είναι τα $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες. Τα όρια που έχει καθορίσει η για την βλάστηση είναι τα $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για μέση ωριαία τιμή, τα $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για 7ωρη μέση τιμή (9 am-4 pm). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η κοινοτική οδηγία (οδηγία 2002/3/EC) καθορίζει τα όρια των τιμών συγκέντρωσης του όζοντος για την προστασία της βλάστησης και της ανθρώπινης υγείας. Ο στόχος που έχει θέσει για την τιμή της συγκέντρωσης του όζοντος σε σχέση με την ανθρώπινη υγεία για το 2010 είναι τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (για 8ωρη μέση τιμή) (EMEP Report 2007). Τα όρια ενημέρωσης του κοινού είναι κοινά με τα όρια που παρουσιάζει το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Τέλος το όριο που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) για την ανθρώπινη υγεία είναι τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για 8ωρη μέση τιμή.

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος

Η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές. Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος είναι η μεταφορά του στην τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα.

Η ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων όζοντος στην τροπόσφαιρα εξαρτάται κυρίως από τη φωτοχημική δραστηριότητα. Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης είναι μέγιστη κατά τις μεσημβρινές ώρες επομένως η μέγιστη συγκέντρωση όζοντος σημειώνεται νωρίς το απόγευμα (πρόκειται για μία δυναμική κατάσταση που απαιτεί κάποιο χρόνο για να συσσωρευτεί η μεσημβρινή δραστηριότητα).

Η ελάχιστη συγκέντρωση παρατηρείται νωρίς το πρωί, μετά από τις νυκτερινές ώρες οπότε η ηλιακή δραστηριότητα είναι ανύπαρκτη και η μεταφορά από μεγαλύτερα ύψη διακόπτεται λόγω της νυκτερινής θερμοκρασιακής αναστροφής.

Επιπλέον το όζον σημειώνει διακυμάνσεις και από μέρα σε μέρα λόγω μεταβολής των μετεωρολογικών συνθηκών αλλά και λόγω της διακύμανσης εκπομπής των πρόδρομων ενώσεων του. Στην Ανατολική Μεσόγειο η βασική επίδραση έχει να κάνει με την προέλευση των αερίων μαζών. Οι αέριες μάζες νότιας προέλευσης προκαλούν μείωση του τροποσφαιρικού όζοντος, ενώ αυτές με προέλευση από το βορρά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξησή του. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη παραγωγή όζοντος σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (Αθήνα, κεντρική Ευρώπη, παράλια Μικράς Ασίας, Βαλκάνια).

Τέλος θα πρέπει να τονισθεί και η εποχιακή διακύμανση του όζοντος, με μεγάλες συγκεντρώσεις την άνοιξη και το καλοκαίρι και μικρότερες το χειμώνα.

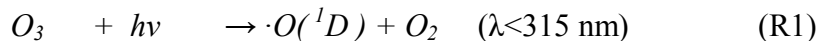
2.3 Η παραγωγή όζοντος στην τροπόσφαιρα

Η τροπόσφαιρα είναι το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας και κατά κανόνα στο στρώμα αυτό παρατηρείται συνεχής πτώση της θερμοκρασίας με το ύψος. Πολλές φορές αναφέρεται και ως κατώτερη ατμόσφαιρα. Εκτείνεται από το έδαφος μέχρι το ύψος των 12 ± 4 km ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους. Συγκεκριμένα πάνω από τις πολικές περιοχές εκτείνεται μέχρι το ύψος των 7,8

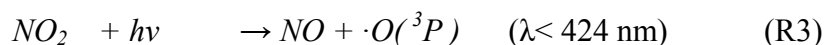
km, στις εύκρατες περιοχές μέχρι το ύψος των 11,12 km και στις ισημερινές περιοχές έως το ύψος των 16,17 km. Η τροπόσφαιρα είναι η περιοχή εκείνη της ατμόσφαιρας της γης στην οποία εκπέμπονται οι περισσότερες χημικές ενώσεις που έχουν ανθρωπογενή προέλευση και λειτουργεί σαν ένας μεγάλος χημικός αντιδραστήρας.

Το τροποσφαιρικό όζον προέρχεται από την στρατόσφαιρα καθώς και από τις φωτοχημικές αντιδράσεις παραγωγής του. Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η βασική προέλευση του όζοντος είναι από τις φωτοχημικές αντιδράσεις παραγωγής του.

Σε μια σύντομη ιστορική αναδρομή πάνω στην ατμοσφαιρική φωτοχημεία θα διαπιστώσουμε ότι μέχρι την δεκαετία του 1970 θεωρούνταν πως υπήρχε μια ήπια φωτοχημική δραστηριότητα που οδηγούσε πιθανόν στον σχηματισμό του όζοντος (Levy, 1971). Ο Levy το 1971 πρότεινε μια νέα θεωρία σύμφωνα με την οποία η διάσπαση του όζοντος στην ατμόσφαιρα μέσω της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας, με μήκος κύματος ≤ 315 nm, μπορούσε να σχηματίσει την ρίζα του υδροξυλίου ($\cdot\text{OH}$). Η παρακάτω σειρά αντιδράσεων αποτελεί την φωτολυτική διάσπαση του όζοντος.

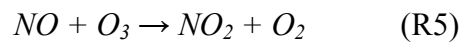


Ο Crutzen το 1973 παρουσίασε την θεωρία παραγωγής του όζοντος (O_3) από την αντίδραση μετατροπής του NO_2 σε NO . Οι αντιδράσεις είναι οι εξής:

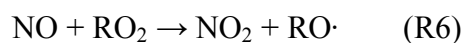


Για την αντίδραση R3 το M είναι συνήθως ένα μόριο αζώτου ή ένα μόριο οξυγόνου το οποίο είναι απαραίτητο για την σταθεροποίηση του νέου μορίου όζοντος που σχηματίζεται (O_3).

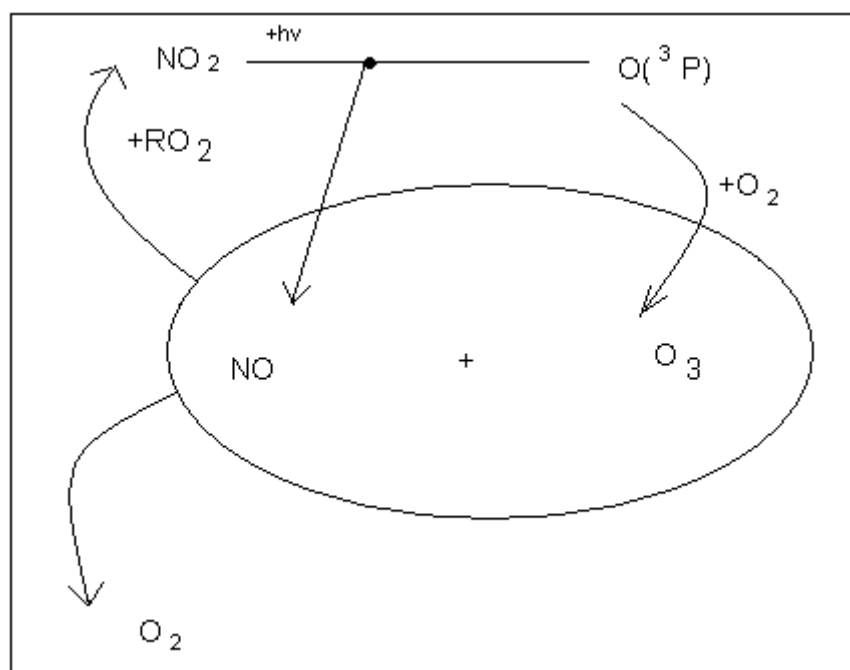
Η φωτόλυση του διοξειδίου του αζώτου ακολουθείται από την γρήγορη αντίδραση του νεοσχηματιζόμενου όζοντος (O_3) με το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του όζοντος και τον επανασχηματισμό του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) :



Η αντίδραση R5 ολοκληρώνει τον κύκλο σχηματισμού του όζοντος (O_3) και οδηγούμαστε σε μια σταθερή κατάσταση χωρίς να μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις του όζοντος. Για να έχουμε παραγωγή όζοντος θα πρέπει να υπάρξει κάποια χημική αντίδραση οξείδωσης του μονοξειδίου του αζώτου (NO) σε διοξείδιο (NO_2), η οποία να μην καταστρέφει το όζον και να δρα ανταγωνιστικά στην αντίδραση R5. Τέτοιου είδους μηχανισμός είναι η αντίδραση του NO με ρίζες RO_2 (συνήθως HO_2):



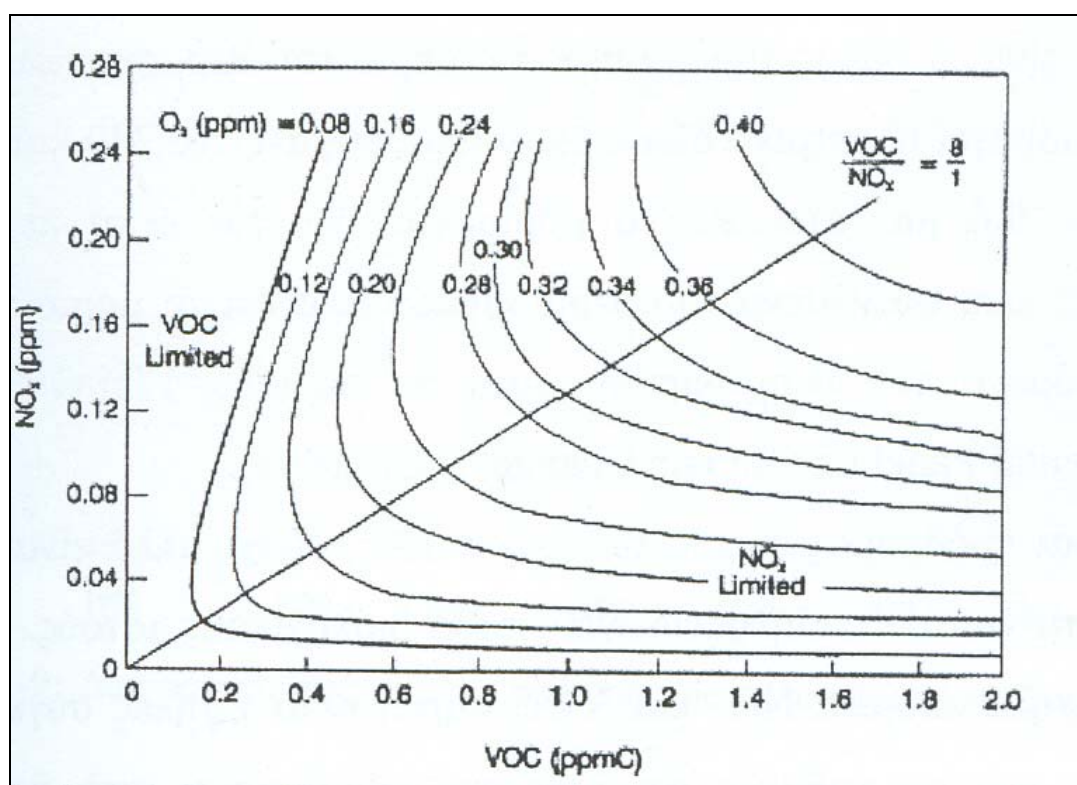
Η καταστροφή όζοντος που περιγράφηκε παραπάνω δεν συμβαίνει καθώς η αντίδραση R6 κυριαρχεί της R5 λόγω μεγαλύτερης σταθεράς αντίδρασης.



Εικόνα 2: Ο βασικός φωτοχημικός κύκλος σχηματισμού του όζοντος (O_3).

Η βασική αιτία υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος στην τροπόσφαιρα είναι η φωτοχημική αντίδραση των υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου, των οποίων οι κύριες πηγές εκπομπής είναι τα αυτοκίνητα και οι βιομηχανικές μονάδες. Ο

τύπος και η συγκέντρωση του υδρογονάνθρακα, καθώς επίσης η συγκέντρωση του οξειδίου του αζώτου και ο χρόνος έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό σχηματισμού του όζοντος. Άλλο ένα συστατικό της τροπόσφαιρας με σημαντική συμβολή στην παραγωγή όζοντος είναι οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (VOCs). Αν οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου είναι υψηλές, τότε η παραγωγή όζοντος θα καθορίζεται από το ρυθμό αντίδρασης των πτητικών οργανικών ενώσεων και την επίδραση τους στις συγκεντρώσεις της ρίζας του υδροξυλίου ($\cdot\text{OH}$). Το σύστημα σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται VOCs - limited. Αντίθετα αν οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου (NO_x) είναι χαμηλές, η παραγωγή όζοντος θα καθορίζεται από τις δικές τους συγκεντρώσεις και το σύστημα θα χαρακτηρίζεται ως NO_x - limited (Καραθανάσης 2007). Η παραπάνω συσχέτιση φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας (βλ. Κουβαράκης 2002).



Εικόνα 3: Επίδραση συγκεντρώσεων NO_x και VOC στα επίπεδα όζοντος (Κουϊμτζής, 1998).

3. ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

3.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση

Ως αεροζόλ ορίζεται ένα σταθερό αιώρημα στερεών ή υγρών σωματιδίων ή και των δύο στον αέρα. Το ατμοσφαιρικό αεροζόλ είναι λοιπόν ο συνδυασμός όλων των συμπυκνωμένων συστατικών που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα καθώς και ο αέρας στον οποίο περιέχονται τα συμπυκνωμένα σωματίδια (Graedel και Crutzen, 1993). Συχνά στην βιβλιογραφία η έννοια των αιωρούμενων σωματιδίων και του αεροζόλ ταυτίζεται. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν σημαντική συμβολή στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η φάση στην οποία βρίσκονται (υγρή ή αέρια), το μέγεθός τους και η χημική τους σύσταση.

Ένας διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται βάση του μεγέθους τους. Τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια απαντώνται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών, από μερικές 10/άδες Å έως κάποιες 100/άδες μm (Seinfeld και Pandis, 2006). Οι κατηγορίες που τα διακρίνουμε είναι:

- A) *Μικροί πυρήνες* (nucleation mode): Σωματίδια πρόσφατα σχηματισμένα με διαδικασίες πυρηνοποίησης και με διάμετρο <10 nm. (Ως κατώτερο όριο της κατηγορίας αυτής θεωρείται συνήθως >3 nm)
- B) *Σωματίδια Αϊτκεν* (Aitkin mode): Σωματίδια που προέρχονται από πυρηνοποίηση αερίων ή από σωματίδια πυρήνων με διαδικασίες συμπύκνωσης και με διάμετρο $10\text{nm} < d < 100\text{nm}$.
- Γ) *Σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης* (Accumulation mode): Σωματίδια που δημιουργούνται κατά την συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων ή την συμπύκνωση αερίων συστατικών. Η διάμετρος τους κυμαίνεται από $0,1 < d < 1$ έως 3 μm.
- Δ) *Υπέρλεπτα σωματίδια* (ultrafine particles): Περιλαμβάνει τις κατηγορίες Aitkin mode και nucleation mode.
- Ε) *Λεπτά σωματίδια* (fine particles): Περιλαμβάνει τις κατηγορίες πυρηνοποίησης (nucleation), Aitkin και την περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode).

ΣΤ) *Χονδρά σωματίδια* (coarse particles/mode): Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή στην κατανομή των ολικών σωματιδίων (συνήθως $d > 1-3 \mu\text{m}$) (Λαζαρίδης, 2004).

Τα λεπτά σωματίδια (fine particles), έχουν συγκεντρώσεις από 10 έως 10000/ cm^3 , ενώ τα χονδρά σωματίδια (coarse particles/mode) βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 1/ cm^3 (Seinfeld και Pandis, 1998).

Μία άλλη μέθοδος κατηγοριοποίησης των αιωρούμενων σωματιδίων βάση του μεγέθους τους είναι σύμφωνα με τις ποσότητες που σχετίζονται με την έκθεση του πληθυσμού στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Ο συνήθης διαχωρισμός τους είναι σε PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$. Ο δείκτης αναφέρεται στην μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων.

Οι κατηγορίες που διακρίνουμε τα αιωρούμενα σωματίδια βάση της χημικής τους σύστασης, του μεγέθους τους και της φάσης στην οποία βρίσκονται παρουσιάζονται στις παρακάτω κατηγορίες (Seinfeld και Pandis, 1998).

3.2 Μορφές αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια με βάση την μορφή τους ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) **Σκόνη (dusts)** : Ο σχηματισμός οφείλεται στη διάβρωση στερεών υλικών. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι μεγαλύτερο από $1 \mu\text{m}$.
- 2) **Ομίχλη (fog)** : Ορατά υδροσταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Συνήθως βρίσκονται κοντά στο έδαφος.
- 3) **Αναθυμιάσεις (fume)** : Στερεά σωματίδια τα οποία προκύπτουν από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πτητικές ουσίες, ή ως αποτέλεσμα οξειδωτικών αντιδράσεων. Συνήθως η ουσία που την αποτελεί είναι επιβλαβής. Η διάμετρος τους είναι μικρότερη από $1 \mu\text{m}$.
- 4) **Αχλός (hazes)** : Μικρά σωματίδια τα οποία μειώνουν την ορατότητα, μπορεί να είναι μείγμα υδροσταγονιδίων, ρύπων και σκόνης. Οι διάμετροί τους είναι μικρότερες από $1 \mu\text{m}$.

5) Αιθαλομίχλη (smog) : Συνδυασμός ομίχλης και καπνού. Σήμερα ο όρος χρησιμοποιείται πολλές φορές για κάθε είδος ρυπασμένου αέρα.

6) Καπνός (smoke) : Μικρά σωματίδια προερχόμενα από την ατελή καύση άνθρακα ή άλλων καυσίμων, σε ικανή συγκέντρωση ώστε να είναι ορατά ανεξάρτητα από την παρουσία άλλων στερεών. Η διάμετρος τους είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0,001μm .

7) Αιθάλη (soot) : Συσσωρευση σωματιδίων άνθρακα εμποτισμένα με ‘πίσσα’ που δημιουργείται από την ατελή καύση οργανικών ενώσεων.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται στο τροποσφαιρικό αεροζόλ αποτελούνται από θείο, αμμωνία, νάτριο, αζωτούχες και χλωριούχες ενώσεις, μεταλλικά ιχνοστοιχεία, άνθρακα (στοιχειακός και οργανικός) και νερό. Η χημική τους σύσταση μεταβάλλεται ανάλογα από την προέλευσή τους.

Στην εικόνα παρουσιάζονται τα διάφορα είδη των αιωρούμενων σωματιδίων βάσει της προέλευσης, της σύστασης και του μεγέθους τους.

αναπνευστικού συστήματος. Τα μικρότερης διαμέτρου σωματίδια θεωρούνται πιο επικίνδυνα λόγω της ικανότητας τους να εισέρχονται βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα (κυψελιδική περιοχή).

Στο περιβάλλον οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σχετίζονται με την μείωση της ορατότητας (εικόνα 5), την αύξηση της οξύτητας σε λίμνες, την μεταβολή της ισορροπίας των θρεπτικών συστατικών σε ποτάμια. Έμμεσες επιπτώσεις τους (μέσω της όξινης βροχής) είναι η καταστροφή δασών και καλλιεργειών και ο περιορισμός της ποσότητας των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Τέλος, τα σωματίδια κάνουν κηλίδες και καταστρέφουν την πέτρα και άλλα υλικά (καταστροφή μνημείων) (US E.P.A., 2004).



Εικόνα 5: Επεισόδιο σκόνης στην περιοχή Ζωγράφου στην Αθήνα με σημαντική μείωση της ορατότητας.

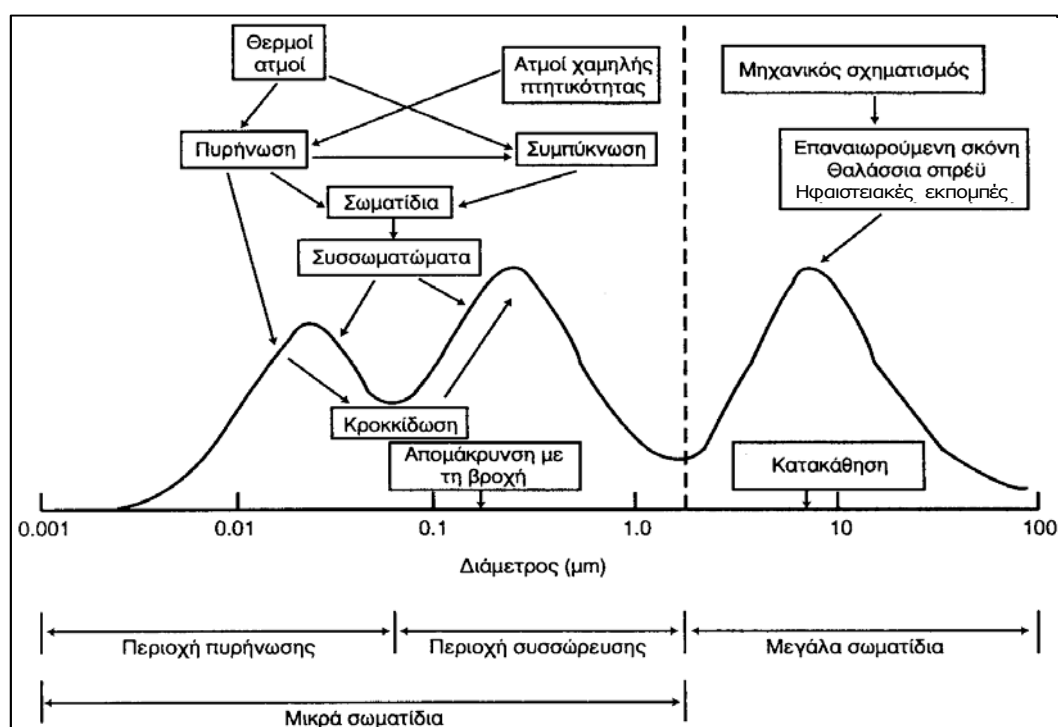
3.4 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων (Size distribution)

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, όπως προαναφέραμε, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ως προς το μέγεθος τους. Μπορούν να καταταχθούν βάσει της μάζας τους, της επιφάνειάς τους, του αριθμού ή του όγκου τους (εικόνα 6). Οι κατανομές όγκου, επιφάνειας, αριθμού σωματιδίων και μάζας σχεδιάζονται έτσι ώστε οι τιμές τους σε οποιοδήποτε εύρος μεγέθους να ισούνται με το εμβαδόν της

επιφάνειας κάτω από την καμπύλη, η οποία είναι λογαριθμική κανονική. Η κατανομή μεγέθους των σωματιδίων βάση της μάζας τους ακολουθεί τρεις λογαριθμικές κατανομές. Η λογαριθμική κανονική κατανομή χρησιμοποιείται για την γραφική απόδοση της μάζας των σωματιδίων. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κάθε κατανομής είναι η μέση αεροδυναμική διάμετρος¹ μάζας και η τυπική απόκλιση της κάθε λογαριθμικής κανονικής κατανομής. Η εξίσωση της κατανομής μάζας των σωματιδίων με δύο λογαριθμικές κατανομές (λεπτά και χονδρά σωματίδια) είναι:

$$f(d_{ae}) = \frac{a}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_{g,F})} \exp\left(-\frac{(\ln d_{ae} - \ln \mu_F)^2}{2 \ln \sigma_{g,F}^2}\right) + \frac{1-a}{\sqrt{2\pi} \ln(\sigma_{g,C})} \exp\left(-\frac{(\ln d_{ae} - \ln \mu_C)^2}{2 \ln \sigma_{g,C}^2}\right)$$

όπου a είναι το ποσοστό των λεπτών σωματιδίων και μ η μέση διάμετρος. Οι συντελεστές F και C αναφέρονται σε λεπτά και μεγάλα σωματίδια αντίστοιχα.



Εικόνα 6: Στατιστική κατανομή όγκου των αιωρούμενων σωματιδίων σε περιοχή με έντονη κίνηση οχημάτων (US E.P.A, 2004).

¹ ΜΜΑΔ: Η αεροδυναμική διάμετρος για την οποία το 50% της μάζας των σωματιδίων έχει μέγεθος μεγαλύτερο από αυτήν.

3.5 Πηγές εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και μηχανισμοί απομάκρυνσης

Οι πηγές εκπομπής των αιωρούμενων σωματιδίων διαχωρίζονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς. Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής είναι η βιομηχανική καύση, η παραγωγή ενέργειας, η εξόρυξη ορυκτών καυσίμων και οι μεταφορές. Από την φύση εκπέμπονται σωματίδια από εκρήξεις ηφαιστειών, από την θάλασσα και από το έδαφος (διάβρωση εξαιτίας του ανέμου) και από τις φωτιές. Η ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από φυσικές πηγές σε παγκόσμια κλίμακα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες (Seinfeld και Pandis, 1998). Σωματίδια παράγονται και δευτερογενώς από χημικές αντιδράσεις αερίων μέσω διαδικασιών πυρηνοποίησης συμπύκνωσης και συσσωμάτωσης, οι οποίες οδηγούν στον σχηματισμό νέων σωματιδίων ή στην προσθήκη σωματιδιακής ύλης σε προϋπάρχοντα σωματίδια (Σπυριδάκη, 2005).

4. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο σταθμός του Ακρωτηρίου ($35^{\circ} 31' \text{ N}$, $24^{\circ} 03' \text{ E}$) είναι ένας αστικός σταθμός υποβάθρου (background urban). Ανήκει στο εργαστήριο ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων, του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος, του Πολυτεχνείου Κρήτης. Βρίσκεται σε υψόμετρο 137 μέτρων από την θάλασσα και απέχει από την αυτήν 2 km βόρεια και δυτικά, 3,3 km νότια και 11,5 km ανατολικά. Το κοντινότερο αστικό κέντρο, που είναι τα Χανιά, βρίσκεται πέντε (5) km νότιο-δυτικά από τον σταθμό. Οπότε οι εκπομπές από την κίνηση των οχημάτων και από άλλες πηγές ρύπων στην πόλη επηρεάζουν τα επίπεδα συγκέντρωσης στον σταθμό όταν πνέει Βόρειο-Δυτικός άνεμος. Στην εικόνα 7 φαίνεται η ακριβής τοποθεσία του σταθμού. Η σημαντικότερη βιομηχανική μονάδα που υπάρχει αυτή τη στιγμή κοντά στον σταθμό του Ακρωτηρίου είναι η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ξυλοκαμάρα που βρίσκεται περίπου 6 km Νότια – Νοτιοανατολικά των Χανίων. Από τη συγκεκριμένη βιομηχανική εγκατάσταση οι ρύποι που επιβαρύνουν την περιοχή είναι εκπομπές SO_2 , NO , NO_2 και καπνού.



Εικόνα 7: Ο μετεωρολογικός σταθμός (αριστερά) του Πολυτεχνείου Κρήτης και η τοποθεσία του στην Ελλάδα.

Ο κεντρικός οδικός άξονας της περιοχής βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης και απέχει από το μετεωρολογικό σταθμό περίπου 400 m. Επίσης δίπλα στο σταθμό βρίσκεται ο χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων σε απόσταση 10 m περίπου. Η κίνηση των οχημάτων μέσα στην Πολυτεχνειούπολη είναι αυξημένη κατά τις πρωινές ώρες, ενώ στον κεντρικό δρόμο της περιοχής τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες. Πρέπει να σημειώσουμε πως σε όλη την χρονική περίοδο των μετρήσεων κατασκευάζονταν δύο κτίρια στον χώρο της Πολυτεχνειούπολης σε απόσταση 100m από τον σταθμό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κατά την διάρκεια της ημέρας πολλές φορές να διέρχονται φορτηγά με οικοδομικά υλικά αλλά και να γίνονται κατασκευαστικές διαδικασίες οι οποίες γέμιζαν με σκόνη την γύρω ατμόσφαιρα. Επίσης στην περιοχή του Ακρωτηρίου βρίσκεται ο Αερολιμένας Χανίων, η στρατιωτική βάση του NATO και η 115 Πτέρυγα Μάχης, όλα σε απόσταση 10 περίπου km ανατολικά.

Σε απόσταση περίπου πενήντα (50) μέτρων στα νότιο-δυτικά από τον σταθμό υπάρχει ένα κτίριο ύψους 15 m (Κτίριο Μηχανικών Ορυκτών Πόρων) (εικόνα 8) ενώ στα 100 m ανατολικά από τον σταθμό υπάρχει ρέμα. Το κτίριο μπορεί να επηρεάζει την καταγραφή των νότιο-δυτικών ανέμων.

Ο σταθμός όπως αναφέρουμε παραπάνω μετράει συγκεντρώσεις υποβάθρου αστικού κέντρου. Η περιοχή του σταθμού δεν μπορεί να χαρακτηριστεί καθαρά αστική (urban) ούτε απομακρυσμένη (remote), λόγω της μικρής της απόστασής της

από αστικό κέντρο. Η απόστασή της από τη θάλασσα είναι επίσης μικρή, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά μιας παραθαλάσσιας περιοχής (marine).



Εικόνα 8: Η θέση του μετεωρολογικού σταθμού στην Πολυτεχνειούπολη.

5. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΡΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ (BACKWARD TRAJECTORY ANALYSIS)

Οι πορείες (τροχιές) των αερίων μαζών χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή των φωτοχημικών μοντέλων διασποράς καθώς και των σωματιδιακών μοντέλων διασποράς. Χρησιμοποιούνται επίσης για την μελέτη της κλιματολογίας που επηρεάζει τη ρύπανση μιας περιοχής καθώς και στην εύρεση περιοχών που επηρεάζονται περισσότερο από τις εκπομπές κάποιων πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης μελετώντας την προέλευση των αερίων μαζών.

Μια από τις μεθόδους που θα χρησιμοποιήσουμε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για να μελετήσουμε τα επίπεδα συγκέντρωσης των αερίων ρύπων σε σχέση με την προέλευση των αερίων μαζών είναι η ανάλυση των ρетроπορειών των αερίων μαζών (backward trajectory analysis). Υπάρχουν πολλά και διαφορετικά μοντέλα υπολογισμού των τροχιών όπως το ARL-ATAD (Heffter, 1980), το HYSPLIT (Draxler, 1992) και το CAPITA Monte Carlo (Schichtel και Husar, 1997). Όλα τα

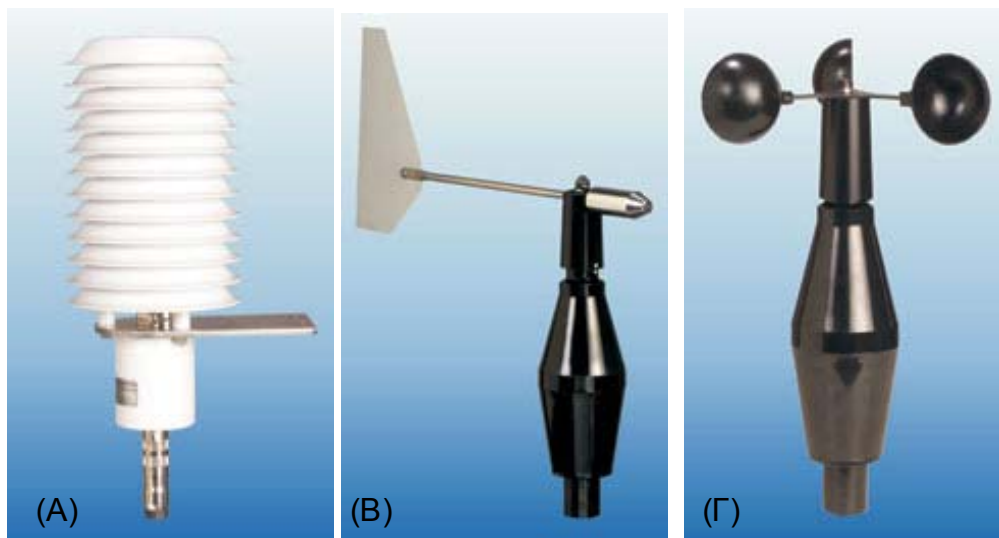
παραπάνω μοντέλα υπολογίζουν τις τροχιές των αερίων μαζών με μεγάλη αβεβαιότητα εξαιτίας των μεθόδων παρεμβολής των χωρικά και χρονικά 'αραιών' μετεωρολογικών δεδομένων και τις υποθέσεις που γίνονται σχετικά με την κατακόρυφη μεταφορά (Mahura κ.α., 1999). Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι μια αέρια μάζα, της οποίας την τροχιά θέλουμε να υπολογίσουμε (ορθή ή ανάδρομη), τόσο πιο αβέβαιη είναι η θέση της (Rolph και Draxler, 1990). Γι' αυτό τον λόγο οι τροχιές που υπολογίζονται πρέπει να θεωρούνται μονάχα σαν μια καλή εκτίμηση της μέσης κίνησης μιας αέριας μάζας. Το τυπικό σφάλμα στον υπολογισμό της απόστασης που διανύει μια αέρια μάζα είναι της τάξης του 20% (Stohl, 1998).

Ο υπολογισμός εδώ γίνεται με την χρήση του *λαγκρανζιανού* μοντέλου *HYSPLIT 4*, το οποίο δημιουργήθηκε από το Air Resources Laboratory (ARL), του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Το συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνει υπόψη το πεδίο ταχυτήτων των ανέμων, τη διασπορά και την εναπόθεση που λαμβάνουν χώρα.

Για τον υπολογισμό της ρетроπορείας με το μοντέλο HYSPLIT 4 χρειάζονται ορισμένα δεδομένα εισόδου. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τα μετεωρολογικά δεδομένα FNL (Final run) από τη βάση δεδομένων GDAS (Global Data Assimilation System) με χρονική ανάλυση έξι ώρες. Επιπλέον πρέπει να δοθούν ως δεδομένα εισόδου το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του σταθμού. Στη συνέχεια εισάγεται η ημερομηνία, η ώρα της ημέρας, ο συνολικός χρόνος (run time) για τον οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τη ρетроπορεία και το ύψος πάνω από την περιοχή στο οποίο μας ενδιαφέρει να δούμε την προέλευση της αέριας μάζας. Μπορούν να ορισθούν επί προσθέτω διάφορες άλλες παράμετροι, οι οποίες έχουν να κάνουν κυρίως με την μορφή παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

Ο κάθε χάρτης ρетроπορείας απεικονίζει ένα εναέριο πλάνο της πορείας της αέριας μάζας μέχρι να φτάσει στην περιοχή ενδιαφέροντος καθώς και μία κατακόρυφη εικόνα της κίνησής του σε διαφορετικά ύψη. Ένας τέτοιος χάρτης για την περιοχή μελέτης στις 15/9/2006 φαίνεται στην εικόνα 9.

CO)(εικόνα 10Α). Ο αισθητήρας της θερμοκρασίας αποτελείται από μία αντίσταση από πλατίνα Pt 100. Το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να μετρήσει είναι από -35°C έως +45°C. Ο αισθητήρας υγρασίας μπορεί να δώσει τιμές από 0-100%.



Εικόνα 10: Όργανα καταγραφής μετεωρολογικών δεδομένων Α) Combined Temperature/ Humidity sensor in shelter 3030, Β) Wind direction sensor type 4122, Γ) Wind speed sensor type 4034.

6.1.2 Διεύθυνση ανέμου

Η καταγραφή της διεύθυνσης του ανέμου γίνεται με την βοήθεια του οργάνου Wind direction sensor type 4122 (Theodor Friedrichs & CO) (εικόνα 10Β). Το όργανο αποτελείται από έναν ανεμοδείκτη. Αυτός βρίσκεται συνεχώς παράλληλος στην τοπική διεύθυνση του ανέμου. Όταν ο ανεμοδείκτης κινείται, ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, εμφανίζεται ένα αντίστοιχο ψηφιακό σήμα. Το εύρος μετρήσεων του οργάνου είναι από 0° έως 360° (στο Βορρά αντιστοιχούν οι 0° και στο Νότο οι 180°).

6.1.3 Ταχύτητα ανέμου

Η καταγραφή των ταχυτήτων του ανέμου πραγματοποιούνται με το όργανο Wind speed sensor type 4034 (βλ. & Theodor Friedrichs & CO) (εικόνα 10Γ). Το όργανο είναι κατάλληλο για μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές. Αποτελείται από τρία κύπελλα . Τα κύπελλα στηρίζονται σε έναν άξονα, η βάση του

οποίου είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο ώστε να αντανακλά το φως. Πάνω στη βάση αυτή, υπάρχουν 15 τομείς με μαύρο χρώμα σε μορφή περυγίων οι οποίοι απορροφούν το φως. Η περιστροφή των κυπέλλων και του στελέχους τους δημιουργεί μία σειρά από παλμούς ανάκλασης και απορρόφησης, των οποίων η συχνότητα είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Σε ένα εύρος συχνοτήτων 0 έως 600 Hz αντιστοιχεί ένα εύρος ταχυτήτων από 0 έως 60 m/s. Η μέγιστη ταχύτητα στην οποία μπορεί να λειτουργήσει το όργανο είναι τα 60 m/s και η αντίστοιχη ελάχιστη τιμή είναι τα 0,3 m/s.

6.2 Όργανα μέτρησης της συγκέντρωσης όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων

6.2.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης όζοντος

Οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων όζοντος έγιναν με τον αναλυτή όζοντος APOA-360 Ambient Ozone Monitor που διαθέτει το εργαστήριο ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το όργανο είναι συνδεδεμένο με υπολογιστή και παρέχει την δυνατότητα απευθείας μετάδοσης των δεδομένων που λαμβάνει για το όζον κάθε δευτερόλεπτο.

Ο συγκεκριμένος αναλυτής όζοντος βασίζεται στην UV (υπεριώδη) φωτομετρία και κατά βάση δεν επηρεάζεται από αλλαγές στις περιβάλλουσες συνθήκες. Οι τιμές της συγκέντρωσης μπορούν να δοθούν σε μέρη στο εκατομμύριο (parts per million) ή σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο, διορθωμένες στην κανονική θερμοκρασία και πίεση. Το όργανο παρέχει την δυνατότητα απόδοσης του μέσου όρου που προκύπτει από μετρήσεις που καταγράφονται για το χρονικό διάστημα των 3 ή 30 min ή 3 h. Ένα ρολόι που λειτουργεί με μπαταρίες και είναι ενσωματωμένο στο όργανο διασφαλίζει τον συγχρονισμό των χρονικών διαστημάτων για τα οποία λαμβάνεται ο μέσος όρος, με τον πραγματικό χρόνο ακόμα και όταν έχουμε διακοπή της λειτουργίας του οργάνου.

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του όζοντος από το όργανο, χρησιμοποιείται η εξίσωση απορρόφησης του Beer-Lambert:

$$I = I_o \times \exp \left\{ -a \times l \times C \times \left(\frac{273}{T} \right) \times \left(\frac{P}{760} \right) \right\}$$

Η συγκέντρωση του O₃ που μετρά το όργανο εκφράζεται σε ppm και δίνεται από τον τύπο:

$$C = \left(-\frac{1}{a} \times l \right) \ln \left[\left(\frac{I}{I_o} \right) \right] \left(\frac{T}{273} \right) \left(\frac{760}{P} \right) 10^6 \text{ ppm}$$

όπου :

I: η εξερχόμενη ένταση

I_o: η εισερχόμενη ένταση

a: συντελεστής αναλογίας

l: μήκος διανυόμενης διαδρομής

C: συγκέντρωση

T: Θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

P: πίεση (torr)

Για την μέτρηση του O₃ χρησιμοποιείται λάμπα υδραργύρου, χαμηλής πίεσης που εκπέμπει υπεριώδη ακτινοβολία στα 253,7 nm όπου έχουμε την μέγιστη απορρόφηση O₃.

6.2.2 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων

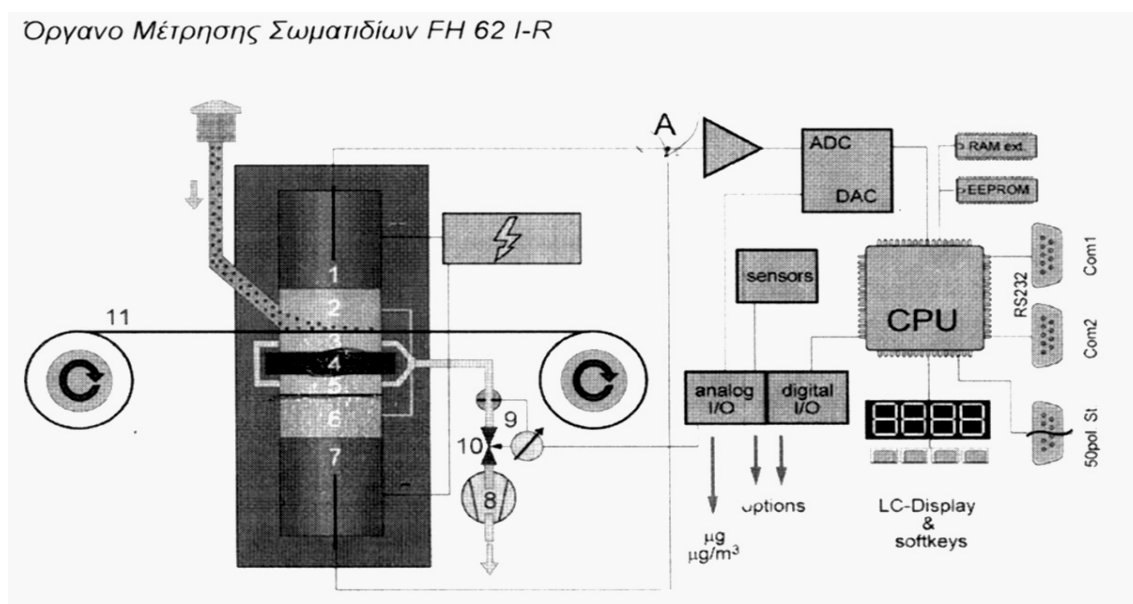


Η καταγραφή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων από τον σταθμό του Ακρωτηρίου πραγματοποιείται με το όργανο DUST MONITOR FH 62 I – R (ESM Andersen Instruments GmbH, 2003). Οι εφαρμογές του οργάνου είναι η μέτρηση ολικών αιωρούμενων σωματιδίων TSP (Total Suspended Particulate) και η μέτρηση σωματιδίων με διαφορετική αεροδυναμική διάμετρο με την χρήση ειδικών διαχωριστών (συλλέκτες PM₁₀ ή PM_{2,5}) για τη μέτρηση των εκπομπών σε πραγματικό χρόνο. Το όργανο αυτό δίνει σε πραγματικό χρόνο τη συγκέντρωση των σωματιδίων στο περιβάλλον όπου πραγματοποιείται μέτρηση. Ο προσδιορισμός της μάζας των

σωματιδίων γίνεται συνεχώς με την μέθοδο της β ακτινοβολίας² που στηρίζεται στην μέτρηση της απορρόφησης της β ακτινοβολίας κατά την διέλευσή της μέσα από την σωματιδιακή ύλη που συλλέγεται στο φίλτρο. Συνεχής παράλληλα συνεχής μέτρηση του όγκου του αέρα που αναρροφάται, οπότε υπολογίζεται η συγκέντρωση των σωματιδίων. Μια ολοκληρωμένη συσκευή FH 62 I-R, αποτελείται από τα ακόλουθα τέσσερα (4) τμήματα:

- 1) την κεντρική μονάδα
- 2) το σύστημα δειγματοληψίας
- 3) τη φτερωτή περιστροφική αντλία
- 4) τη μονάδα καταγραφής

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου φαίνεται στο σχήμα στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Αρχή λειτουργίας του οργάνου μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων FH 62 I-R. (1) Θάλαμος μέτρησης ιονισμού, (2) Θάλαμος I συλλογής σωματιδίων και μέτρησης, (3) Θάλαμος II κενού, (4) Πηγή β ακτινοβολίας Kr-85, (5) Θάλαμος αντιστάθμισης II, (6) Θάλαμος αντιστάθμισης I, (7) Θάλαμος αντιστάθμισης ιονισμού

Το σημείο συλλογής της σκόνης είναι τοποθετημένο μεταξύ του θαλάμου (2) συλλογής σωματιδίων και του κινητού θαλάμου κενού (3). Στο τμήμα αντιστάθμισης είναι τοποθετημένο ένα σταθερό λεπτό έλασμα τιτανίου στο σημείο αντιστοιχίας μεταξύ του θαλάμου αντιστάθμισης II (5) και του θαλάμου αντιστάθμισης I. Το

² Η ακτινοβολία β αποτελείται από σωματίδια β (ηλεκτρόνια με υψηλή ταχύτητα), τα οποία εκπέμπονται από τον πυρήνα ενός ατόμου κατά την ραδιενεργή μετάπτωση (radioactive decay). Ένα σωματίδιο β σχηματίζεται από την σχάση ενός νετρονίου σε ένα πρωτόνιο κι ένα ηλεκτρόνιο.

έλασμα αυτό έχει το ίδιο ειδικό βάρος με την ταινία του φίλτρου. Το όργανο χρησιμοποιεί τη ραδιομετρική αρχή της εξασθένησης σωματιδίων β δύο ακτινών με τη μέθοδο της αντιστάθμισης. Λόγω της παραπάνω διεργασίας επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια της μέτρησης καθώς για κάθε μετρούμενη τιμή ορίζεται μια τιμή αναφοράς σε διαφορετικό τμήμα μέτρησης του οργάνου. Αυτό το τμήμα αναφοράς συνδέεται με φυσικό τρόπο με το τμήμα μέτρησης, οπότε υπάρχει και στα δύο συστήματα η ίδια επίδραση από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης του περιβάλλοντος. Αυτή είναι και η βασική συνθήκη για την ακρίβεια και τη σταθερότητα της αντιστάθμισης.

Ένα καθαρό τμήμα της ταινίας φίλτρου μετακινείται στη θέση μέτρησης (2). Ο αέρας του περιβάλλοντος αναρροφάται από το σύστημα δειγματοληψίας. Τα σωματίδια σκόνης που περιέχονται στον αέρα εναποτίθενται στο φίλτρο. Για τη δειγματοληψία των σωματιδίων χρησιμοποιείται η αρχή της μοναδικής κηλίδας στο φίλτρο. Ένα κομμάτι φίλτρου παραμένει για αρκετά μεγάλο, χρονικό διάστημα στο θάλαμο συλλογής και μέτρησης των σωματιδίων (2) μέχρι να αποκτήσει το μέγιστο φορτίο που έχουμε ορίσει (συνήθως 1500 μg) ή να ξεπεραστεί κάποια από τις παραμέτρους αλλαγής του φίλτρου (χρόνος ημέρας, προεπιλεγμένος χρόνος δειγματοληψίας, παροχή αέρα). Έπειτα το γεμάτο τμήμα του φίλτρου μετακινείται και το αντικαθιστά ένα καθαρό τμήμα στο σημείο μέτρησης. Η αλλαγή του φίλτρου γίνεται αυτόματα και ξεκινά ένας νέος κύκλος. Μετά από κάθε αλλαγή φίλτρου γίνεται μια ρύθμιση αυτόματου μηδενισμού.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας στο φίλτρο στο τμήμα (2) ο αριθμός των σωματιδίων που κατακάθονται στο φίλτρο αυξάνεται. Το στρώμα των σωματιδίων με αυξανόμενο πάχος, εξασθενίζει την ένταση της ακτινοβολίας β στο τμήμα (4-2-1). Το ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο Α αυξάνεται. Αυτό το σήμα εξόδου δίνει ανά πάσα στιγμή τη μάζα σωματιδίων που έχει συλλεχθεί στην κηλίδα του φίλτρου. Αυτό το σύστημα είναι λοιπόν ένας άμεσος παρατηρητής της μάζας της σκόνης στο σημείο 2. Με τη μάζα στην κηλίδα του φίλτρου γνωστή ανά πάσα στιγμή μπορεί κανείς να υπολογίσει την ταχύτητα της δειγματοληψίας σωματιδίων.

Το σήμα μέτρησης στην έξοδο Α ενισχύεται και φτάνει μέσω ενός αναλογικού/ ψηφιακού μετατροπέα στην κεντρική υπολογιστική μονάδα. Από τη χρονική αύξηση της μάζας της σκόνης υπολογίζεται και δίνεται στην οθόνη μέτρησης η συγκέντρωση. Η επίδραση της μεταβλητής υγρασίας στον ατμοσφαιρικό αέρα

καθώς και ο κίνδυνος συμπύκνωσης του νερού στον σωλήνα δειγματοληψίας μπορούν να προληφθούν με τη χρήση ενός θερμαινόμενου σωλήνα δειγματοληψίας. Η επίδραση αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε υψηλή υγρασία το καλοκαίρι ή κατά τις ημέρες με ομίχλη.

6.2.3 Όργανο διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων οκτώ σταδίων (Andersen impactor).

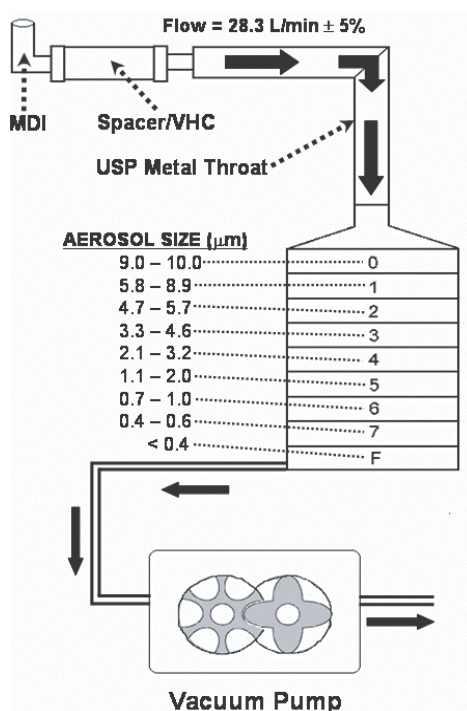
Η γνώση της κατανομής μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σημαντική στο να κατανοήσουμε τις συνέπειες τους στην ανθρώπινη υγεία και στο να καθορίσουμε τις καλύτερες μεθόδους ελέγχου των επιπέδων συγκέντρωσής τους. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον προσδιορισμό της κατανομής μάζας των σωματιδίων με τον διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen (8 σταδίων) (εικόνα 12) και φίλτρα Glass Fiber.



Εικόνα 12: Το όργανο του διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων (8 σταδίων) Andersen.

Ο διαχωριστής πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen αποτελείται από οκτώ στάδια (stage0 – stage7). Το κάθε στάδιο συγκρατεί αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο που κυμαίνεται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών (εικόνα 13). Τα

σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από αυτή που συγκρατείται στο τελευταίο στάδιο (stage 7- $d_p = 0,4 \mu\text{m}$) συλλέγονται στο backup filter (εικόνα 13 - stage F).



Εικόνα 13: Τα 8 στάδια του διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen.

6.2.4 Όργανο σταθμικού προσδιορισμού συγκέντρωσης σωματιδίων PM_{10} (Sequential Sampler).



Την περίοδο από τις 21/11/2006 έως τις 27/11/2006 πραγματοποιήθηκαν σταθμικές μετρήσεις της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} με το όργανο συλλογής αιωρούμενων σωματιδίων με αυτόματη εναλλαγή φίλτρων (Sequential sampler FH 95 SEQ). Πρόκειται για έναν χαμηλού όγκου δειγματολήπτη (low-volume sampler), ο οποίος λειτουργεί με ροή αέρα που κυμαίνεται από 1,5 έως 3 m^3/h . Για την συλλογή των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο ακροφύσιο, ενώ η ροή του αέρα ρυθμίστηκε στα $2,3 \text{ m}^3/\text{h} \pm 1\%$ (Πρότυπο EN12341 για σταθμική μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ; CEN 1998). Ο μέγιστος αριθμός φίλτρων που

μπορούν να τοποθετηθούν στο όργανο είναι δεκαέξι (16) και πραγματοποιείται αυτόματη αλλαγή φίλτρου κάθε 24 ώρες. Η διάμετρος των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίση με 47 mm.

6.2.5 Ζυγός ακριβείας (Sartorius CP 225D)



Η ζύγιση των φίλτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις σταθμικές μετρήσεις της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} με το όργανο Sequential sampler αλλά και αυτών για τις μετρήσεις κατανομής μάζας με τον διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων οχτώ (8) σταδίων Andersen πραγματοποιήθηκαν στον ζυγό ακριβείας Sartorius CP 225D

(Sartorius AG, Goettingen, Germany). Ο ζυγός έχει ακρίβεια 0,01mg.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στα σχήματα 14-30 παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν στον μετεωρολογικό σταθμό του Πολυτεχνείου της Κρήτης κατά την χρονική περίοδο 2005-2006. Λόγω της φύσης της παρούσας εργασίας δεν ήταν δυνατόν να παρουσιαστούν όλα τα ωριαία, ημερήσια και μηνιαία διαγράμματα αναλυτικά (κατασκευάστηκαν όλα για κάθε μήνα της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου που εξετάζεται). Αντίθετα παρατίθενται συνοπτικές χρονοσειρές που αφορούν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.

Πρέπει να σημειωθεί πως περίοδοι στις οποίες έχουμε διακοπές στη λήψη μετεωρολογικών δεδομένων οφείλονται σε προβλήματα στο μετεωρολογικό ιστό ή στην ηλεκτροδότηση του σταθμού με αποτέλεσμα τα όργανα του σταθμού να είναι εκτός λειτουργίας.

7.1 Θερμοκρασία

Η μέση ημερήσια τιμή της θερμοκρασίας \bar{T} ορίζεται από την σχέση:

$$\bar{T} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \bar{T}_{d(i)} \quad (1)$$

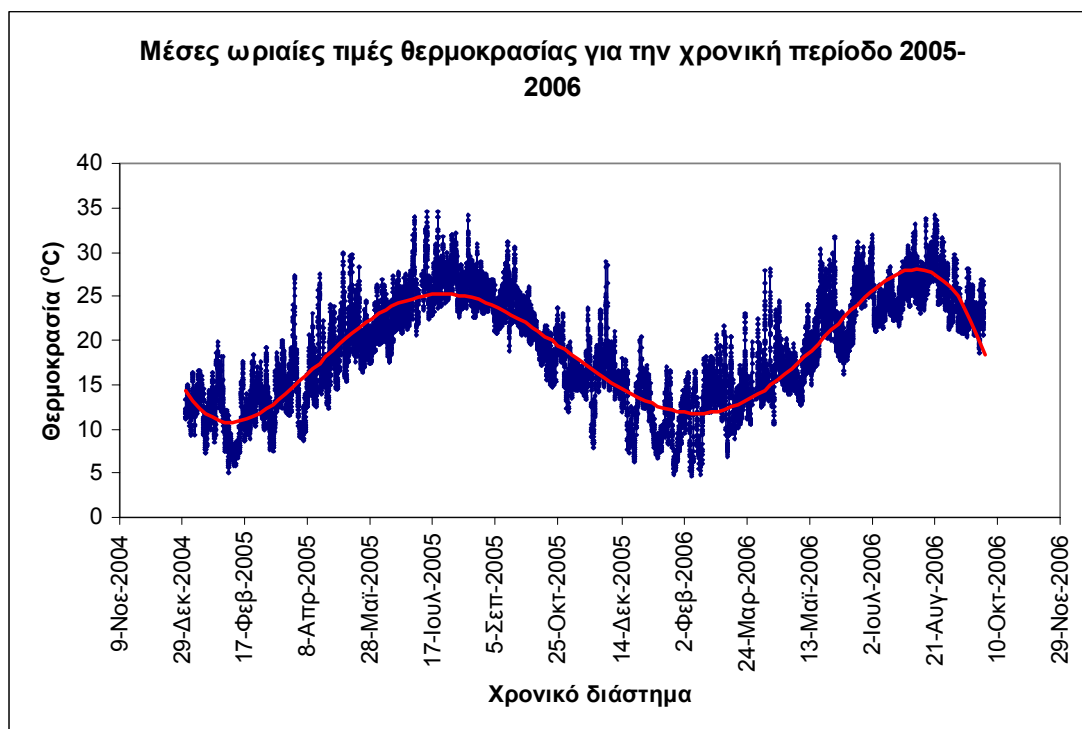
όπου $T_{h(i)}$ είναι η ωριαία τιμή ($i = 1, 2, 3, \dots, 24$). Η σχέση που εφαρμόζεται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) για τον υπολογισμό της T_d σε ολόκληρο το δίκτυο των μετεωρολογικών της σταθμών είναι:

$$\bar{T}_d = \frac{1}{4} (T_{06} + T_{12} + 2xT_{18}) \quad (2)$$

όπου 06, 12 και 18 είναι οι κοινά αποδεκτές ώρες σε UTC – Universal Time Coordination. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η σχέση (2) για να έχουμε την δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων μας με τα στοιχεία που λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό σταθμό της Ε.Μ.Υ. στην Σούδα.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας ξεκινούν στις 1/1/2005 και η τελευταία διαθέσιμη μέτρηση είναι στις 29/9/2006. Το όργανο καταγραφής της θερμοκρασίας

είναι το ‘Combined humidity/ temperature sensor 3030’ και καταγράφει θερμοκρασιακές τιμές με χρονικό διάστημα 15 λεπτών μεταξύ τους. Αυτό που αναμένουμε για την περιοχή μας σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας είναι μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε όλη την διάρκεια του χρόνου και μικρότερο θερμομετρικό εύρος μεταξύ ημέρας και νύχτας, αλλά και μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (εικόνα 14), φαίνεται η χρονοσειρά των μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα μελέτης.

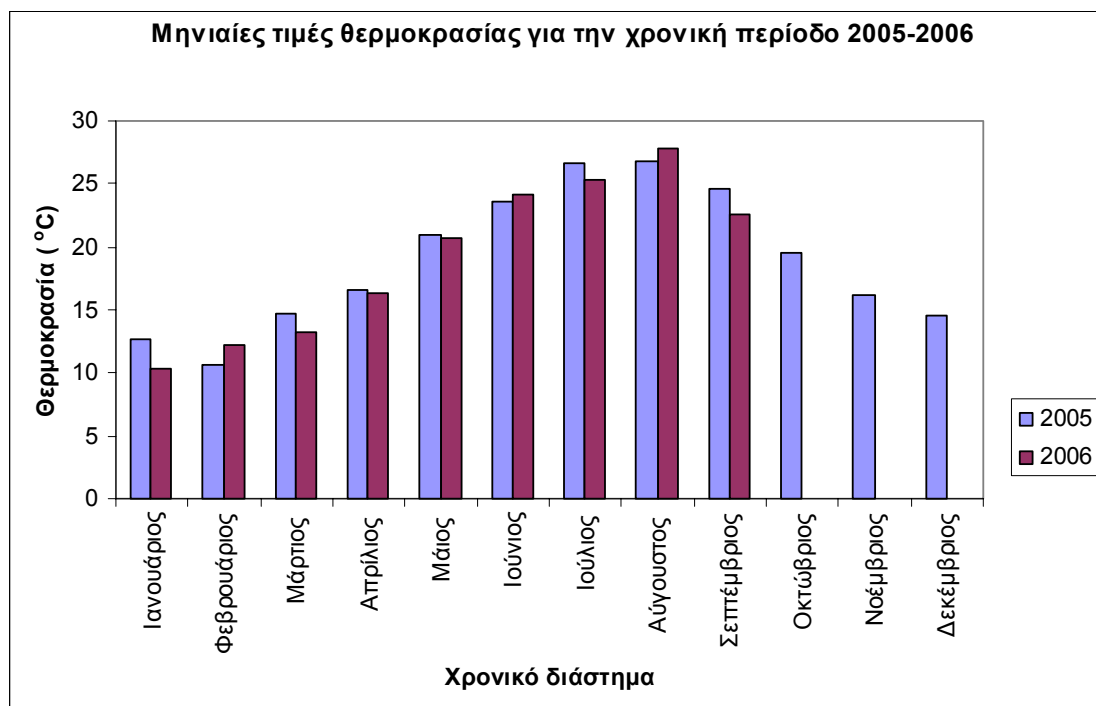


Εικόνα 12: Χρονοσειρά για τις μέσες ωριαίες τιμές θερμοκρασίας για την χρονική περίοδο 2005-2006.

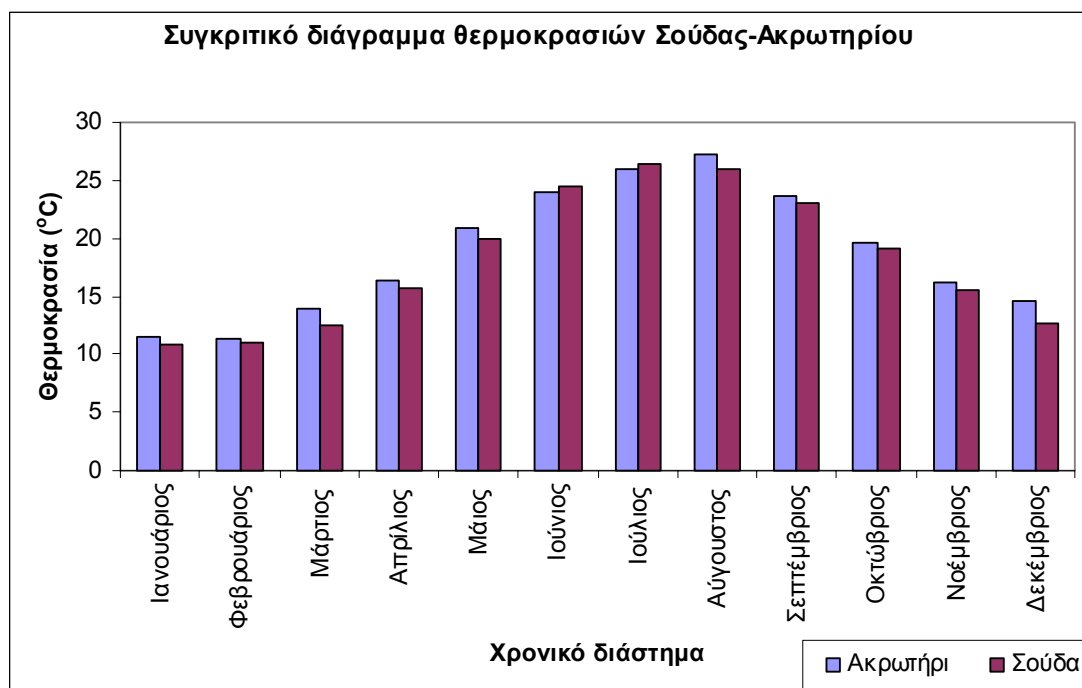
Η θερμοκρασία όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυξάνεται το καλοκαίρι και μειώνεται των χειμώνα. Το εύρος των θερμοκρασιακών διαφορών είναι μικρό και αυτό ήταν αναμενόμενο μιας και η περιοχή μας έχει Μεσογειακό υγρό κλίμα (Λέκκας, 2004). Η μέγιστη μέση ημερήσια θερμοκρασία, για το έτος 2005, παρατηρείται στις 20/7 (32,5 °C), τιμή πολύ χαμηλή για απόλυτο μέγιστο καλοκαιριού ενώ και η αντίστοιχη μέγιστη τιμή για το 2006, η οποία καταγράφηκε στις 22/8 (31,1 °C), είναι πολύ χαμηλή (Ο μετεωρολογικός σταθμός της Ε.Μ.Υ στην Σούδα έχει καταγράψει απόλυτη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία 44,5 °C το 1973).

Παρακάτω στο ραβδόγραμμα (εικόνα 15) φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για τη περίοδο μετρήσεων. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία σημειώνεται

και τις δύο χρονιές τον μήνα Αύγουστο ενώ η ελάχιστη μέση θερμοκρασία τον μήνα Ιανουάριο. Το θερμομετρικό εύρος μεταξύ του μήνα με την μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία και τον μήνα με την ελάχιστη μέση θερμοκρασία είναι 17 °C. Στην εικόνα 16 παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες την περίοδο μετρήσεων που καταγράφηκαν από το σταθμό του Ακρωτηρίου σε σχέση με τις μέσες μηνιαίες τιμές για την περίοδο 1953-1997 που καταγράφηκαν από τον σταθμό της Σούδας. Παρατηρούμε την ίδια τάση στην διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του έτους. Γενικά ο σταθμός του Ακρωτηρίου καταγράφει μεγαλύτερες μέσες θερμοκρασίες για όλους τους μήνες εκτός από τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.



Εικόνα 13: Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για την περίοδο μετρήσεων.



Εικόνα 14: Σύγκριση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας στους σταθμούς Σούδας και Ακρωτηρίου για την περίοδο μετρήσεων.

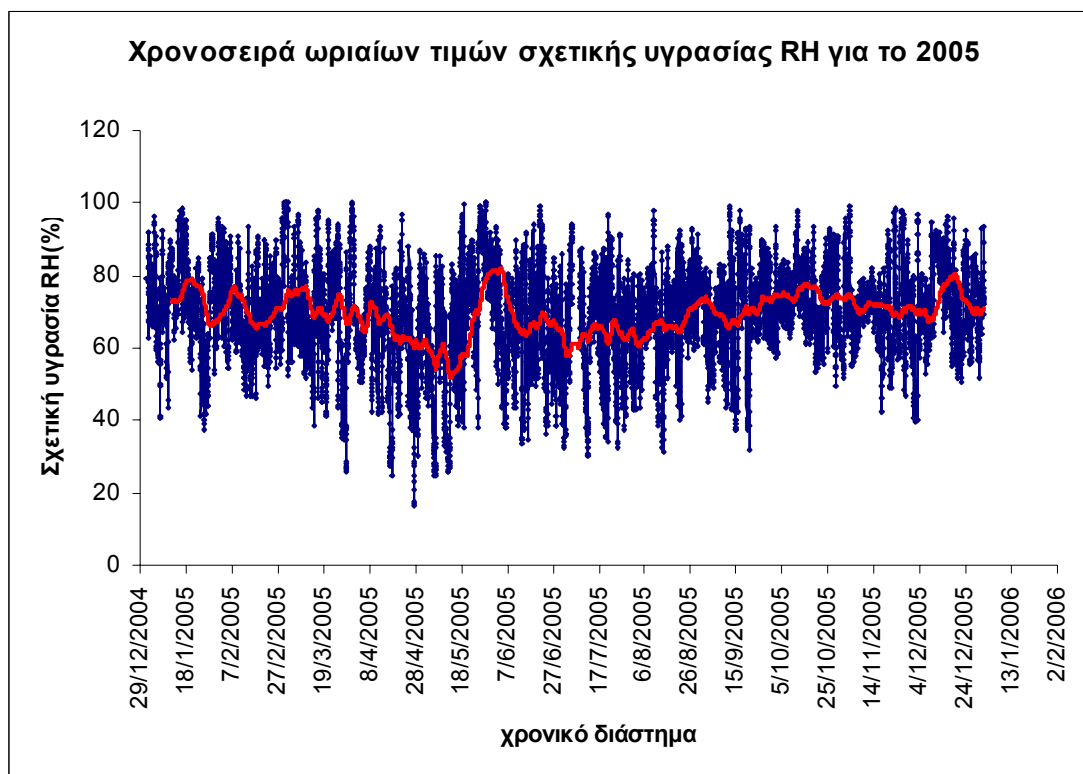
7.2 Σχετική Υγρασία

Σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχονται σε ένα καθορισμένο όγκο αέρα προς την μάζα των υδρατμών που θα βρισκόταν στον όγκο αυτό εάν ήταν κορεσμένος από υδρατμούς κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Οι μετεωρολογικές παράμετροι σε μία περιοχή επηρεάζουν την ημερήσια μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Fisher κ.α., 2003). Στον σταθμό του Ακρωτηρίου καταγράφονται οι τιμές της σχετικής υγρασίας με χρονικό διάστημα μεταξύ τους τα δεκαπέντε (15) λεπτά. Παρακάτω στα διαγράμματα (εικόνες 17 και 18) παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές σχετικής υγρασίας για το 2005 και το 2006 αντίστοιχα. Στα διαγράμματα έχει υπολογιστεί και ο κινούμενος μέσος όρος των τιμών, με διάστημα δέκα (10) ημερών, και αυτό γίνεται γιατί τα δεδομένα μας έχουν έντονες διακυμάνσεις και δεν φαίνεται να έχουν κάποια τάση.

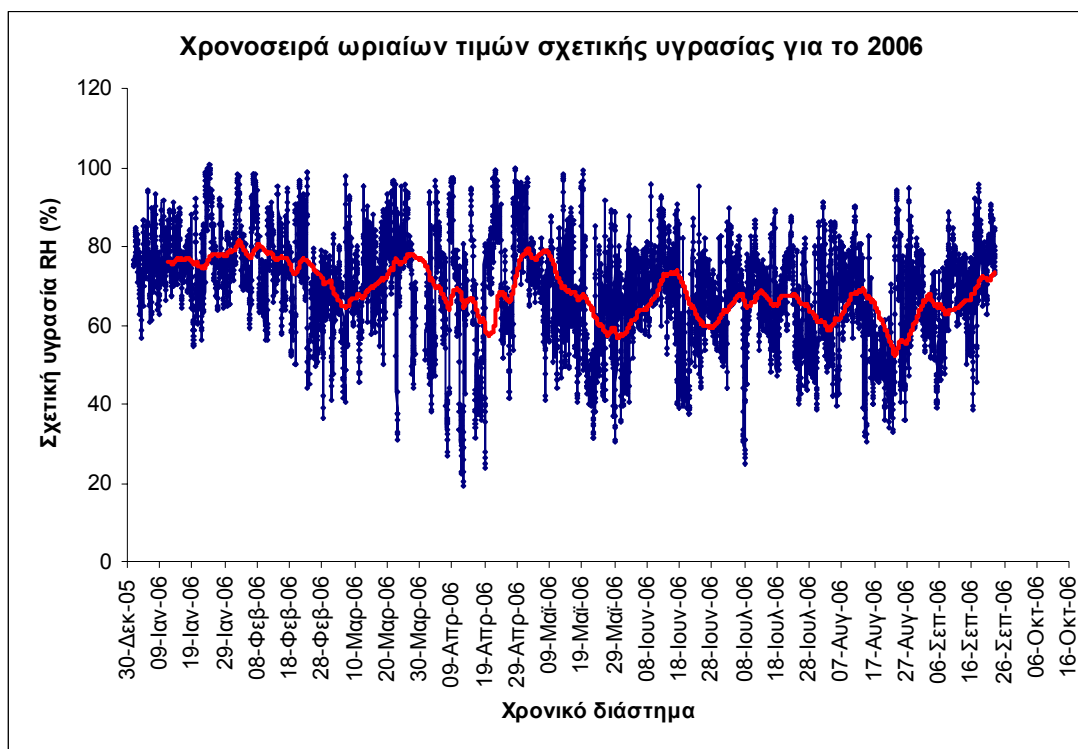
Κύρια πηγή των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι η θάλασσα. Ο σταθμός βρίσκεται κοντά στην θάλασσα (απέχει περίπου 1,5 χιλιόμετρα) και για τον λόγο αυτό

αναμένουμε υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας (Ahrens, 1994). Πράγματι το έτος 2005, για την πλειοψηφία των ημερών (344), καταγράφηκε σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 50% ενώ πολλές μέρες η τιμή πλησίασε και το 100%.



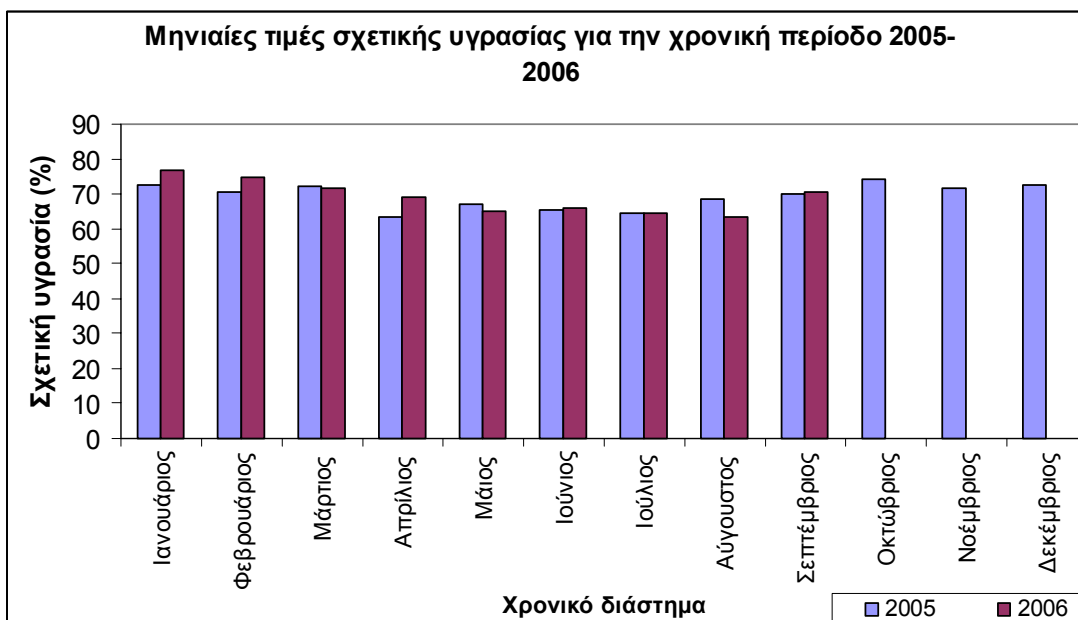
Εικόνα 17: Χρονοσειρά ωριαίων τιμών σχετικής υγρασίας για το 2005.

Οι μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας παρατηρούνται κυρίως την εποχή του Χειμώνα και της Άνοιξης. Οι ελάχιστες τιμές στις 28/3/2005 (41,38%), 17/4/2005 (41,84%) και 20/6/2006 (42,46%) συνδέονται με πνοή νότιων ανέμων, έλευση θερμών αέριων μαζών από την Αφρική και έντονα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα (Sahara dust events).



Εικόνα 18: Χρονοσειρά ωριαίων τιμών σχετική υγρασίας για την περίοδο 2006.

Παρακάτω στο ραβδόγραμμα (εικόνα 19) παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας για την περίοδο μελέτης μας.

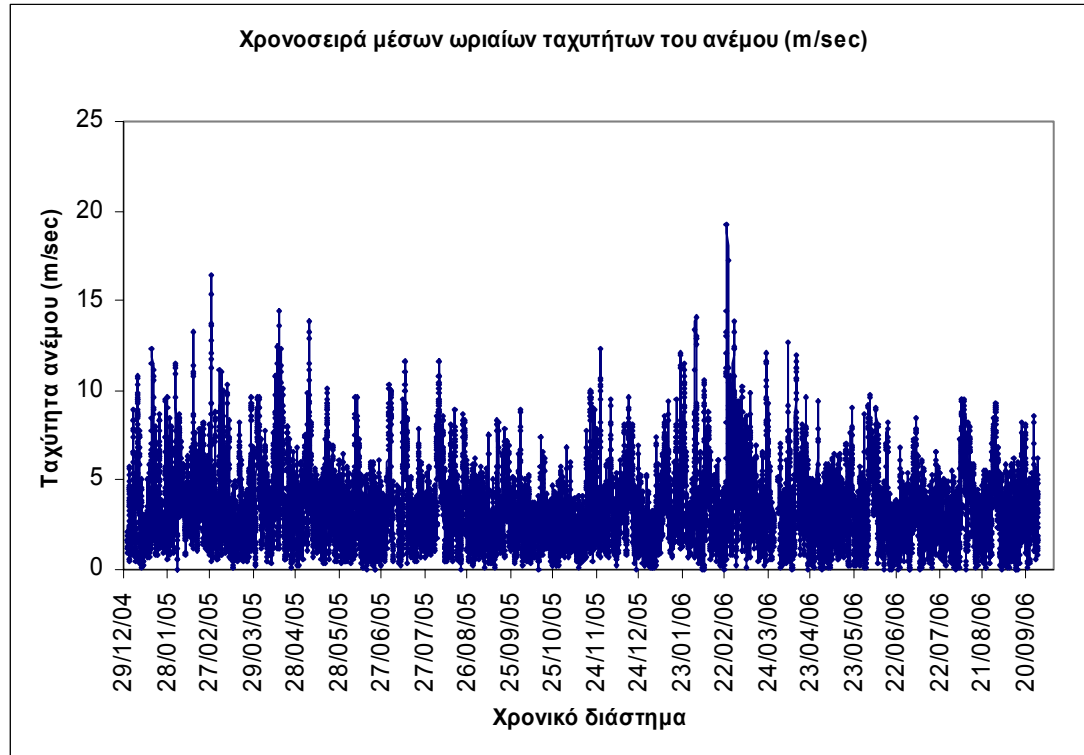


Εικόνα 19: Μέσες μηνιαίες τιμές υγρασίας για την περίοδο μετρήσεων.

Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή σχετικής υγρασίας παρατηρείται τον Ιανουάριο του 2006 (76,69%) και η ελάχιστη τιμή τον Αύγουστο του 2006 (63,30%). Όπως αναμενόταν οι τιμές για τους μήνες του Χειμώνα είναι υψηλότερες από αυτές του Καλοκαιριού. Πρέπει ακόμη να παρατηρήσουμε τις πολύ υψηλές μέσες τιμές σχετικής υγρασίας για τους μήνες της Άνοιξης, κυρίως τον Μάρτιο και τον Απρίλιο (~70%). Από την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων προηγούμενων ετών για την περιοχή (2003-2004), οι ανοιξιάτικοι μήνες παρουσιάζουν και εκεί πολύ υψηλές τιμές (Απρίλιος 2003 – σχετική υγρασία περίπου 80%) (Βουλγαράκης, 2004).

7.3 Ταχύτητα του ανέμου

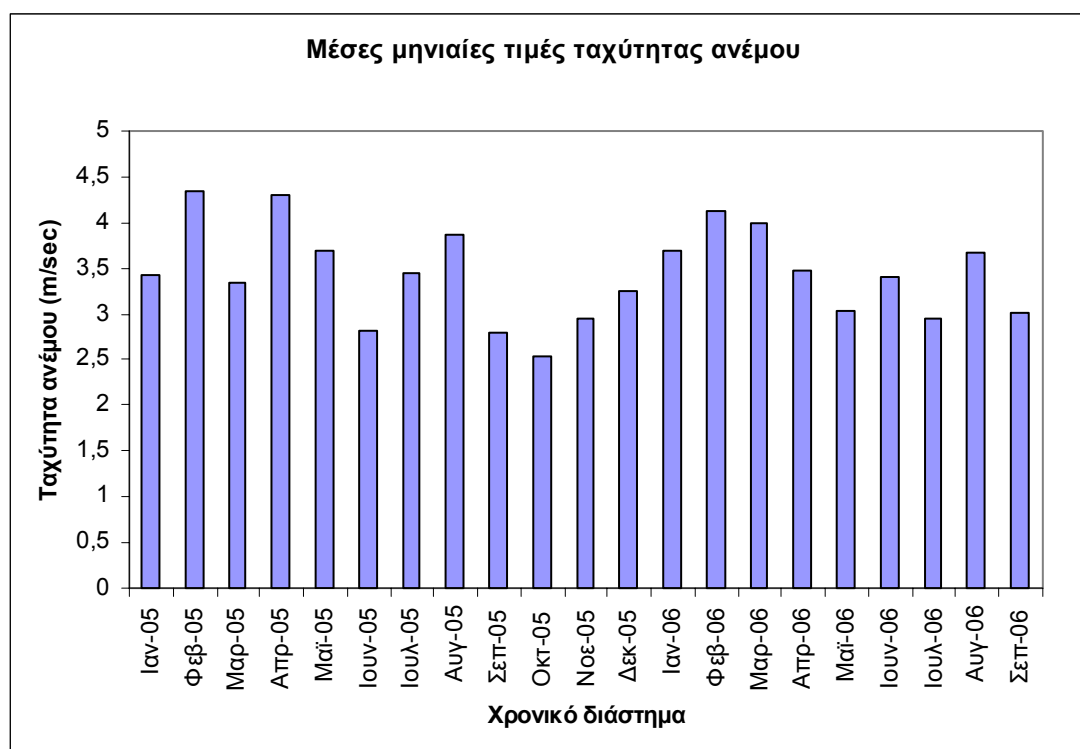
Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 20), φαίνονται οι μέσες ωριαίες τιμές για την ταχύτητα του ανέμου για την χρονική περίοδο 2005-2006. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν τον Ιανουάριο του 2005 και σταμάτησαν τον Σεπτέμβριο του 2006. Το όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου λάμβανε δεδομένα κάθε δεκαπέντε (15) λεπτά.



Εικόνα 20: Χρονοσειρά ωριαίων τιμών ταχύτητας ανέμου για την χρονική περίοδο 2005-2006.

Εξαιτίας της τοπογραφίας της περιοχής γύρω από τον σταθμό παρατηρούμε υψηλές τιμές στην ταχύτητα του ανέμου σε όλη την περίοδο μετρήσεων. Το απόλυτο μέγιστο της περιόδου εμφανίζεται στις 23/02/2006 (μέγιστη ωριαία τιμή ημέρας 20 m/sec). Για το 2006 το 40% των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου με τιμή μεγαλύτερη των 10 m/sec προέρχεται από ανέμους που έχουν δυτικές διευθύνσεις. Ακόμα πρέπει να παρατηρήσουμε πως για το έτος 2005, χρονιά για την οποία έχουμε δεδομένα για όλους τους μήνες, το ποσοστό των ανέμων με ταχύτητες μικρότερες των 0,3 m/sec (άπνοια – 0 Beaufort) είναι της τάξης του 1%. Τέλος από τη μελέτη των δεδομένων, προκύπτει ότι ο άνεμος έχει μεγαλύτερες ταχύτητες κατά τη διάρκεια της ημέρας και μικρότερες τη νύχτα.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 21).



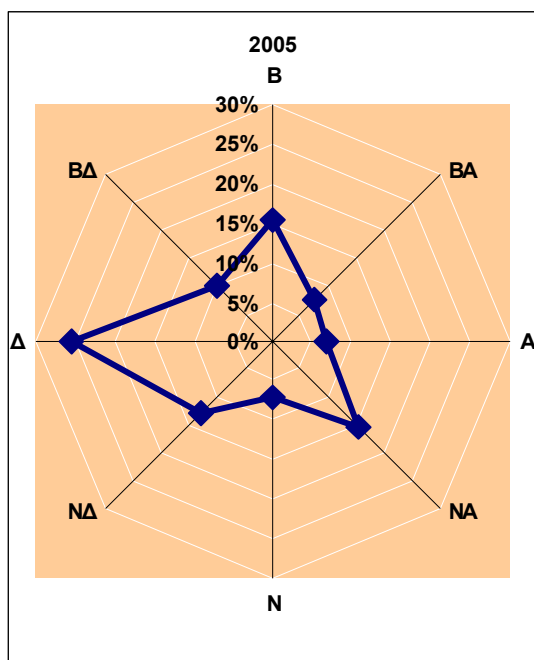
Εικόνα 21: Μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου για την περίοδο μετρήσεων 1/2005-9/2006.

Οι μήνες με τις μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες ανέμου είναι κατά σειρά ο Φεβρουάριος του 2005 (4,35 m/sec) ενώ ακολουθούν ο Απρίλιος του 2005 (4,31

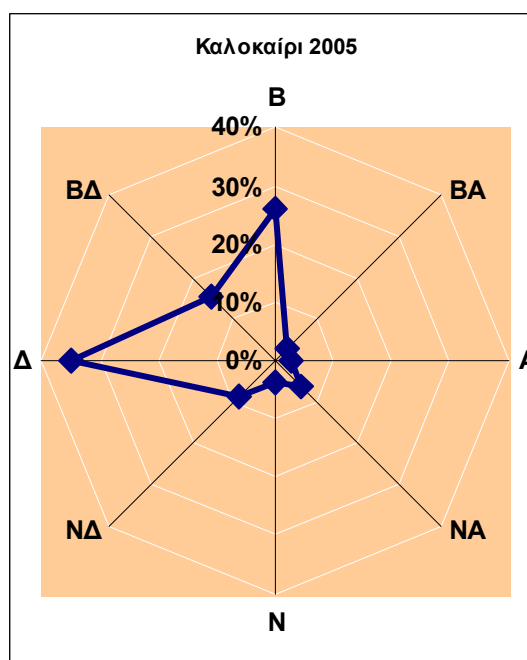
m/sec) και ο Φεβρουάριος του 2006 (4,12 m/sec). Ο μήνας με την μικρότερη μέση ταχύτητα ανέμου για την περίοδο των μετρήσεων ήταν ο Οκτώβριος του 2005 (2,52 m/sec). Οι μέσες ταχύτητες ανέμου τους χειμερινούς μήνες δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά από αυτές τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό εν μέρει εξηγείται από την εμφάνιση των μελετεμιών (εποχικοί άνεμοι) κατά την περίοδο του καλοκαιριού και συγκεκριμένα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Έτσι, η μέση τιμή ταχύτητας ανέμου τον μήνα Αύγουστο (3,86 m/sec για το 2005 και 3,68 m/sec για το 2006) παρατηρούμε πως είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή όλης της περιόδου (3,43 m/sec).

7.4 Κατεύθυνση του ανέμου

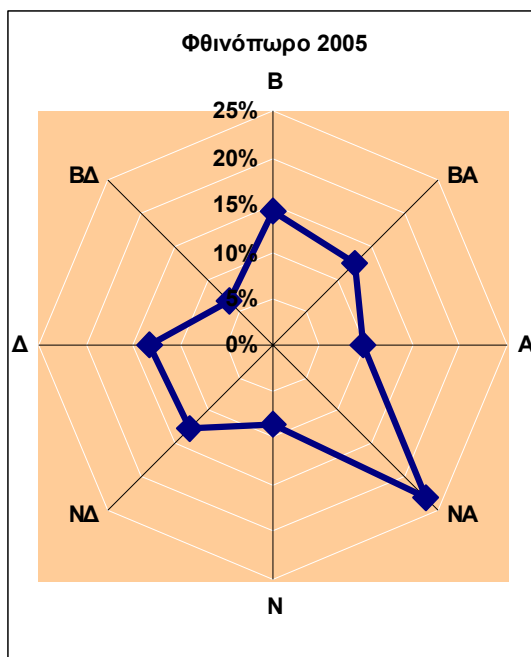
Το εύρος τιμών για την κατεύθυνση του ανέμου είναι από 0° έως 360° μοίρες. Στις 0° μοίρες αντιστοιχεί ο Βοράς και στις 180° μοίρες ο Νότος. Οι μετρήσεις λαμβάνονται με χρονικό διάστημα μεταξύ τους της τάξης των 15 λεπτών. Στα παρακάτω ροδογράμματα παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης του ανέμου ανά κατεύθυνση και ανά εποχή για το έτος 2005. Παρουσιάζεται επίσης η συνολική εικόνα της κατεύθυνσης των ανέμων για το 2005. Ακολουθούν τα ροδογράμματα διεύθυνσης ανέμου για το 2005 (εικόνες 22-27).



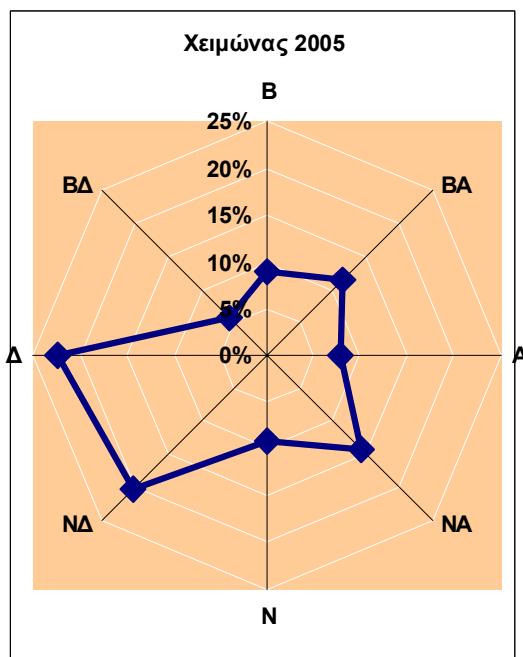
Εικόνα 22: Ροδογράμμα Έτους 2005.



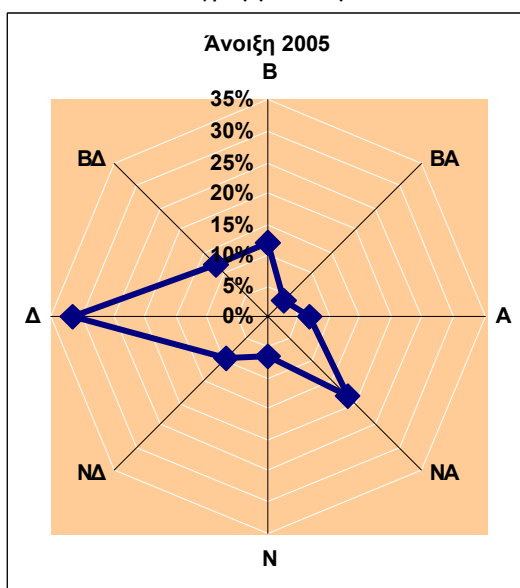
Εικόνα 23: Ροδογράμμα Καλοκαιριού.



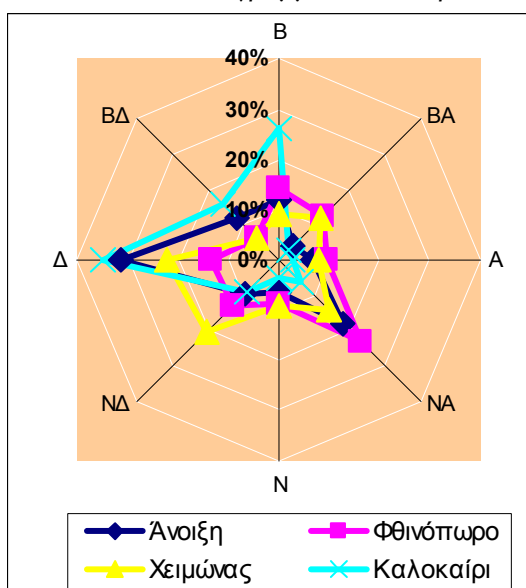
Εικόνα 24: Ροδόγραμμα Χειμώνα.



Εικόνα 25: Ροδόγραμμα Φθινοπώρου.



Εικόνα 26: Ροδόγραμμα Άνοιξης.



Εικόνα 27: Συγκριτικό ροδόγραμμα εποχών.

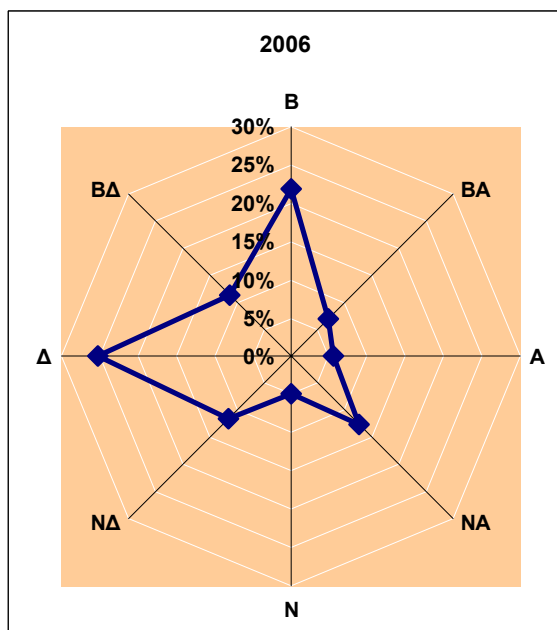
Όπως παρατηρούμε για το καλοκαίρι του 2005 έχουμε συχνότερη εμφάνιση ανέμων με δυτική και βόρεια διεύθυνση. Το συνολικό ποσοστό εμφάνισης ανέμων με αυτές τις διευθύνσεις φτάνει το 75,9%. Τα αποτελέσματα μας συμφωνούν απόλυτα με αυτά για το 2004, έτος για το οποίο το συνολικό ποσοστό εμφάνισης ανέμων με βόρεια και δυτική διεύθυνση ήταν 76% (Βουλγαράκης, 2004). Η συχνή εμφάνιση ανέμων με βόρεια διεύθυνση εξηγείται από το γεγονός πως την συγκεκριμένη εποχή πνέουν στην περιοχή μελέτης τα μελέμια (ετησίες), άνεμοι βόρειας κυρίως διεύθυνσης. Χαμηλά ποσοστά εμφανίζουν οι άνεμοι που πνέουν από νότιες και ανατολικές διευθύνσεις.

Το φθινόπωρο έχουμε επικράτηση των Νότιο-Ανατολικών ανέμων με ποσοστό 23%. Παρατηρούμε σημαντική μείωση του ποσοστού των ανέμων που πνέουν από βόρεια διεύθυνση (ποσοστό 14,2%). Γενικά η εποχή αυτή παρουσιάζει μια πιο ισορροπημένη εικόνα ως προς τα ποσοστά εμφάνισης ανέμων ανά κατεύθυνση σε σχέση με το καλοκαίρι.

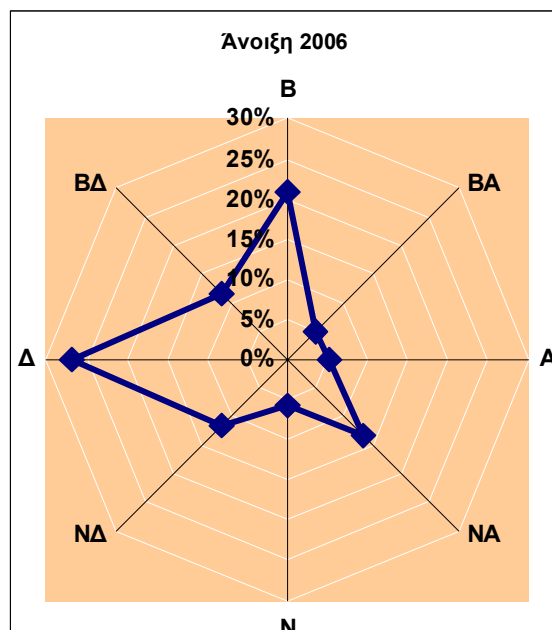
Τον χειμώνα επικρατούν οι Δυτικοί και Νότιο-Δυτικοί άνεμοι (συνολικό ποσοστό 42,68%). Υποχωρούν ακόμη περισσότερο οι άνεμοι με βόρεια διεύθυνση σε σχέση με το φθινόπωρο (9,02%). Τα ποσοστά εμφάνισης των Νότιων ανέμων είναι χαμηλά, κάτι που παρατηρείται όχι μονάχα κατά την διάρκεια του χειμώνα αλλά για όλο το 2005. Τέλος για την εποχή της Άνοιξης παρατηρούμε μια καθολική επικράτηση των Δυτικών ανέμων με ποσοστό 31,38%. Συνολικά για το έτος 2005 πνέουν συχνότερα άνεμοι με δυτική διεύθυνση σε ποσοστό 25,48% ενώ το μικρότερο ποσοστό το συναντάμε για άνεμους με ανατολική διεύθυνση με αντίστοιχο ποσοστό 6,77%.

Στα ροδογράμματα παρατηρούμε ένα υψηλό ποσοστό ανέμων που πνέουν από νότιο-ανατολική διεύθυνση στην περιοχή του Πολυτεχνείου (ποσοστό 15,27%) ενώ τα δεδομένα της Ε.Μ.Υ. για την περιοχή της Σούδας δίνουν μέσο ποσοστό εμφάνισης μέσα στο χρόνο 4,19% (για μετρήσεις το χρονικό διάστημα 1958-1993; Βουλγαράκης κ.α., 2004). Η σημαντική αυτή διαφορά ίσως να οφείλεται στην ύπαρξη του κτιρίου των ΜΗΧ.Ο.Π. (ύψος κτιρίου 15 μέτρα). Η θέση στην οποία βρίσκεται μπορεί να επηρεάζει την διεύθυνση των νότιων ανέμων και τελικά να καταγράφονται από τον σταθμό σαν άνεμοι με νότιο-ανατολική διεύθυνση.

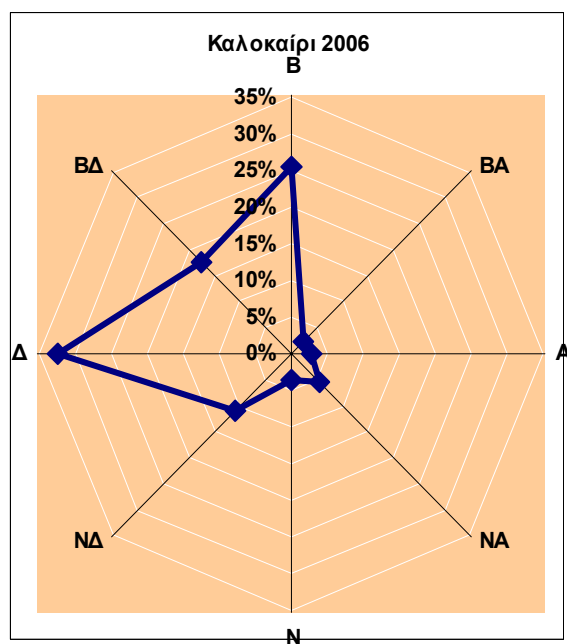
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ροδογράμματα για το έτος 2006 (εικόνες 28 - 30).



Εικόνα 28: Ροδόγραμμα Έτους 2006.



Εικόνα 29: Ροδόγραμμα Άνοιξης.



Εικόνα 30: Ροδόγραμμα Καλοκαιριού.

Οι μετρήσεις για το έτος αυτό σταμάτησαν τον Σεπτέμβριο και δεν μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τον Χειμώνα και το Φθινόπωρο. Εντούτοις για το καλοκαίρι και την Άνοιξη που έχουμε δεδομένα παρατηρούμε πως τα ποσοστά εμφάνισης των ανέμων ανά κατεύθυνση συμφωνούν με αυτά για το 2005. Για το καλοκαίρι του 2006 έχουμε ξανά επικράτηση των ανέμων με βόρεια και δυτική

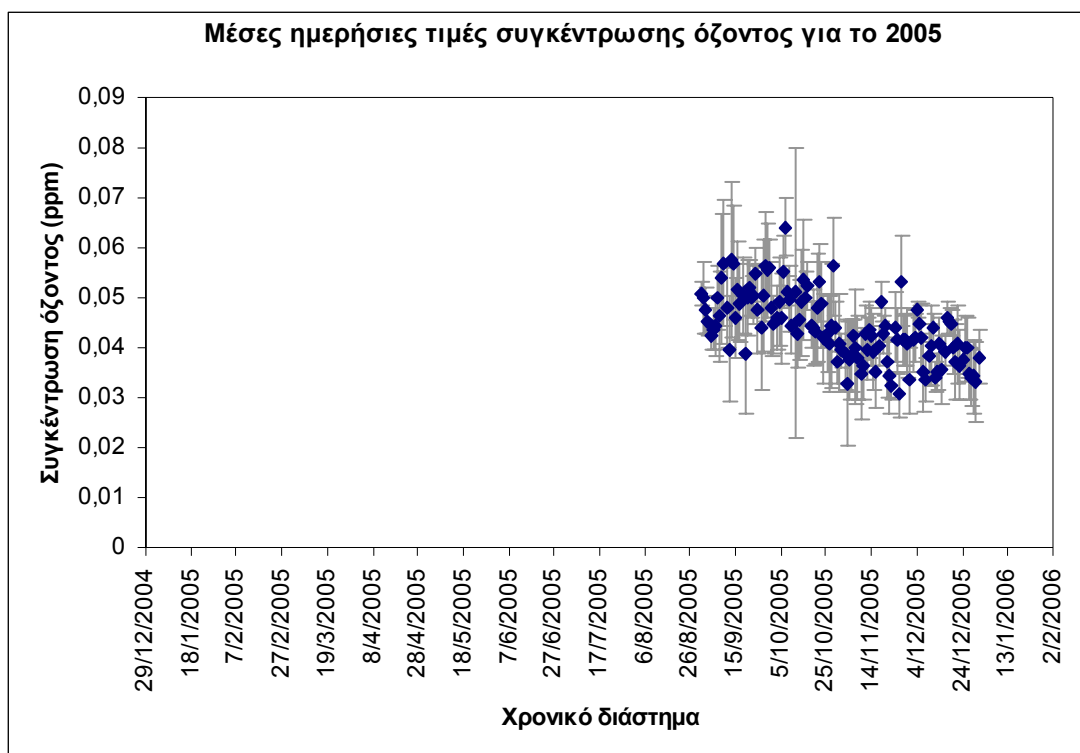
διεύθυνση (συνολικό ποσοστό 74,8%) και εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό για ανέμους που πνέουν με ανατολική και νότια διεύθυνση. Αντίστοιχα την Άνοιξη παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο ποσοστό το έχουν οι Δυτικοί άνεμοι (ποσοστό 26,69%) και το μικρότερο ποσοστό οι Βόρειο-Ανατολικοί άνεμοι (ποσοστό 4,92%).

8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ

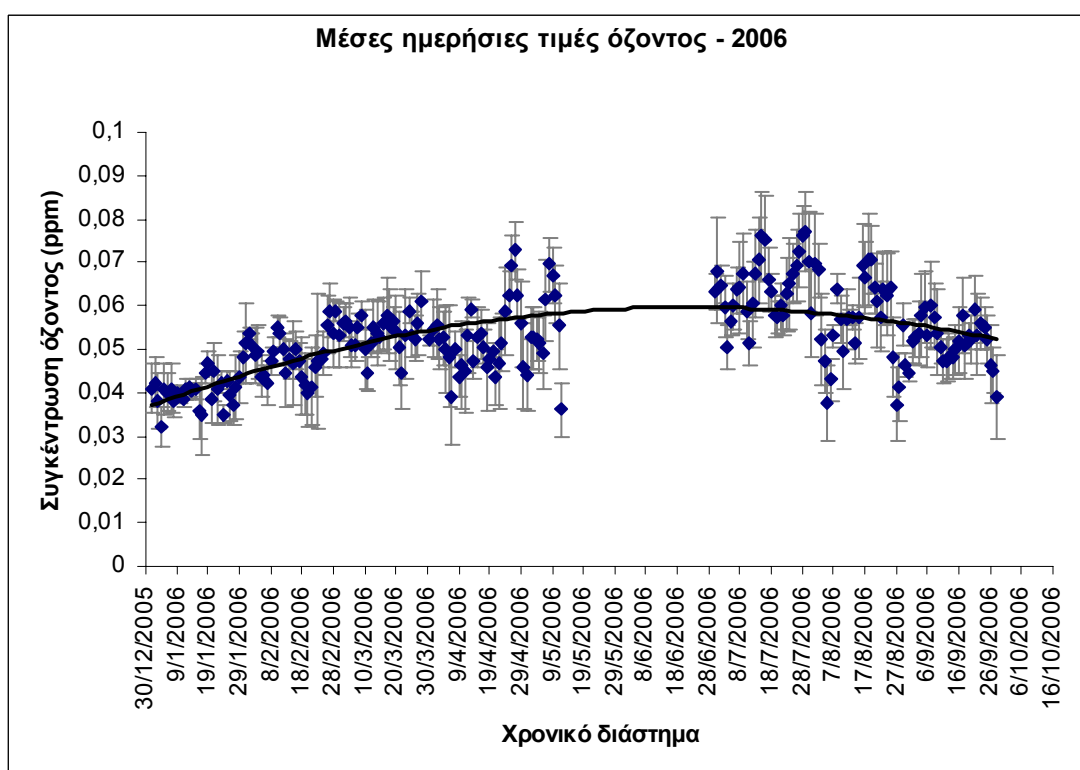
8.1 Εποχιακή διακύμανση όζοντος

Μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις του όζοντος στον σταθμό του Πολυτεχνείου πραγματοποιούνται από το Δεκέμβριο του 2001. Από τότε μέχρι τον Δεκέμβριο του 2004 υπάρχουν συνεχή δεδομένα, με κάποιες διακοπές εξαιτίας βλαβών του οργάνου μέτρησης ή διακοπών της παροχής ρεύματος. Από την 1/1/2005 μέχρι τις 31/08/2005 δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις συγκέντρωσης του όζοντος. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 31/8/2005 και συνεχίστηκαν μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2006 με μια διακοπή την χρονική περίοδο 12/05 - 30/06 λόγω βλάβης του μετρητή. Οι τιμές των συγκεντρώσεων του όζοντος λαμβάνονται με διάστημα 15 λεπτών μεταξύ τους και βάση αυτών υπολογίστηκαν οι μέσες ωριαίες. Από τις μέσες ωριαίες υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές. Παρακάτω στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης όζοντος για το 2005 (31/08-31/12) (εικόνα 31).

Η μέγιστη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης όζοντος για αυτή την περίοδο εμφανίστηκε στις 7/10 και είχε τιμή ίση με $0,064 \pm 0,006$ ppm. Η συγκέντρωση αυτή είναι αρκετά υψηλή για την εποχή. Παρακάτω, στην ανάλυση των ρетроπορειών (back trajectories), θα δούμε πως η υψηλή αυτή τιμή της συγκέντρωσης οφείλεται σε διασυννοριακή μεταφορά του ρύπου. Δυστυχώς για το 2005 δεν έχουμε μετρήσεις την περίοδο του καλοκαιριού, εποχή με έντονη φωτοχημική δραστηριότητα, που πιθανόν να συναντούσαμε ακόμα μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή εμφανίστηκε στις 26/11 και είχε τιμή ίση με $0,030 \pm 0,004$ ppm. Παρακάτω ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα για το 2006 (εικόνα 32).



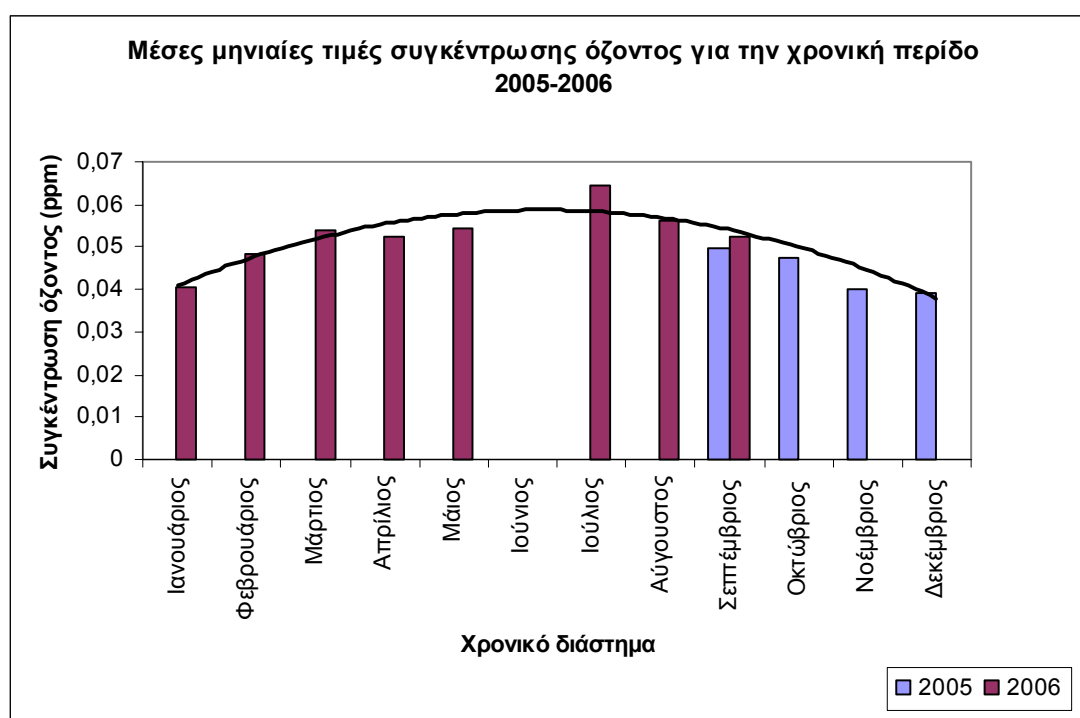
Εικόνα 31: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος (ppm) για το 2005.



Εικόνα 32: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος (ppm) για το 2006(1/1-29/9).

Η μέγιστη μέση ημερήσια τιμή για την περίοδο αυτή είναι ίση με $0,077 \pm 0,009$ ppm και εμφανίζεται στις 29/07. Γενικά το τριήμερο από τις 27/07 έως τις

29/07 έχουμε από τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος για όλο το 2006. Από την ανάλυση των ρετροπορειών των αερίων μαζών (κεφάλαιο 10.1), παρατηρούμε πως ο άνεμος στις 28-29/9 πνέει από βόρειο-ανατολική κατεύθυνση και είναι πιθανόν οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος να μεταφέρθηκαν από την Κωνσταντινούπολη και την Αθήνα, αστικά περιβάλλοντα με επιβαρημένη ατμόσφαιρα. Μπορεί να είχαμε και μεταφορά του ίδιου του ρύπου (O_3) αφού η διάρκεια ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι περίπου μία εβδομάδα (Seinfeld και Pandis, 1998). Η χαμηλότερη συγκέντρωση, με τιμή $0,032 \pm 0,004$ ppm σημειώθηκε στις 04/01. Το ραβδόγραμμα που ακολουθεί (εικόνα 33) μας δείχνει τις μέσες μηνιαίες τιμές του όζοντος για την χρονική περίοδο που πραγματοποιήσαμε τις μετρήσεις.



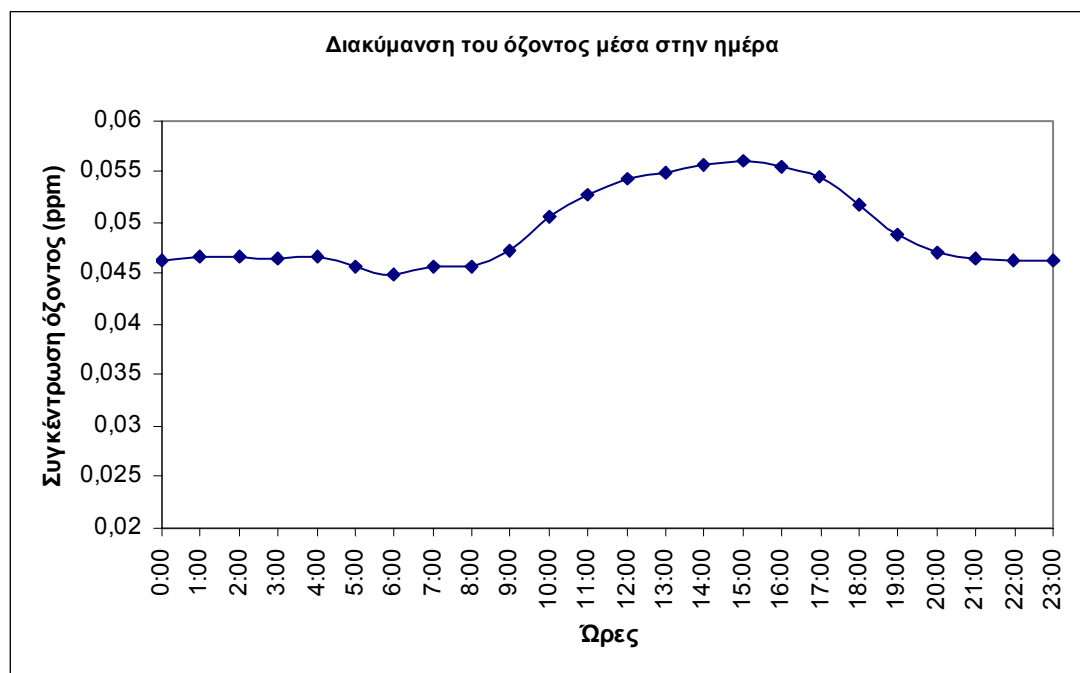
Εικόνα 33: Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος (ppm) για την χρονική περίοδο μετρήσεων.

Με την βοήθεια της γραμμής στο διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε μία τάση αύξησης της συγκέντρωσης του όζοντος τους θερινούς μήνες και μείωσής του τους χειμερινούς μήνες. Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή συγκέντρωσης του όζοντος εμφανίζεται τον Ιούλιο (0,064 ppm) και η ελάχιστη τον Δεκέμβριο (0,039 ppm). Τον Χειμώνα υπάρχει περιορισμένη ηλιοφάνεια και έχουμε συχνά φαινόμενα υετού, με αποτέλεσμα οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος να υφίστανται απόπλυση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η συγκέντρωση του όζοντος να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα.

Αντίθετα το καλοκαίρι λόγω της έντονης ηλιοφάνειας ευνοείται η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος. Το καλοκαίρι μάλιστα έχουμε καθολική επικράτηση ανέμων που πνέουν με βόρειες (εμφάνιση μελτεμιών) και δυτικές διευθύνσεις με αποτέλεσμα την μεταφορά του όζοντος από την κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια.

8.2 Ημερήσια διακύμανση

Για την μελέτη της πορείας του όζοντος κατά την διάρκεια της ημέρας κατασκευάστηκε το παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 34). Σαν δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες ωριαίες τιμές για την συγκέντρωση του όζοντος από ολόκληρη την χρονική περίοδο των μετρήσεων. Δυστυχώς και για το 2005 και για το 2006 δεν έχουμε διαθέσιμα δεδομένα για τον μήνα Μάιο.



Εικόνα 34: Μέσες τιμές όζοντος για τις διάφορες ώρες της ημέρας (2006).

Παρατηρώντας το διάγραμμα διαπιστώνουμε αύξηση των τιμών συγκέντρωσης του όζοντος κατά την διάρκεια της ημέρας και μείωση κατά την διάρκεια της νύχτας. Η μέγιστη συγκέντρωση όζοντος σημειώνεται στις 3:00 το μεσημέρι και η ελάχιστη συγκέντρωση στις 6:00 το πρωί. Την ώρα που σημειώνεται η μέγιστη συγκέντρωση έχει ολοκληρωθεί η παραγωγή του όζοντος μέσω των φωτοχημικών αντιδράσεων. Σε αντιδιαστολή τις νυχτερινές ώρες έχουμε την απουσία

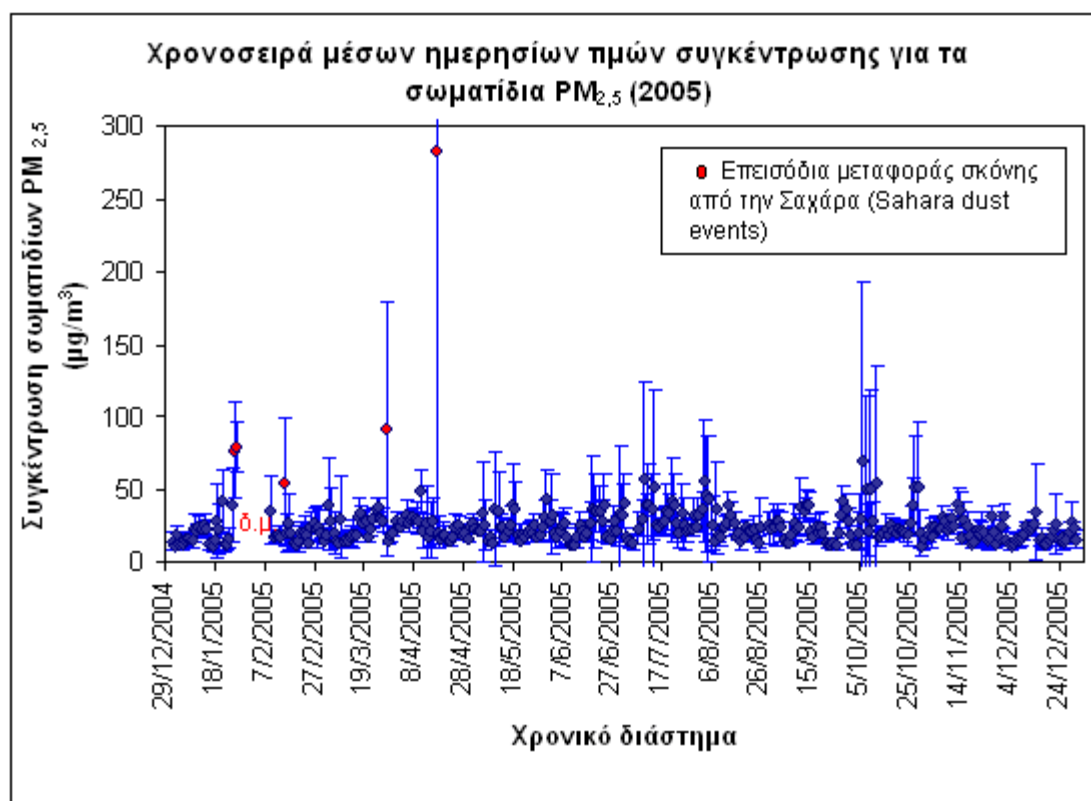
της ηλιακής ακτινοβολίας για να μπορέσει να παραχθεί φωτοχημικά το όζον. Επιπλέον εξαιτίας της θερμοκρασιακής αναστροφής κατά την διάρκεια της νύχτας εμποδίζεται η μεταφορά του όζοντος από μεγαλύτερα ύψη.

Μια σημαντική παρατήρηση στο διάγραμμα είναι πως ενώ μετά τις 6:00 το πρωί, ώρα που εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή συγκέντρωσης, η συγκέντρωση αυξάνεται μέχρι τις 7:00 στην συνέχεια έχει μια σταθερή τιμή μέχρι τις 8:00. Θα περιμέναμε να έχει μια αυξητική πορεία αφού υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και γίνεται παραγωγή O_3 μέσω των φωτοχημικών αντιδράσεων. Μία πιθανή εξήγηση που ανακόπτει αυτή την ανοδική πορεία στην συγκέντρωση του όζοντος είναι το γεγονός πως στις 7:00 το πρωί έχουμε σημαντική κίνηση των αυτοκινήτων στους δρόμους της περιοχής. Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) που παράγονται οδηγούν στην καταστροφή του όζοντος (NO -αντίδραση R5). (Κουβαράκης, 2002). Σε αντίστοιχη μελέτη στην ίδια περιοχή για την διακύμανση του όζοντος μέσα στην ημέρα, είχε βρεθεί πως η ελάχιστη μέση συγκέντρωση όζοντος παρατηρείται στις 8:00 το πρωί (Βουλγαράκης, 2004).

9. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

9.1 Παρουσίαση μετρήσεων $PM_{2,5}$

Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 35) παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης για τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι $2,5\mu m$ ($PM_{2,5}$). Το χρονικό διάστημα που έχει χρησιμοποιηθεί μεταξύ των μετρήσεων είναι τα δεκαπέντε (15) λεπτά. Τα χρονικά διαστήματα 27/1-10/2, 21-22/8 και 27/8-29/8 οι συγκεντρώσεις των $PM_{2,5}$ δεν μετρήθηκαν (δ.μ. στο διάγραμμα) εξαιτίας βλάβης στο όργανο μετρήσεων. Το τριήμερο 5/7-8/7 είχε τεθεί όλος ο μετεωρολογικός σταθμός εκτός λειτουργίας για τον λόγο αυτό δεν έγινε καταγραφή δεδομένων αυτή την περίοδο. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται και η στατιστική παράμετρος διασποράς δεδομένων (τυπική απόκλιση-standard deviation) κάθε ημερήσιας τιμής που έχει υπολογιστεί από τις αντίστοιχες μέσες ωριαίες τιμές.



Εικόνα 35: Χρονοσειρά μέσων ημερησίων τιμών συγκέντρωσης για σωματίδια $PM_{2,5}$ (2005).

Η μέση τιμή που προκύπτει για την συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ για το 2005 είναι $25,56 \mu g/m^3$. Η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή για τα $PM_{2,5}$ εμφανίζεται στις 30/10 ($10,55 \pm 2,01 \mu g/m^3$).

Κατά την διάρκεια του έτους εμφανίζονται κάποιες πολύ υψηλές τιμές στη συγκέντρωση των $PM_{2,5}$. Μέσα στο 2005 συνέβησαν αρκετά επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα (Sahara dust events) και αυτά επηρέασαν τα επίπεδα συγκέντρωσης των $PM_{2,5}$, φαινόμενο που επιβεβαιώνεται και από παρόμοιες παρατηρήσεις στην Ισπανία (Rodriguez κ.α., 2004). Τα επεισόδια αυτά συνέβησαν στις 17/4, όπου η μέση ημερήσια συγκέντρωση έφτασε τα $281,57 \pm 267,10 \mu g/m^3$, στις 15/2 ($54,63 \pm 43,71 \mu g/m^3$), στις 26/1 ($77,12 \pm 32,63 \mu g/m^3$) και στις 28/3 ($91,26 \pm 87,72 \mu g/m^3$). Η μεταφορά σκόνης από την Σαχάρα στην περιοχή της Κρήτης, τις παραπάνω ημερομηνίες, επιβεβαιώνεται και από τις υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{10} που καταγράφηκαν στους σταθμούς της Φοινοκαλιάς (17/4: $483,23 \mu g/m^3$, στις 15/2: $108,9 \mu g/m^3$, στις 26/1: $70,47 \mu g/m^3$ και στις 28/3: $74,33 \mu g/m^3$) και του Ηρακλείου (17/4: $429,54 \mu g/m^3$ και στις 28/3: $93,29 \mu g/m^3$) στην ανατολική Κρήτη (Lazaridis, κ.α., 2007). Τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα συνέβησαν τον

Χειμώνα και την Άνοιξη, αν και συνήθως τα παρατηρούμε την Άνοιξη και το Καλοκαίρι (Bergametti κ.α., 1989). Στις 17/4 μάλιστα από τις 13:30 έως τις 17:45 το απόγευμα καταγράφηκαν τιμές ίσες με $780 \mu\text{g}/\text{m}^3$, αριθμός που αποτελεί και το ανώτατο όριο καταγραφής του οργάνου. Είναι πιθανόν το χρονικό εκείνο διάστημα η πραγματική τιμή των αιωρούμενων σωματιδίων να ήταν ακόμα υψηλότερη. Από την ανάλυση της ρетроπορείας εκείνης της ημέρας διαπιστώνουμε πως ο άνεμος χρειάστηκε μονάχα μισή μέρα για να βρεθεί από την Αφρική πάνω από την περιοχή μελέτης μας. Αυτή η πολύ μικρή παραμονή του πάνω από την θάλασσα δεν βοήθησε στην εναπόθεση των αιωρούμενων σωματιδίων με συνέπεια σχεδόν το σύνολο των σωματιδίων να μεταφερθούν πάνω από την Κρήτη. Αξίζει να σημειώσουμε επίσης και την έντονη μεταβολή εκείνη την ημέρα στις υπόλοιπες μετεωρολογικές παραμέτρους. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας παρουσίασε άνοδο $3,3^\circ\text{C}$ σε σχέση με την τιμή της προηγούμενης ημέρας και η σχετική υγρασία έφτασε το 40%, όταν τις προηγούμενες μέρες κυμαινόταν στο 65-70%. Πάντως τα επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα είναι γεγονότα που συμβαίνουν αιφνίδια και η διάρκεια τους συνήθως δεν υπερβαίνει τις τρεις ημέρες. Στην περίπτωση του επεισοδίου που εξετάζουμε η διάρκεια του ήταν μία μέρα. Την επόμενη μέρα η μέση ημερήσια συγκέντρωση έπεσε στα $20,57 \pm 10,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε εδώ για τον προσδιορισμό των επεισοδίων σκόνης που συμβαίνουν εξαιτίας της μεταφοράς αερίων μαζών από την Αφρική περιλαμβάνει τα εξής βήματα. Αρχικά προσδιορίσαμε τις μέσες ημερήσιες τιμές της συγκέντρωσης των σωματιδίων με τιμή μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της περιόδου που εξετάζουμε (έτος). Στη συνέχεια για κάθε μέση ημερήσια τιμή που υπερβαίνει την μέση τιμή της περιόδου ελέγξαμε την ρетроπορεία του ανέμου για την ημέρα που σημειώθηκε η τιμή αλλά και για την αμέσως προηγούμενη αυτής για να δούμε αν όντως η αέρια μάζα μεταφέρθηκε από την Αφρική ή από περιοχές στις οποίες υπήρχε σκόνη από την Σαχάρα. Τέλος σαν επιβεβαίωση παρατηρήσαμε δορυφορικές φωτογραφίες (δορυφόρος Terra/Modis) πάνω από την περιοχή μελέτης για τις μέρες αυτές.

Στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 36) παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης των σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ για την χρονική περίοδο 2006. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τα χρονικά διαστήματα από 1/1/2006 έως 3/4/2006. Την ημέρα αυτή έγινε αλλαγή στην κεφαλή του οργάνου μέτρησης των

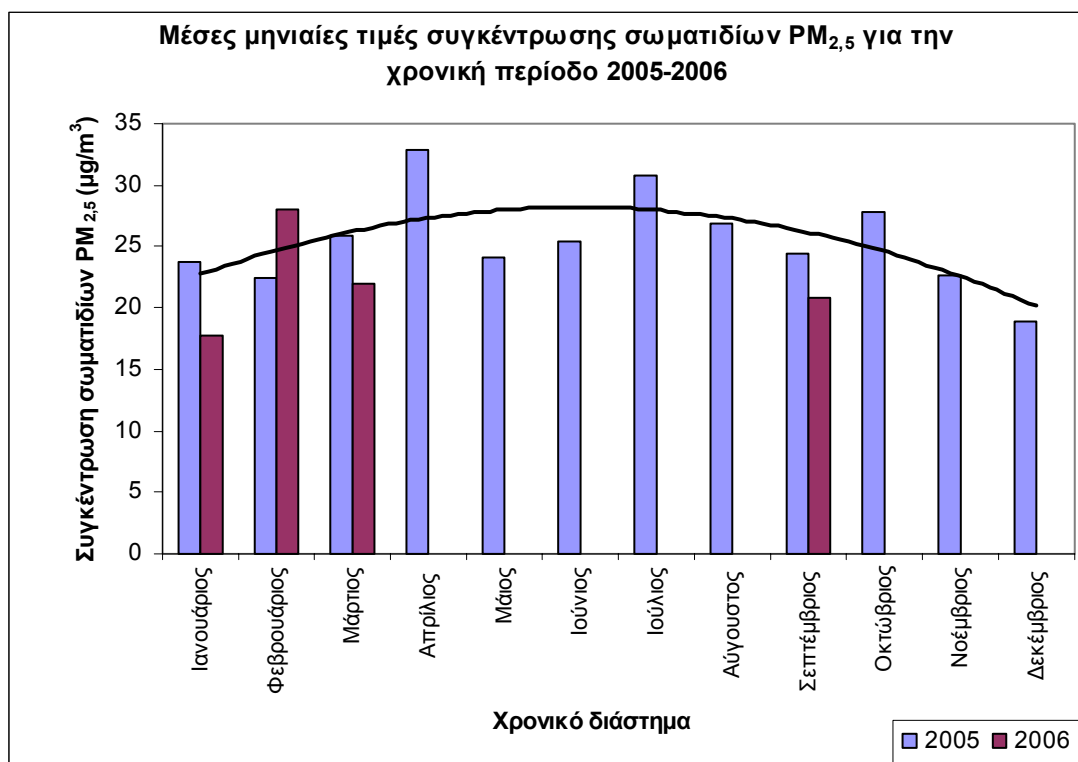
αιωρούμενων σωματιδίων για να έχει την δυνατότητα να μετράει αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι δέκα (10) μm (PM_{10}). Οι μετρήσεις των $\text{PM}_{2,5}$ ξανάρχισαν στις 15/9/2006 έως τις 28/9/2006. Οι μετρήσεις μας είναι περίπου για τέσσερις μήνες για το 2006 και δεν μπορούν να είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το έτος.



Εικόνα 36: Χρονοσειρά μέσων ημερησίων τιμών συγκέντρωσης για σωματίδια $\text{PM}_{2,5}$ (2006).

Η μέση τιμή συγκέντρωσης των $\text{PM}_{2,5}$ για το χρονικό διάστημα αυτό ήταν ίση με $22,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στις 24/2 συνέβη ένα επεισόδιο σκόνης από την Σαχάρα. Η μέση τιμή συγκέντρωσης των $\text{PM}_{2,5}$ για την ημέρα αυτή ήταν $199,26 \pm 229,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Άλλα επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα συνέβησαν στις 22/3 και στις 28/2 όποτε και καταγράφηκε μέση ημερήσια συγκέντρωση $\text{PM}_{2,5}$ ίση με $50,16 \pm 33,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $60,92 \pm 38,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, αντίστοιχα. Η ελάχιστη μέση ημερήσια συγκέντρωση καταγράφηκε στις 6/2, ημέρα με κακοκαιρία (θερμοκρασία $10,8^\circ \text{C}$ και σχετική υγρασία 90,2%), ίση με $11,08 \pm 3,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στην εικόνα 37 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης των $\text{PM}_{2,5}$ για τις χρονιές 2005 και 2006. Η γραμμή τάσης έχει σχεδιαστεί βάση μονάχα των δεδομένων για το 2005.



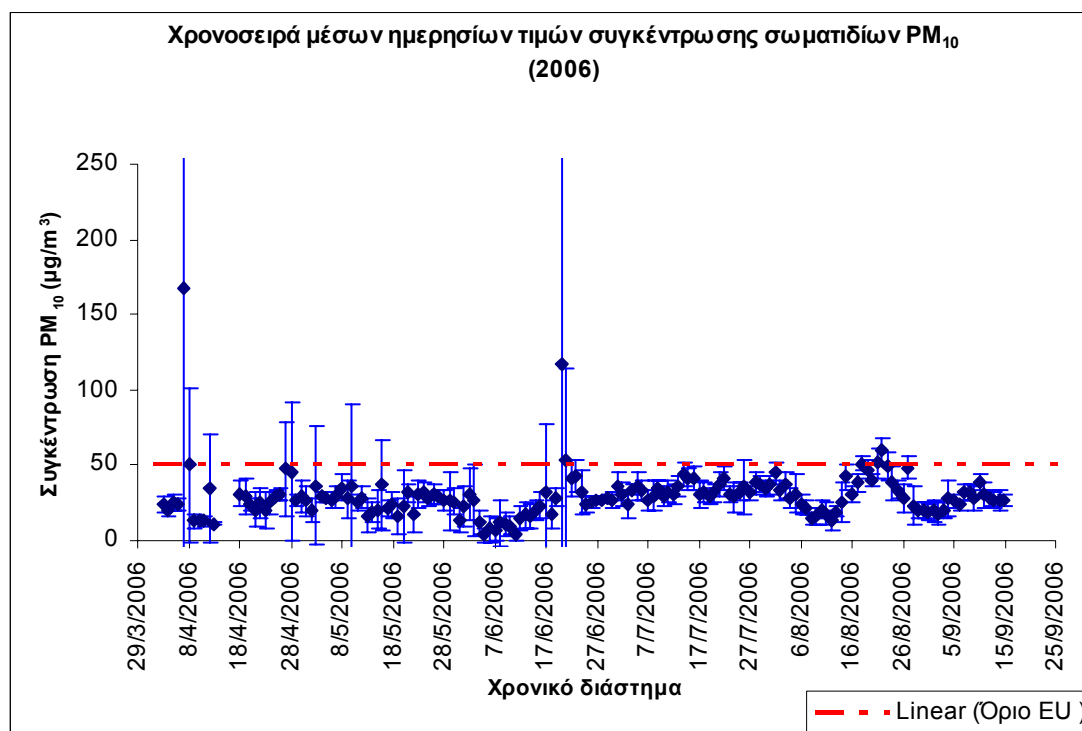
Εικόνα 37: Μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης για σωματίδια PM_{2,5} (2005-2006).

Παρατηρούμε μία τάση αύξησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} τους θερινούς μήνες και μείωσης τους χειμερινούς. Η μέγιστη μηνιαία συγκέντρωση εμφανίζεται τον Απρίλιο (32,86 µg/m³) και η ελάχιστη τον Δεκέμβριο (18,88 µg/m³). Αν και θα περιμέναμε η μέγιστη τιμή να εμφανιστεί το καλοκαίρι αυτό συμβαίνει γιατί στις 17/4 υπήρξε ένα πολύ έντονο επεισόδιο σκόνης από την Σαχάρα με συνέπεια να αυξάνει την μέση τιμή για τον μήνα Απρίλιο. Ο υπολογισμός της μέσης μηνιαίας συγκέντρωσης για τον Απρίλιο, εξαιρώντας την ακραία τιμή για τις 17/4, θα μας δώσει τιμή ίση με 24,29 µg/m³. Η ελάχιστη τιμή είναι αναμενόμενη αφού τον χειμώνα εξαιτίας του συχνού φαινομένου του νετού έχουμε υγρή εναπόθεση των σωματιδίων και γενικά μια πιο καθαρή ατμόσφαιρα από σωματίδια σε σχέση με τους άλλους μήνες (Dulac κ.α., 1987).

9.2 Παρουσίαση μετρήσεων PM₁₀

Οι μετρήσεις για αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ ξεκίνησαν στις 3/4/2006, ημέρα που τοποθετήθηκε στο όργανο καταγραφής των αιωρούμενων σωματιδίων η αντίστοιχη κεφαλή μέτρησης, και σταμάτησαν στις 15/9. Στο διάγραμμα (εικόνα 38) παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές που προέκυψαν για το χρονικό διάστημα

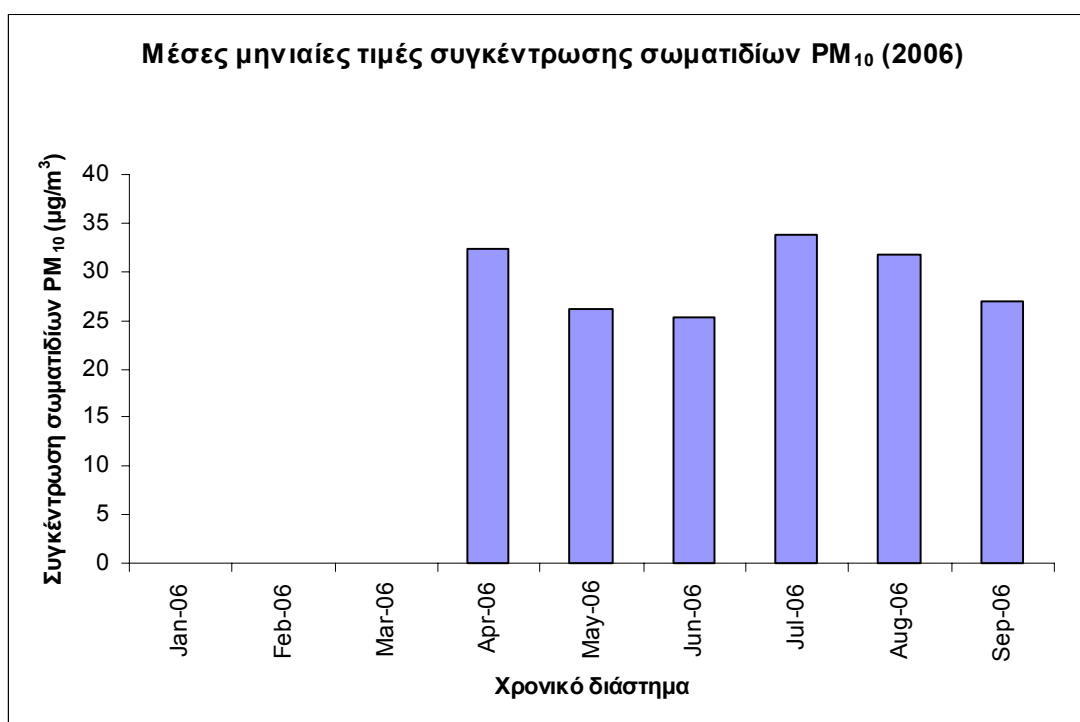
μετρήσεων. Έχει σχεδιαστεί και η τυπική απόκλιση (standard deviation) για κάθε ημερήσια τιμή καθώς και το ανώτατο όριο για την ημερήσια συγκέντρωση των PM_{10} που έχει ορίσει η Ε.Ε.



Εικόνα 38: Χρονοσειρά μέσων ημερησίων τιμών συγκέντρωσης για σωματίδια PM_{10} (3/4/2006- 15/9/2006).

Η μέγιστη μέση ημερήσια τιμή συγκέντρωσης PM_{10} για την περίοδο μελέτης εμφανίζεται στις 7/4 με τιμή $167,36 \pm 197,50 \mu g/m^3$. Πρόκειται για ένα έντονο επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Την ημέρα αυτή η ατμόσφαιρα ήταν πολύ επιβαρημένη από αιωρούμενα σωματίδια και υπήρχε μεγάλη μείωση της ορατότητας. Μάλιστα στις 17:00 το απόγευμα η μέση συγκέντρωση ήταν $743,5 \mu g/m^3$ τιμή πολύ μεγάλη ακόμα και για ένα τυπικό φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα (Rodriguez κ.α., 2002). Το φαινόμενο συνεχίστηκε ως το βράδυ με έντονη ξηρή εναπόθεση. Η ατμόσφαιρα ‘καθάρισε’ όμως με υγρή εναπόθεση ύστερα πιθανόν από φαινόμενο υετού που ξεκίνησε μετά τις 9:00 το βράδυ. Χαρακτηριστικά στις 21:00, πριν αρχίσει το φαινόμενο του υετού, η συγκέντρωση των σωματιδίων ήταν $274,25 \mu g/m^3$ και η σχετική υγρασία είχε τιμή 44,25%. Μετά από τρεις ώρες η συγκέντρωση των σωματιδίων είχε μειωθεί στα $37 \mu g/m^3$ και η σχετική υγρασία ήταν

93%. Πολύ υψηλή τιμή εμφανίστηκε και στις 20/6 ($117,65 \pm 151,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και πρόκειται ξανά για ένα επεισόδιο σκόνης. Γενικά γίνεται αντιληπτό πως η ατμόσφαιρα στην περιοχή μελέτης επηρεάζεται έντονα από το φυσικό φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Σε κοινό συμπέρασμα καταλήγουν και παρόμοιες μελέτες που έχουν γίνει για την νότια Ευρώπη (Rodriguez κ.α. , 2001; Querol κ.α. , 2004; Escudero κ.α. , 2005, Lazaridis κ.α., 2007). Συνολικά η μέση ημερήσια συγκέντρωση για PM_{10} στην περιοχή του Ακρωτηρίου υπερέβη το ανώτατο όριο που έχει ορίσει η Ε.Ε. (κοινή τιμή για το όριο έχει και ο W.H.O.; $50\mu\text{g}/\text{m}^3$) εφτά (7) φορές σε χρονικό διάστημα περίπου έξι (6) μηνών, όταν δεν θα πρέπει να το υπερβαίνει συνολικά 35 φορές το έτος. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές για την συγκέντρωση των PM_{10} για το 2006 (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) (εικόνα 39).

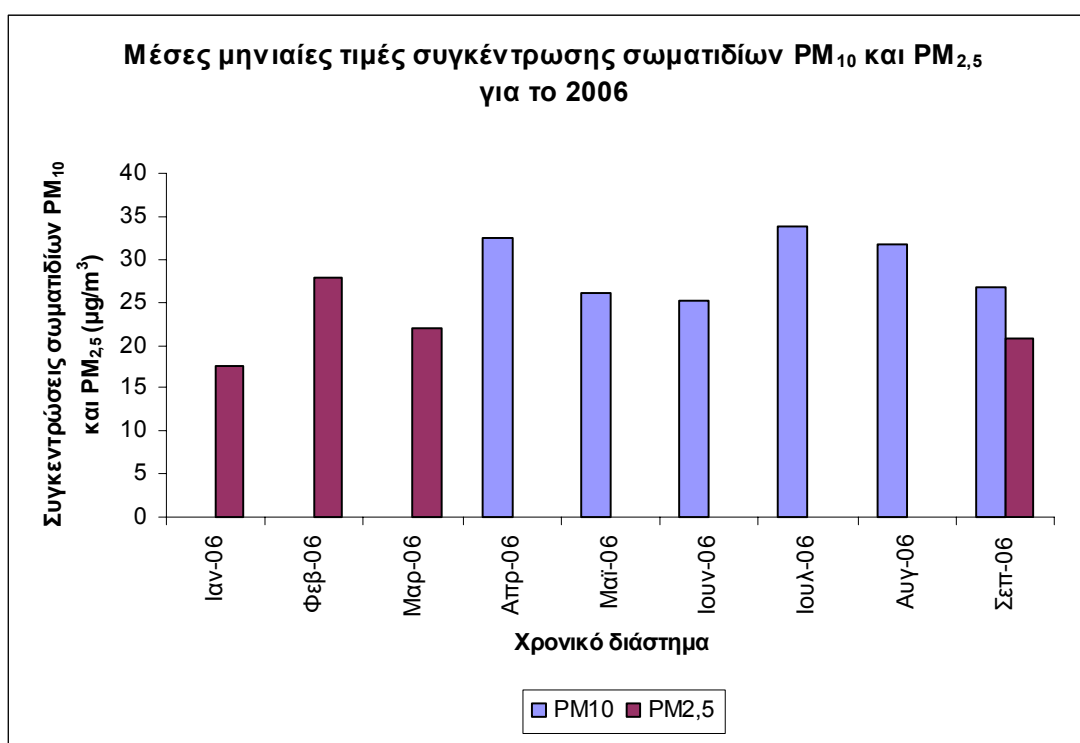


Εικόνα 39: Μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης για σωματίδια PM_{10} (2006).

Η μέγιστη μηνιαία συγκέντρωση των σωματιδίων PM_{10} εμφανίζεται για τον μήνα Ιούλιο ($33,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και η ελάχιστη τον μήνα Ιούνιο ($25,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Λείπουν τα δεδομένα για τους υπόλοιπους μήνες και ίσως να άλλαζε η κατάσταση ως προς την

ελάχιστη μέση μηνιαία τιμή. Η μέση τιμή συγκέντρωσης για τον Απρίλιο είναι υψηλή λόγω του επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα στις 7/4.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης για τα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2,5}$ για το έτος 2006 (εικόνα 40). Τον μήνα Σεπτέμβριο το πρώτο δεκαπενθήμερο έγινε μέτρηση των PM_{10} και το δεύτερο των $PM_{2,5}$. Για όλους τους μήνες η συγκέντρωση των PM_{10} είναι μεγαλύτερη από αυτή των $PM_{2,5}$ και αυτό είναι αναμενόμενο αφού στα πρώτα ανήκουν όλα τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μm ενώ στα δεύτερα ανήκουν τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μέχρι 2,5 μm (πιο περιορισμένη κατηγορία στο σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων). Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι μοναδική εξαίρεση αποτελεί ξανά ο Φεβρουάριος εξαιτίας του έντονου επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα.



Εικόνα 40: Μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης για σωματίδια PM_{10} και $PM_{2,5}$ (2006).

10. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΡΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

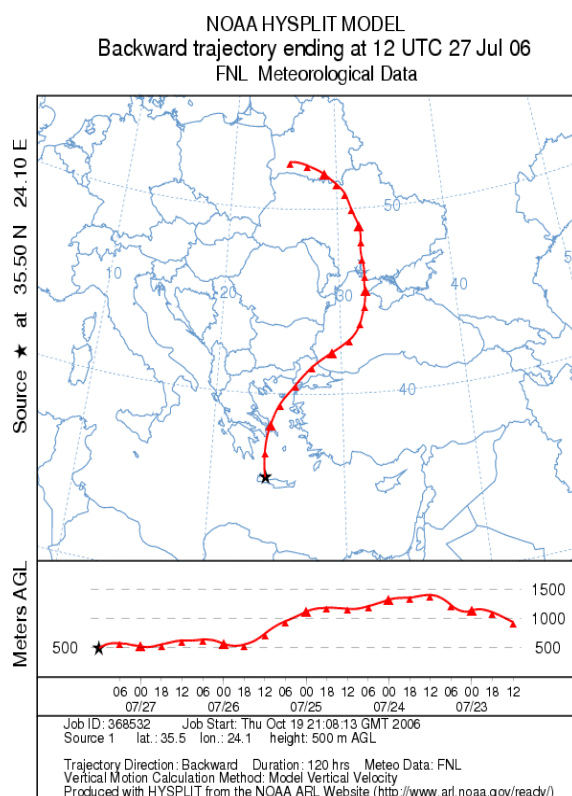
10.1 Εξήγηση των συγκεντρώσεων όζοντος

Η προέλευση των αερίων μαζών και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα όζοντος σε μία περιοχή (Katsoulis, 1999). Σε πρόσφατη όμως μελέτη των επιπέδων του όζοντος στην ανατολική Μεσόγειο (σταθμός Φοινοκαλιάς-rural station) φαίνεται πως ο ρόλος της τοπικής φωτοχημικής δραστηριότητας, κατά την διάρκεια του έτους, είναι περιορισμένη αφού συνεισφέρει λιγότερο από το 4%, σε ετήσια βάση, στα επίπεδα του όζοντος (Gerasopoulos κ.α., 2006). Η μεταφορά του όζοντος, και όχι τόσο η φωτοχημική παραγωγή του σε τοπικό επίπεδο, αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό που ευθύνεται για τα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης του όζοντος σε περιοχές που δεν υπάρχουν πηγές εκπομπής πρόδρομων ενώσεων όζοντος (Gerasopoulos κ.α., 2005). Για τον λόγο αυτό (επειδή έχουμε περιορισμένες εκπομπές πρόδρομων ενώσεων του όζοντος -rural background station) κρίνεται σημαντική η ανάλυση των ρετροπορειών των ανέμων που πνέουν στην περιοχή μελέτης μας.

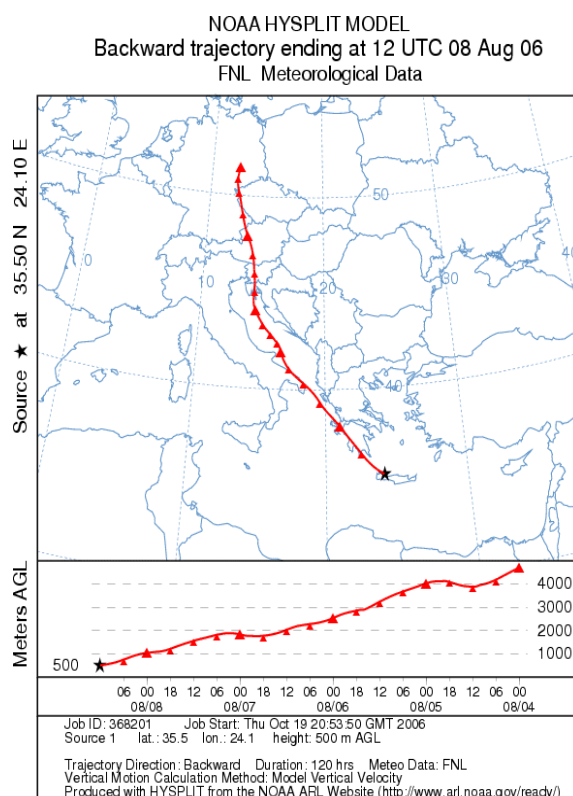
Υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης όζοντος και των πρόδρομων αυτού ενώσεις παρουσιάζει η ηπειρωτική Ευρώπη και γειτονικά της Ελλάδας σημαντική παραγωγή αυτών έχουμε στην περιοχή της Μικράς Ασίας. Στον ελλαδικό χώρο υψηλές συγκεντρώσεις συναντάμε στην Αθήνα και τις γύρω από αυτήν περιοχές. Επομένως οι αέριες μάζες που φθάνουν από Βόρεια διεύθυνση (ΒΑ ή ΒΔ) θα οδηγούν σε αύξηση των επιπέδων του όζοντος σε αντίθεση με τις αέριες μάζες που φθάνουν από νότια διεύθυνση (ΝΑ ή ΝΔ) στο σταθμό. Η πορεία του ανέμου εξ ολοκλήρου πάνω από θαλάσσιο περιβάλλον θα έχει σαν συνέπεια χαμηλά επίπεδα όζοντος (Κουβαράκης, 2002) διότι είναι φτωχό σε πρόδρομες ενώσεις του.

Στην εικόνα 41 φαίνεται η ρετροπορεία του ανέμου για τις 27/7/2006, ημέρα που παρατηρήθηκε η υψηλότερη μέση συγκέντρωση όζοντος ($0,072 \pm 0,008$ ppm) για το 2006. Βλέπουμε πως η αέρια μάζα πέρασε πάνω από τα παράλια της Μικράς Ασίας και την Κωνσταντινούπολη, από όπου μπορεί να μετέφερε τις πρόδρομες ενώσεις του όζοντος. Στην εικόνα 42 παρουσιάζεται η ρετροπορεία του ανέμου για

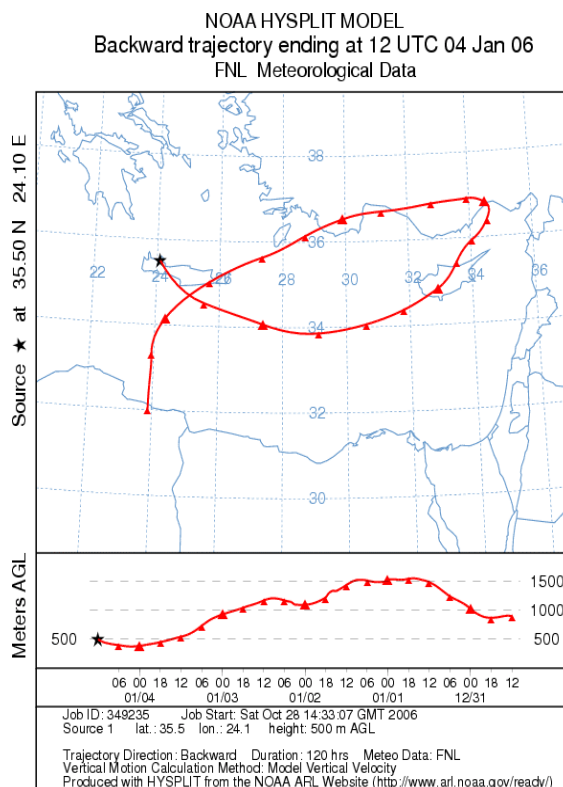
τις 8/8/2006, ημέρα που παρατηρήθηκε μία από τις υψηλότερες τιμές μέσης συγκέντρωσης ($0,064 \pm 0,003$ ppm). Στην περίπτωση αυτή η αέρια μάζα προέρχεται από την κεντρική Ευρώπη, περιοχή με υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης όζοντος, για τον λόγο αυτό δικαιολογείται και η υψηλή συγκέντρωση του ρύπου στην περιοχή μας την ημέρα αυτή. Τέλος στην εικόνα 43 παρουσιάζεται η ρетроπορεία του ανέμου για τις 04/1/2006, ημέρα που παρατηρήθηκε η ελάχιστη μέση ημερήσια συγκέντρωση όζοντος ($0,032 \pm 0,004$ ppm). Η αέρια μάζα βλέπουμε προήλθε από τα βόρεια παράλια της Αφρικής και κινήθηκε στο μεγαλύτερο μέρος της πορείας της πάνω από θαλάσσιο περιβάλλον. Το περιβάλλον αυτό, όπως αναφέρουμε και παραπάνω είναι φτωχό σε πρόδρομες ενώσεις όζοντος. Η παραμονή του ανέμου για τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα (πέντε ημέρες) οδηγεί στην μείωση των επιπέδων του όζοντος στην περιοχή μας.



Εικόνα 41: Ρетроπορεία για τις 27/7/06(12 UTC).



Εικόνα 42: Ρетроπορεία για τις 08/8/06(12 UTC).

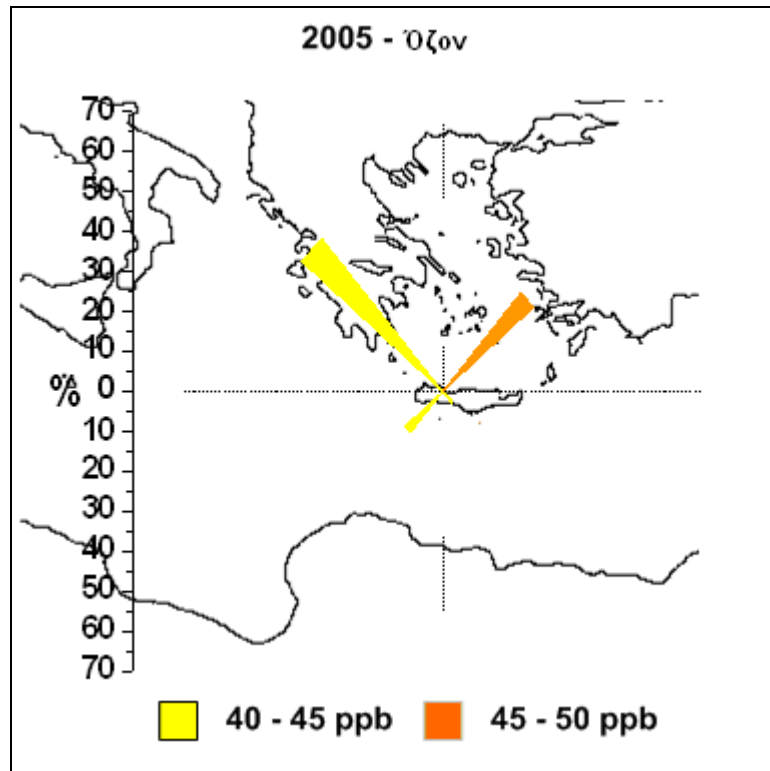


Εικόνα 43: Ρетроπορεία για τις 04/1/06(12 UTC).

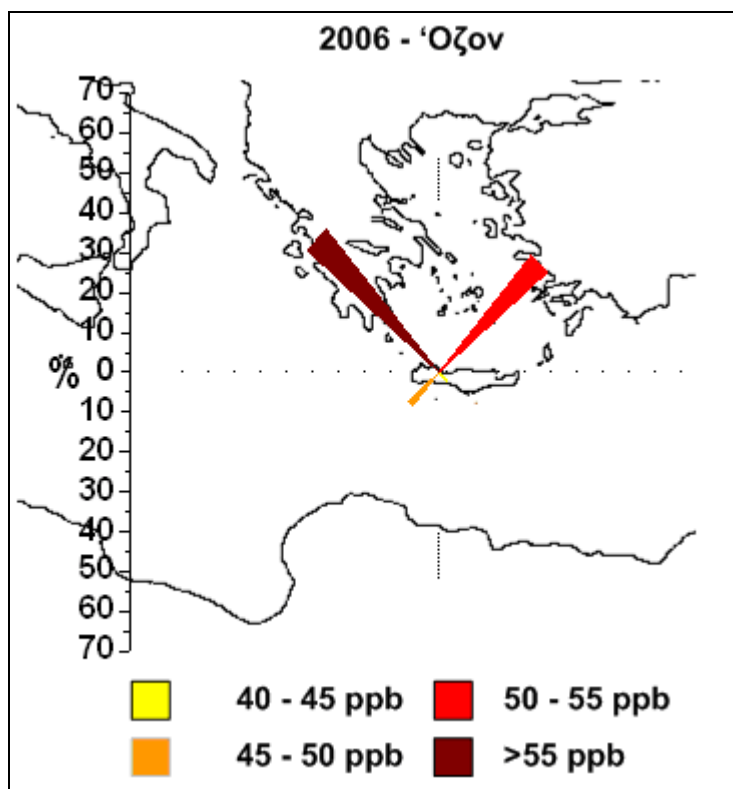
Για να υπάρξει η δυνατότητα να εξαχθούν πιο γενικά συμπεράσματα κατασκευάστηκαν στατιστικοί χάρτες, στους οποίους φαίνεται η επικρατέστερη προέλευση των ρетроπορειών και του επιπέδου ρύπανσης που προέρχεται από κάθε προέλευση, για κάθε εποχή ξεχωριστά.

Συγκεκριμένα, χωρίστηκε ο χώρος της περιοχής μελέτης σε τέσσερις βασικούς τομείς (sectors) προέλευσης: Τον βορειοδυτικό (ΒΔ), τον βορειοανατολικό (ΒΑ), τον νοτιοανατολικό (ΝΑ) και τον νοτιοδυτικό (ΝΔ). Επίσης χωρίστηκε η ρетроπορεία της κάθε ημέρας σε 5 τμήματα (αριθμός που ισοδυναμεί με τις ημέρες που γίνεται run το μοντέλο). Το κάθε ένα από τα τμήματα αντιστοιχίστηκε στον τομέα προέλευσης στον οποίο ανήκει. Αθροίζοντας το συνολικό αριθμό των τμημάτων που ανήκουν σε κάθε τομέα, προέκυψε η συχνότητα προέλευσης του αέρα από κάθε τομέα για κάθε εποχή. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων για όλες τις ημέρες που ανήκουν στον κάθε τομέα, με σκοπό την εύρεση του επιπέδου ρύπανσης για κάθε τομέα προέλευσης των αερίων μαζών. Με επίκεντρο την περιοχή του σταθμού δημιουργήθηκαν ράβδοι οι οποίες έχουν μήκος ανάλογο του ποσοστού επί τοις % εμφάνισης του κάθε τομέα και χρώμα εξαρτώμενο από το επίπεδο της ρύπανσης για

κάθε περίπτωση. Για τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, από όλες τις χρονιές. Ακολουθούν οι στατιστικοί χάρτες των συγκεντρώσεων του όζοντος (εικόνες 44 και 45) για το 2005 και 2006 αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί πως το 2005 είχαμε καταγραφή των συγκεντρώσεων όζοντος το χρονικό διάστημα από τις 31/8 έως τις 31/12, επομένως δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για όλο το έτος.



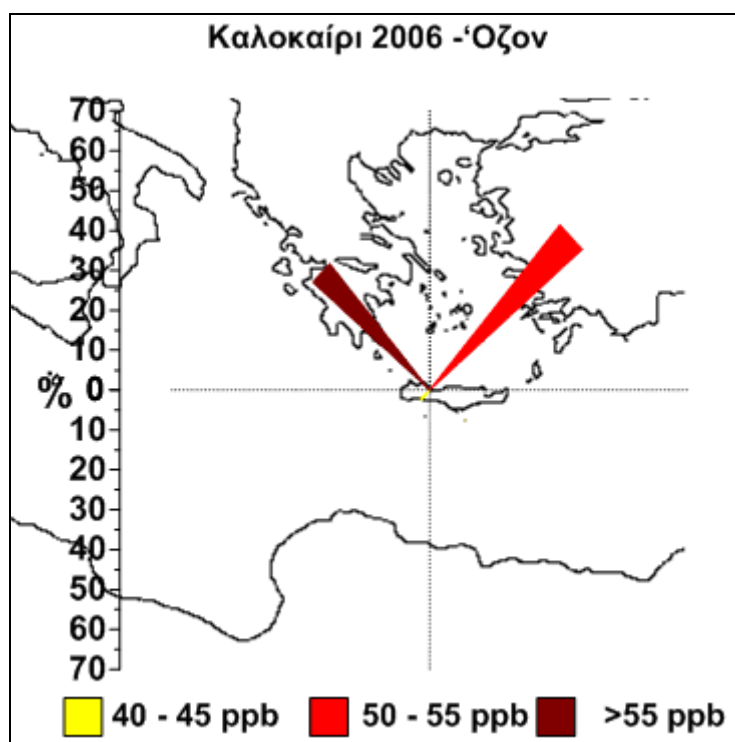
Εικόνα 44: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (2005).



Εικόνα 45: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (2006).

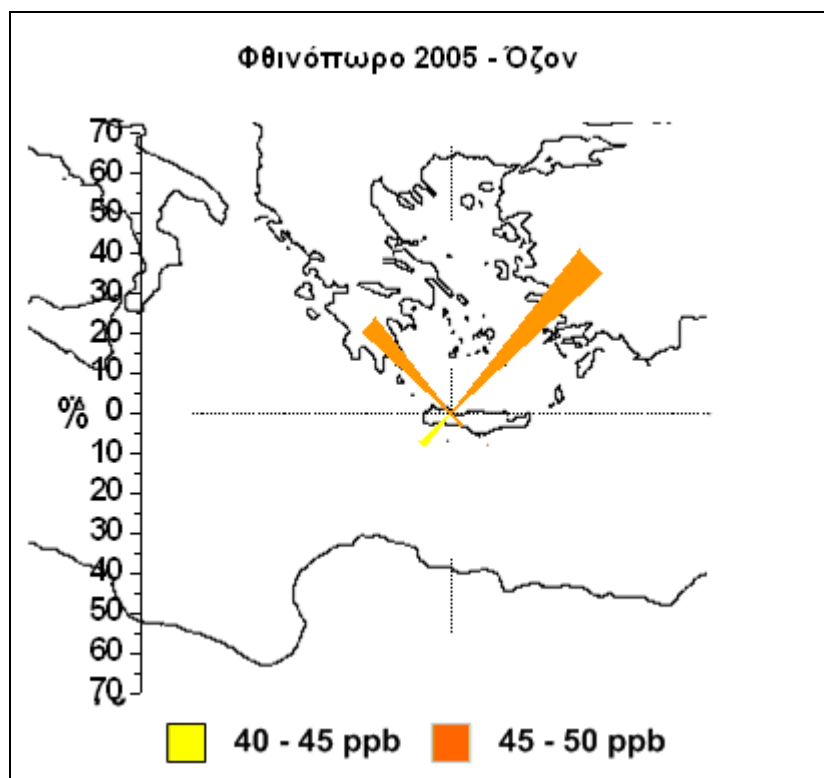
Τα ποσοστά προέλευσης των αερίων μαζών συμφωνούν για τα δύο (2) έτη, αφού και τις δύο χρονιές έχουμε επικράτηση των αερίων μαζών που προέρχονται από τον βόρειο τομέα. Συγκεκριμένα για το έτος 2005, τα ποσοστά προέλευσης των αερίων μαζών ήταν 32,56% για τον ΒΑ τομέα, 50,28% για τον ΒΔ, 3,58% για τον ΝΑ και 13,58% για τον ΝΔ τομέα. Τα αντίστοιχα ποσοστά για το έτος 2006 ήταν: 38,55% για τον ΒΑ τομέα, 47,2% για τον ΒΔ, 2,98% για τον ΝΑ και 11,18% για τον ΝΔ τομέα. Τα επίπεδα ρύπανσης φαίνεται να επηρεάζονται και τις δύο χρονιές από τις αέριες μάζες που προέρχονται από τον βόρειο τομέα (μεταφορά όζοντος και πρόδρομων αυτού ενώσεων από την κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια). Αντίθετα οι αέριες μάζες από τον νότιο τομέα συνεισφέρουν λιγότερο στα επίπεδα του όζοντος, μιας και είναι φτωχές σε πρόδρομες ενώσεις του ρύπου. Το 2006 πάντως παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις όζοντος σε σχέση με το 2005. Ωστόσο οι τιμές συγκέντρωσης για το 2006 δεν είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το έτος αφού τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν περίοδο τεσσάρων μηνών. Για το 2005 οι υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις παρατηρούνται για αέριες μάζες που προέρχονται από τον ΒΑ τομέα (45,7 ppb) ενώ για το έτος 2006 από τον ΒΔ τομέα (55,7 ppb).

Στην συνέχεια φαίνονται οι στατιστικοί χάρτες για τις συγκεντρώσεις του όζοντος (εικόνες 46-49) για κάθε εποχή του 2006. Να σημειωθεί πως ο στατιστικός χάρτης για την εποχή του Φθινοπώρου έγινε με τις συγκεντρώσεις μόνο του μήνα Σεπτεμβρίου, που ήταν οι μόνες διαθέσιμες.

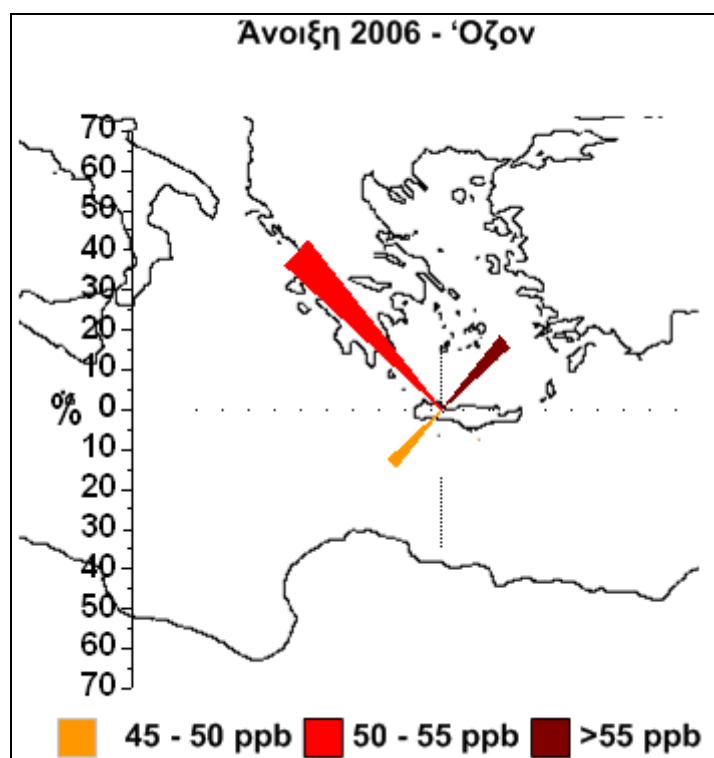


Εικόνα 46: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (Καλοκαίρι 2006).

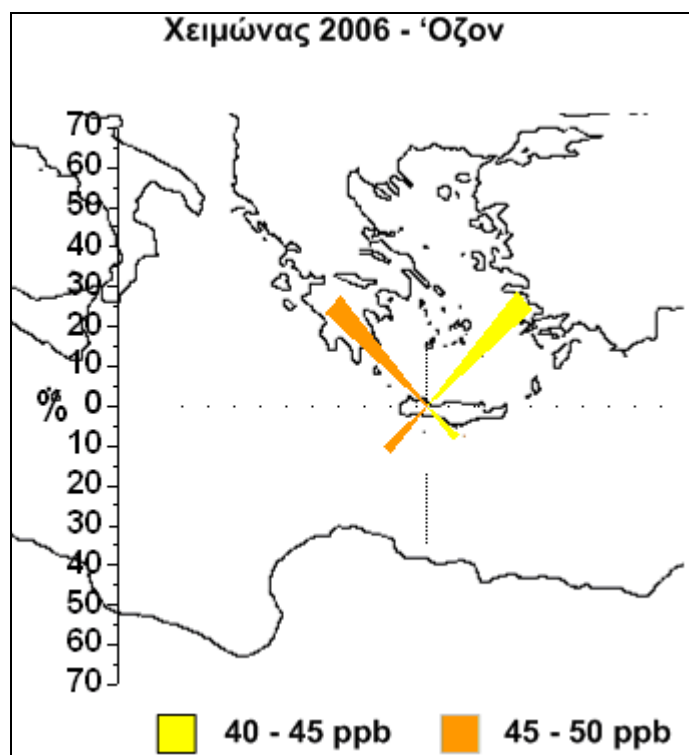
Τα ποσοστά του ΒΔ και του ΒΑ τομέα είναι 41,67 % και 54,38% αντίστοιχα, ενώ του ΝΔ 0,08%. Όσον αφορά τα επίπεδα όζοντος, παρατηρούμε ότι οι βόρειες προελεύσεις αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό τις συγκεντρώσεις του με αποτέλεσμα η μέση τιμή για το ΒΔ και το ΒΑ τομέα να είναι 54 ppb και 64,8 ppb αντίστοιχα. Για τους νότιους τομείς δε μπορούμε να εξάγουμε συμπέρασμα, αφού η παρουσία τους είναι σχεδόν μηδαμινή. Σημειώνουμε πάντως ότι τις ελάχιστες φορές που επικρατούν άνεμοι από νότιες κατευθύνσεις, τα επίπεδα όζοντος είναι πολύ χαμηλά.



Εικόνα 47: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (Φθινόπωρο 2005).



Εικόνα 48: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (Άνοιξη 2006).



Εικόνα 49: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων Όζοντος (Χειμώνας 2006).

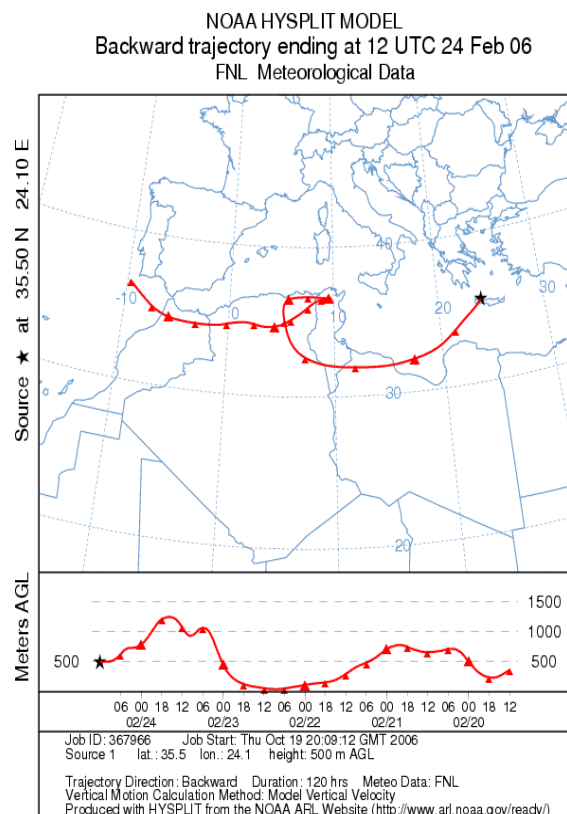
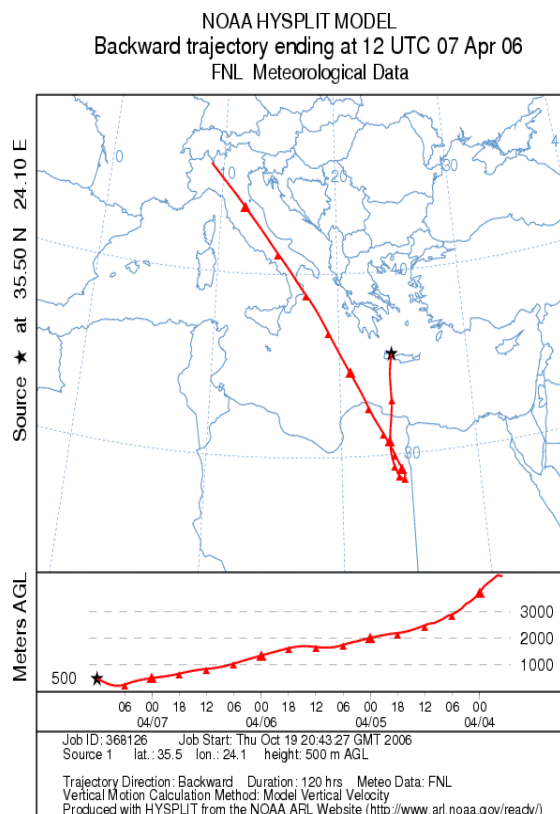
Το φθινόπωρο και ο χειμώνας παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα ρύπανσης. Το χειμώνα τα ποσοστά και οι μέσες τιμές όζοντος είναι ΒΔ: 36,18%- 46 ppb, ΒΑ: 37,54%-42 ppb, ΝΑ: 10,92%-43,3 ppb και ΝΔ: 15,36%- 46,6 ppb. Την άνοιξη, παρατηρείται αύξηση των επιπέδων όζοντος και μείωση της προέλευσης των αερίων μαζών από νότιους τομείς. Τα ποσοστά και οι μέσες τιμές όζοντος είναι τα εξής: ΒΔ: 55,82%-53,2 ppb, ΒΑ: 24,17%-57,3 ppb και ΝΔ: 19,12%-49,2 ppb.

Ένα γενικό συμπέρασμα είναι ότι η προέλευση των αερίων μαζών είναι καθοριστική όσον αφορά τις συγκεντρώσεις όζοντος στην περιοχή αφού ειδικά το καλοκαίρι μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες του ρύπου από βόρειες περιοχές (κεντρική Ευρώπη και Βαλκάνια) προς την Κρήτη. Σημαντική επίσης είναι και η παρατήρηση ότι οι βόρειες προελεύσεις συμβάλλουν κατά πολύ περισσότερο από ότι οι νότιες στη διαμόρφωση των επιπέδων ρύπανσης από όζον στην περιοχή μελέτης.

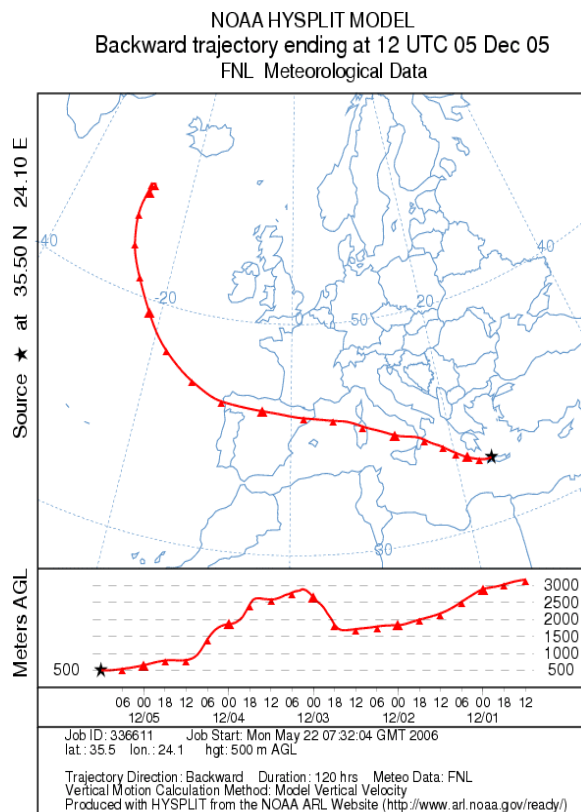
10.2 Εξήγηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων παρουσιάζει υψηλές τιμές όταν οι αέριες μάζες μεταφέρονται από νότιες διευθύνσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η σκόνη που μεταφέρεται από την Αφρική αυξάνει την συγκέντρωση των σωματιδίων. Στην εικόνα 50 φαίνεται η ρетроπορεία του ανέμου για τις 7/4/2006, ημέρα με μέση τιμή συγκέντρωσης PM_{10} ίση με $167,36 \pm 197,50 \mu g/m^3$. Όπως αναφέρουμε και στο κεφάλαιο (Παρουσίαση μετρήσεων PM_{10}), την ημέρα αυτή συνέβη ένα πολύ έντονο επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα (Η μέγιστη μέση ωριαία τιμή έφτασε τα $743,5 \mu g/m^3$). Παρατηρούμε πως οι αέριες μάζες προήλθαν από την Λιβύη και χρειάστηκαν μόλις μισή μέρα για να μεταφερθούν πάνω από την Κρήτη. Το μικρό αυτό χρονικό διάστημα δεν αρκούσε για να πραγματοποιηθεί εναπόθεση των σωματιδίων. Κατά συνέπεια το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης από την έρημο μεταφέρθηκε στην ατμόσφαιρα πάνω από την Κρήτη. Στην εικόνα 51 παρουσιάζεται η ρетроπορεία του ανέμου για τις 24/2/2006, ακόμη μία περίπτωση φαινομένου μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα (Η μέση συγκέντρωση $PM_{2,5}$ ήταν $199,26 \pm 229,18 \mu g/m^3$). Στην εικόνα 53 φαίνεται η ρетроπορεία του ανέμου για το επεισόδιο σκόνης στις 17/4/2005 που περιγράφεται στο κεφάλαιο 9.1 (Παρουσίαση μετρήσεων $PM_{2,5}$) ενώ στην εικόνα 54 φαίνεται η δορυφορική φωτογραφία της Ελλάδας την ημέρα αυτή για επιβεβαίωση του φαινομένου.

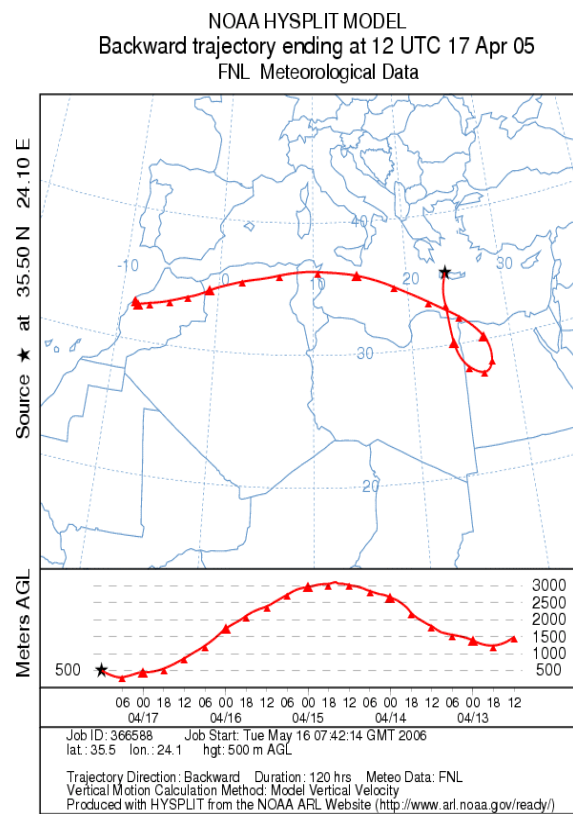
Αντίθετα στην εικόνα 52 φαίνεται η ρетроπορεία του ανέμου στις 5/12/2005, ημέρα που καταγράφηκε μία από τις μικρότερες συγκεντρώσεις για σωματίδια $PM_{2,5}$ ($10,81 \mu g/m^3$). Οι αέριες μάζες έχουν βόρειο-δυτική διεύθυνση και προέρχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό, όμως η επίδραση των θαλάσσιων αεροζόλ στην συνολική μάζα των σωματιδίων δεν είναι τόσο σημαντική όσο άλλων κατηγοριών τους. Η πορεία των αερίων μαζών φαίνεται να περνά από την Ιβηρική χερσόνησο και όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο (Σύγκριση επιπέδων $PM_{2,5}$ Ακρωτηρίου με διάφορους σταθμούς της Ευρώπης για το 2005) την χρονιά του 2005 καταγράφηκαν στην περιοχή αυτή από τις μικρότερες συγκεντρώσεις σωματιδίων $PM_{2,5}$.



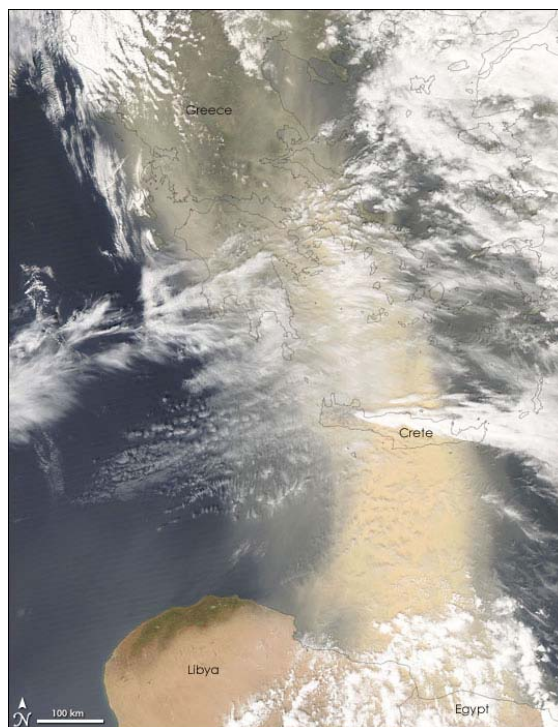
Εικόνα 50: Ρετροπορεία για τις 7/4/06(12 UTC). **Εικόνα 51:** Ρετροπορεία για τις 24/2/06(12 UTC).



Εικόνα 52: Ρετροπορεία για τις 05/6/06(12 UTC).

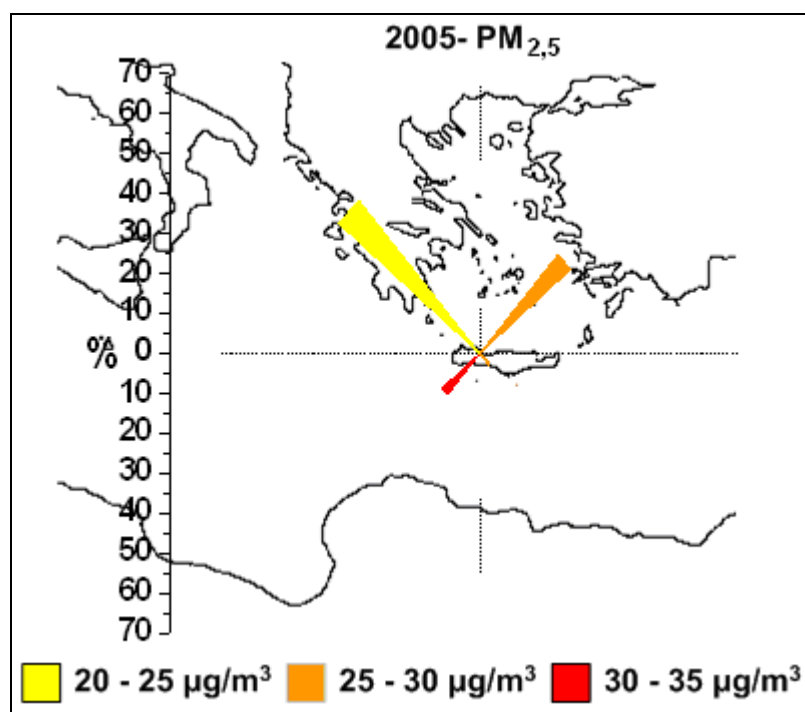


Εικόνα 53: Ρетроπορεία για τις 17/4/05(12 UTC).



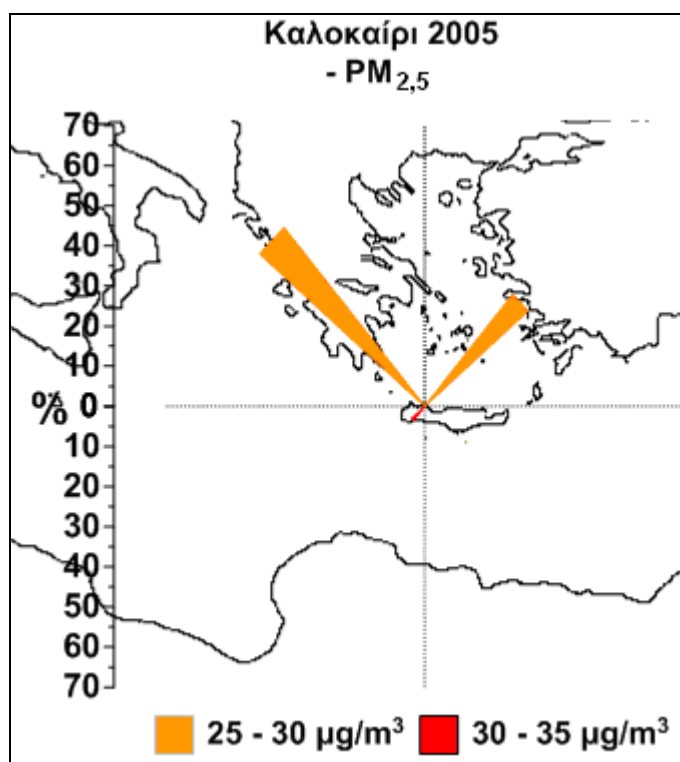
Εικόνα 54: Δορυφορική εικόνα της Ελλάδας για τις 17/4/05.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι στατιστικοί χάρτες των επιπέδων ρύπανσης από σωματίδια αλλά και προέλευσης των αερίων μαζών για κάθε εποχή. Στην εικόνα 55 φαίνεται ο χάρτης με τα επίπεδα ρύπανσης $PM_{2,5}$ για όλο το 2005.



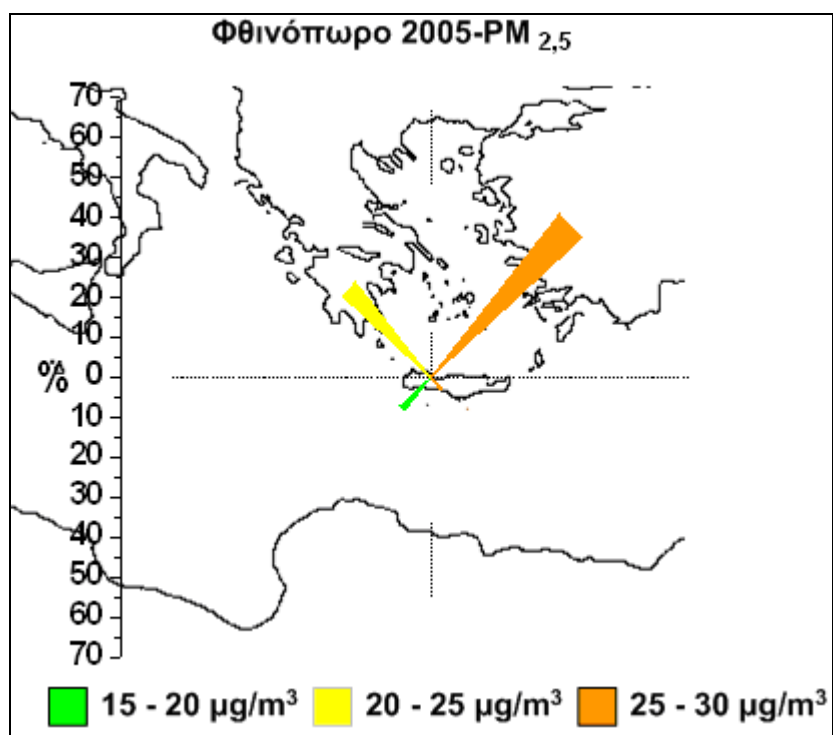
Εικόνα 55: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων $PM_{2,5}$ για το 2005.

Για το έτος 2005 παρατηρούμε επικράτηση της βόρειας προέλευσης των αερίων μαζών με ποσοστά 50,28% και 32,56% για τον ΒΔ και ΒΑ τομέα αντίστοιχα. Τα ποσοστά του ΝΑ και ΝΔ τομέα ήταν 3,58% και 13,58% αντίστοιχα. Όσον αφορά τα επίπεδα ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$ διαπιστώνουμε πως για τον ΝΔ τομέα έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων ($32,01 \mu g/m^3$), κάτι που αναμενόταν αφού πρόκειται για αέριες μάζες που προέρχονται από την Αφρικανική ήπειρο. Οι ανατολικοί τομείς (ΝΑ και ΒΑ) παρουσιάζουν επίσης υψηλές μέσες τιμές συγκεντρώσεων ($28,41 \mu g/m^3$ και $27,06 \mu g/m^3$ αντίστοιχα). Μικρότερη είναι η συμβολή στα επίπεδα της ρύπανσης των αερίων μαζών από τον ΒΔ τομέα (μέση συγκέντρωση $PM_{2,5}$ ίση με $22,85 \mu g/m^3$). Παρακάτω παρουσιάζεται ο αντίστοιχος χάρτης για το καλοκαίρι του 2005 (εικόνα 56).

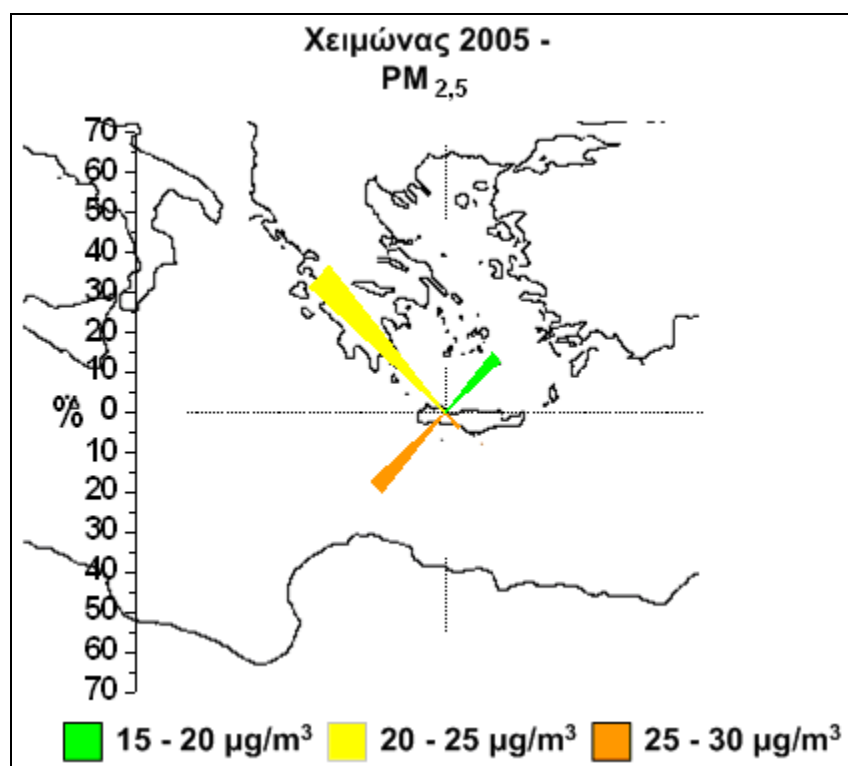


Εικόνα 56: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{2,5} (Καλοκαίρι 2005).

Για την εποχή του καλοκαιριού είναι καθολική η επικράτηση των αερίων μαζών που προέρχονται από τους βόρειους τομείς. Τα ποσοστά είναι 36,69% και 58,61% για τον ΒΑ και ΒΔ τομέα αντίστοιχα. Τα επίπεδα ρύπανσης για αυτούς τους τομείς είναι υψηλά ($27,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $27,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα). Αντίθετα τα ποσοστά προέλευσης των αερίων μαζών για τους νότιους τομείς είναι πολύ χαμηλά. Ο ΝΔ τομέας παρά το μικρό ποσοστό του (4,7%) συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στα επίπεδα ρύπανσης των σωματιδίων με μέση τιμή συγκέντρωσης $34,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στην συνέχεια φαίνονται οι χάρτες για την εποχή του Φθινοπώρου και του Χειμώνα (εικόνες 57 και 58 αντίστοιχα).



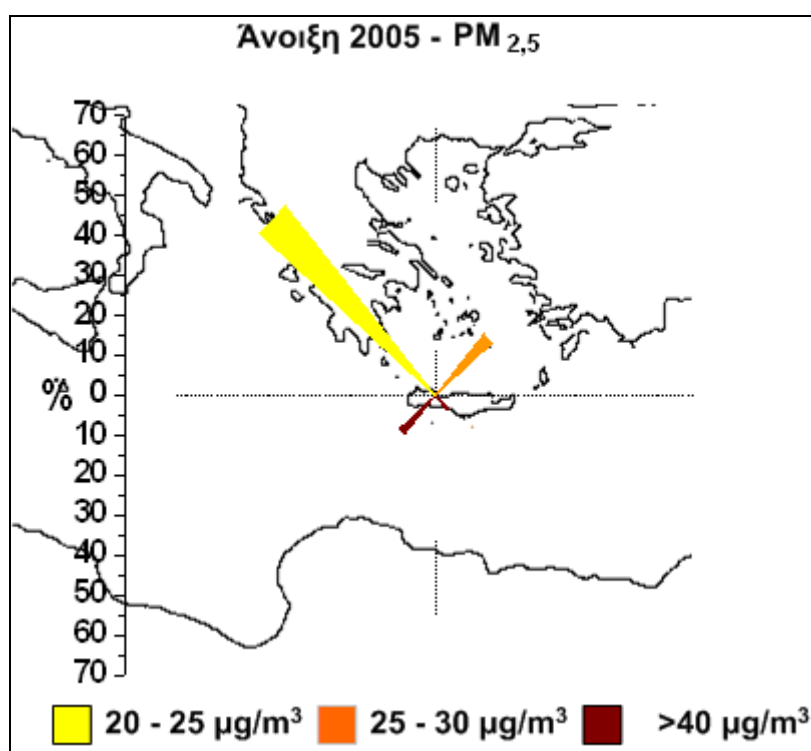
Εικόνα 57: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{2,5} (Φθινόπωρο 2005).



Εικόνα 58: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{2,5} (Χειμώνας 2005).

Για την εποχή του Φθινοπώρου τα ποσοστά προέλευσης των αερίων μαζών ανά τομέα είναι: ΒΑ - 53,81%, ΝΔ - 10,76%, ΝΑ - 4,04% και ΒΔ - 31,39%.

Παρατηρούμε μια αύξηση του ποσοστού προέλευσης των αερίων μαζών από τους νότιους τομείς σε σχέση με το καλοκαίρι. Οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων για τις δυτικές προελεύσεις είναι χαμηλές (ΒΔ: 22,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΔ: 19,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε σχέση με αυτές για τις αέριες μάζες που προέρχονται από ανατολικούς τομείς (ΝΑ: 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΔ: 28,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η εποχή του χειμώνα παρουσιάζει διαφορές ως προς αυτήν της Άνοιξης τόσο στο ποσοστό προέλευσης των αερίων μαζών όσο και στην συμβολή του κάθε τομέα στα επίπεδα των $\text{PM}_{2,5}$. Τον χειμώνα έχουμε μεγάλο ποσοστό προέλευσης αερίων μαζών από τον δυτικό τομέα (ΒΔ: 48,42%, ΝΔ: 26,47%). Τα αντίστοιχα ποσοστά προέλευσης για αέριες μάζες από τον ανατολικό τομέα ήταν χαμηλότερα (19,68% και 5,43% για τον ΒΑ και ΝΑ τομέα αντίστοιχα). Μεγαλύτερη επίδραση στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των $\text{PM}_{2,5}$ την εποχή αυτή έχουν οι αέριες μάζες από τον νότιο τομέα, με μέσες συγκεντρώσεις 25,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τον ΝΑ και 28,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τον ΝΔ τομέα. Στην εικόνα 59 φαίνεται και ο αντίστοιχος χάρτης για την εποχή της Άνοιξης.

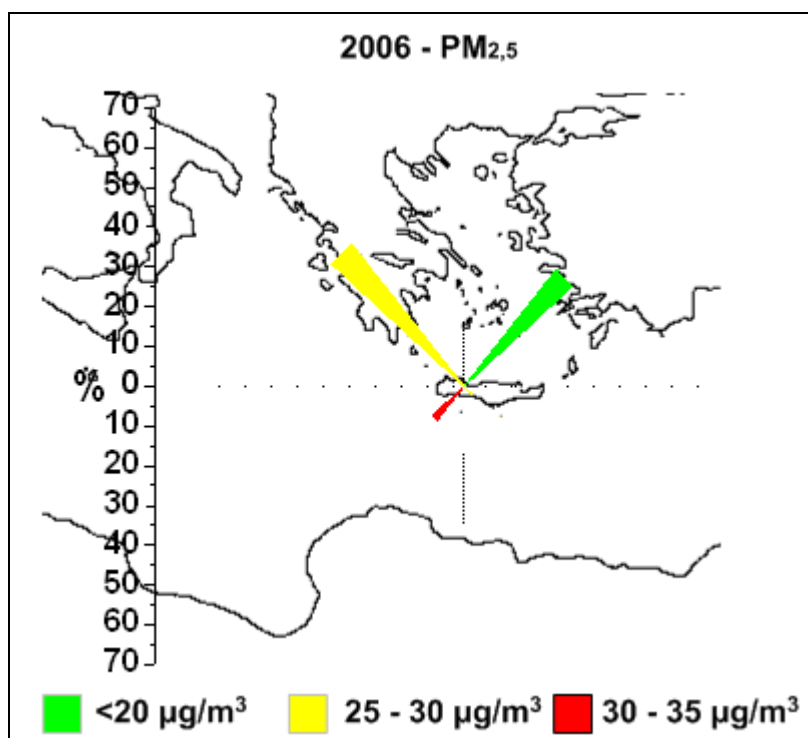


Εικόνα 59: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων $\text{PM}_{2,5}$ (Άνοιξη 2005).

Την εποχή της Άνοιξης, όπως έχει προαναφερθεί, συναντάμε συχνότερα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Για τον λόγο αυτό οι αέριες μάζες που

θα προέρχονται από τους νότιους τομείς θα επηρεάζουν σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα ποσοστά εμφάνισης ανέμων από νότιους τομείς ήταν χαμηλά (4,83% και 12,53% για τον ΝΑ και ΝΔ τομέα αντίστοιχα) όμως οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων $PM_{2,5}$ ήταν υψηλές, όπως αναμενόταν (ΝΑ: $48,96 \mu g/m^3$, ΝΔ: $51,38 \mu g/m^3$).

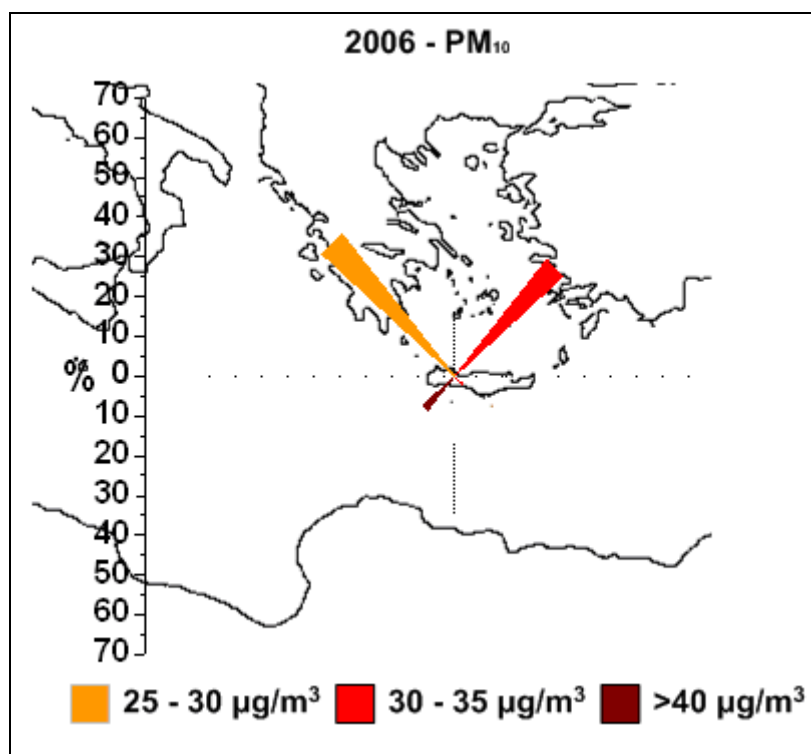
Για το έτος 2006, η καταγραφή των συγκεντρώσεων για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$ πραγματοποιήθηκε για τα χρονικά διαστήματα από 1/1 έως 28/3 και για το τελευταίο δεκαπενθήμερο του μήνα Σεπτεμβρίου. Ο στατιστικός χάρτης της εικόνας 60 έχει κατασκευαστεί βάση αυτών των δεδομένων, για τον λόγο αυτό δεν μπορεί να είναι αντιπροσωπευτικός για την προέλευση των αερίων μαζών και των συγκεντρώσεων των σωματιδίων για όλο το έτος. Για την περίοδο αυτή παρατηρούμε μία επικράτηση των αερίων μαζών που προέρχονται από τους βόρειους τομείς (ΒΔ: 47,20%, ΒΑ: 38,55%). Την μικρότερη επίδραση στα επίπεδα συγκεντρώσεων των $PM_{2,5}$ την έχουν οι αέριες μάζες που προέρχονται από τον ΒΑ τομέα ($18,99 \mu g/m^3$) ενώ την μεγαλύτερη οι αέριες μάζες από τον ΝΔ τομέα ($32,20 \mu g/m^3$).



Εικόνα 60: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων $PM_{2,5}$ (2006).

Τέλος κατασκευάστηκαν οι αντίστοιχοι στατιστικοί χάρτες για το έτος 2006 για τα σωματίδια PM_{10} . Τα διαθέσιμα δεδομένα την χρονική περίοδο αυτή για τις

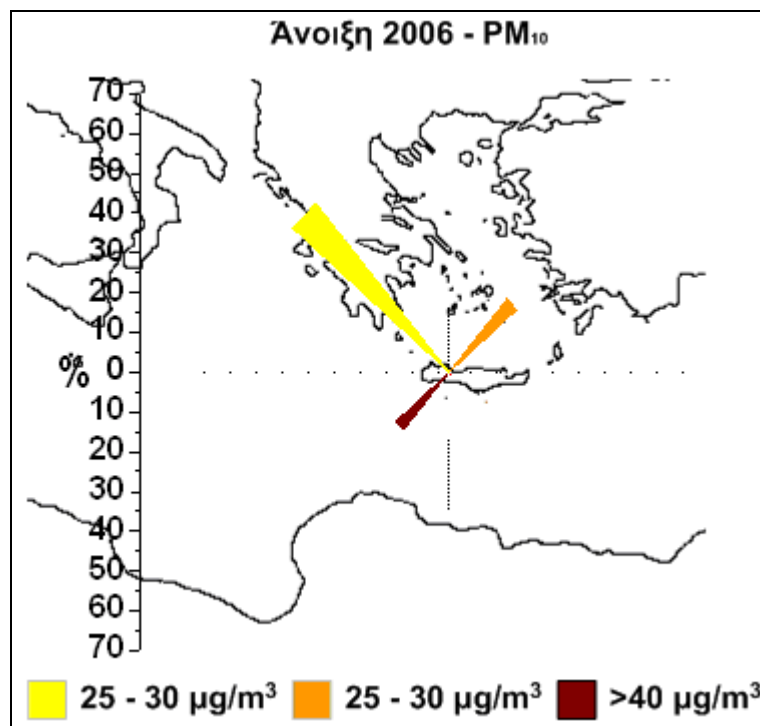
συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} είναι από τις 3/4 έως τις 15/9. Για τον λόγο αυτό δεν υπήρχε η δυνατότητα να κατασκευαστούν οι στατιστικοί χάρτες για το Φθινόπωρο και τον Χειμώνα του 2006. Ο χάρτης για την συγκέντρωση των PM_{10} (εικόνα 61) δεν είναι αντιπροσωπευτικός για το 2006 αφού δεν υπάρχουν δεδομένα για τις κρύες περιόδους του έτους.



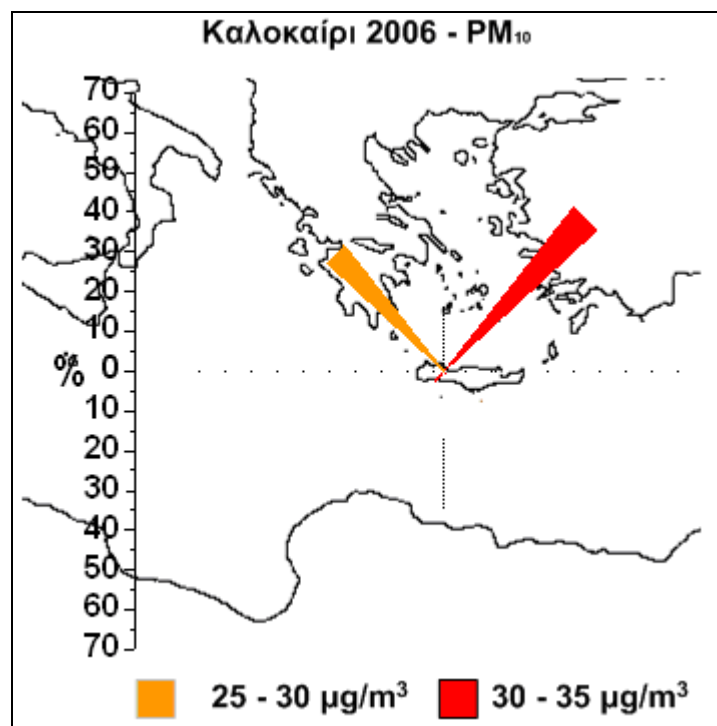
Εικόνα 61: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} (2006).

Για το έτος 2006 παρατηρούμε μια επικράτηση των αερίων μαζών που προέρχονται από τους βόρειους τομείς. Τα ποσοστά προέλευσης των αερίων μαζών είναι 38,55% και 47,20% για τον ΒΑ και ΒΔ τομέα αντίστοιχα. Αντίθετα η συχνότητα εμφάνισης των ΝΑ-ΝΔ τομέων στην προέλευση των αερίων μαζών είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να έχουμε ικανοποιητική παράσταση στο χάρτη (ΝΑ: 2,98% και ΝΔ: 11,18%). Η επίδραση της προέλευσης των αερίων μαζών στα επίπεδα των σωματιδίων PM_{10} είναι η ίδια με αυτή των $PM_{2.5}$. Οι άνεμοι από τους νότιους τομείς αυξάνουν σημαντικά τα επίπεδα των συγκεντρώσεων τους ενώ μικρότερη είναι η επίδραση από τους άλλους τομείς. Αναλυτικά οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων ανά τομέα είναι: ΒΑ: 31,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ΒΔ: 25,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΑ: 30,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και ΝΔ: 42,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Στις εικόνες 62 και 63 φαίνονται οι

στατιστικοί χάρτες των συγκεντρώσεων PM_{10} για την Άνοιξη και το Καλοκαίρι αντίστοιχα.



Εικόνα 64: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} (Άνοιξη 2006).



Εικόνα 65: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} (Καλοκαίρι 2006).

Αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι πως η προέλευση των αερίων μαζών την Άνοιξη είναι πιο ισορροπημένη ανά τομέα σε σχέση με αυτή του Καλοκαιριού, όπου έχουμε προέλευση αερίων μαζών κυρίως από τον βόρειο τομέα. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως έχουμε προαναφέρει το Καλοκαίρι έχουμε την εμφάνιση των μελτεμιών, με συνέπεια να έχουμε μεταφορά αερίων μαζών κυρίως από τον Βορρά. Όσον αφορά τα επίπεδα ρύπανσης καθοριστικό ρόλο στα επίπεδα συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} την Άνοιξη φαίνεται να έχουν οι αέριες μάζες που προέρχονται από τον νότο. Οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων είναι $46,07 \mu g/m^3$ για τον ΝΔ τομέα Το Καλοκαίρι τη σημαντικότερη επίδραση την έχουμε από τον ΒΑ τομέα ($32,82 \mu g/m^3$), τομέα με την υψηλότερη συχνότητα προέλευσης αερίων μαζών (54%).

11. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

11.1 Γραμμικές συσχετίσεις

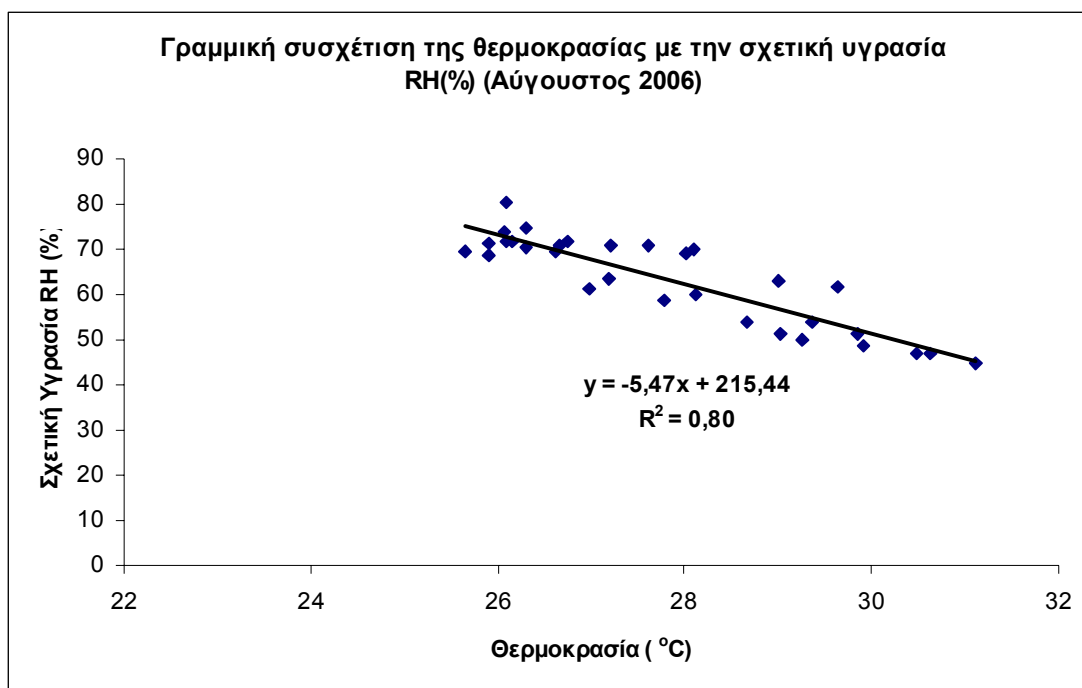
Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μία προσπάθεια συσχέτισης των μετεωρολογικών παραμέτρων με τις παραμέτρους ρύπανσης. Εξαιτίας της δυναμικής της ατμόσφαιρας είναι δύσκολη η συσχέτιση των δεδομένων. Αρχικά έγινε προσπάθεια συσχέτισης των δεδομένων μέσω της εξίσωσης συσχέτισης *corel* του *excel*. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέσες ωριαίες για όλο το χρονικό διάστημα που έχουμε δεδομένα από τον σταθμό (2005-2006). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 1:

Παράμετροι	Βαθμός Συσχέτισης*
Θερμοκρασία - Υγρασία	-0,53
Θερμοκρασία - Ταχύτητα ανέμου	-0,08
Θερμοκρασία - Όζον	0,49
Θερμοκρασία - PM ₁₀	0,14
Θερμοκρασία - PM _{2,5}	0,13
Υγρασία - Ταχύτητα ανέμου	-0,002
Υγρασία - Όζον	-0,40
Υγρασία - PM ₁₀	-0,10
Υγρασία - PM _{2,5}	-0,15
Ταχύτητα ανέμου - Όζον	0,12
Ταχύτητα ανέμου - PM ₁₀	-0,08
Ταχύτητα ανέμου - PM _{2,5}	0,08
Όζον - PM ₁₀	0,03
Όζον - PM _{2,5}	0,006

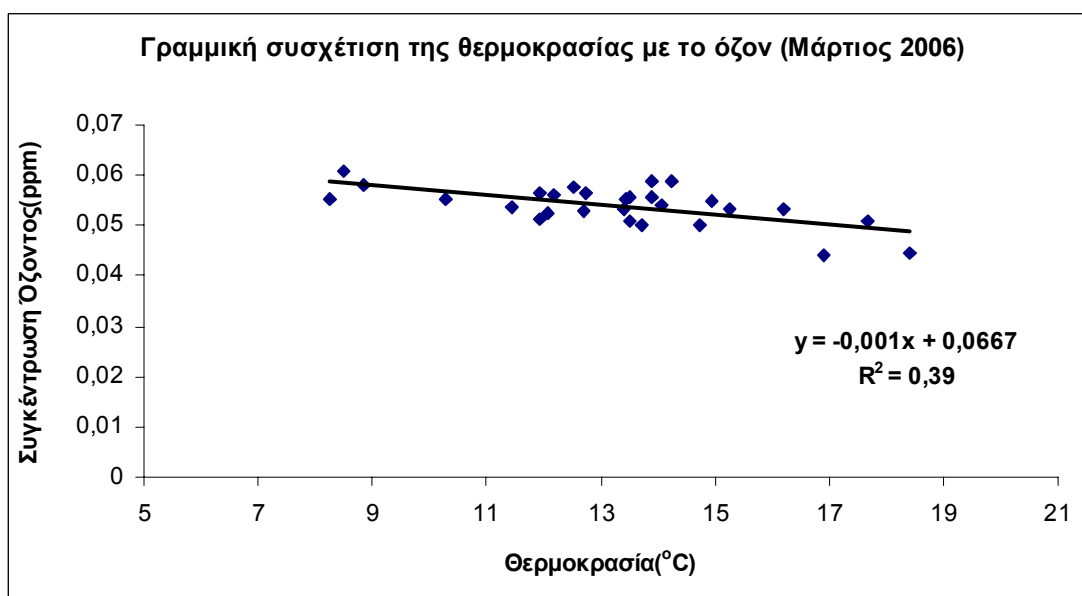
Πίνακας 1: Βαθμοί συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων (ωριαίες τιμές).

Θεωρώντας ελάχιστη συσχέτιση, αυτή για την οποία ο βαθμός έχει τιμή τουλάχιστον 0,4, παρατηρούμε ότι η υγρασία με τη θερμοκρασία και το όζον με την υγρασία συσχετίζονται αρνητικά. Θετική συσχέτιση παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις του όζοντος με τη θερμοκρασία. Στη συνέχεια η μελέτη των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων έγινε με τη βοήθεια γραφικών παραστάσεων και την προσθήκη γραμμών τάσης. Τα διαγράμματα, για κάθε ένα μήνα, δημιουργήθηκαν βάση των μέσων ημερήσιων τιμών των παραμέτρων. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται μόνο οι μήνες στους οποίους οι παράμετροι έχουν κάποια σημαντική φυσική και στατιστική συσχέτιση, καθώς και αυτοί για τους οποίους το R^2 είναι μέγιστο. Στις εικόνες 66-71 φαίνονται οι γραμμικές συσχετίσεις.

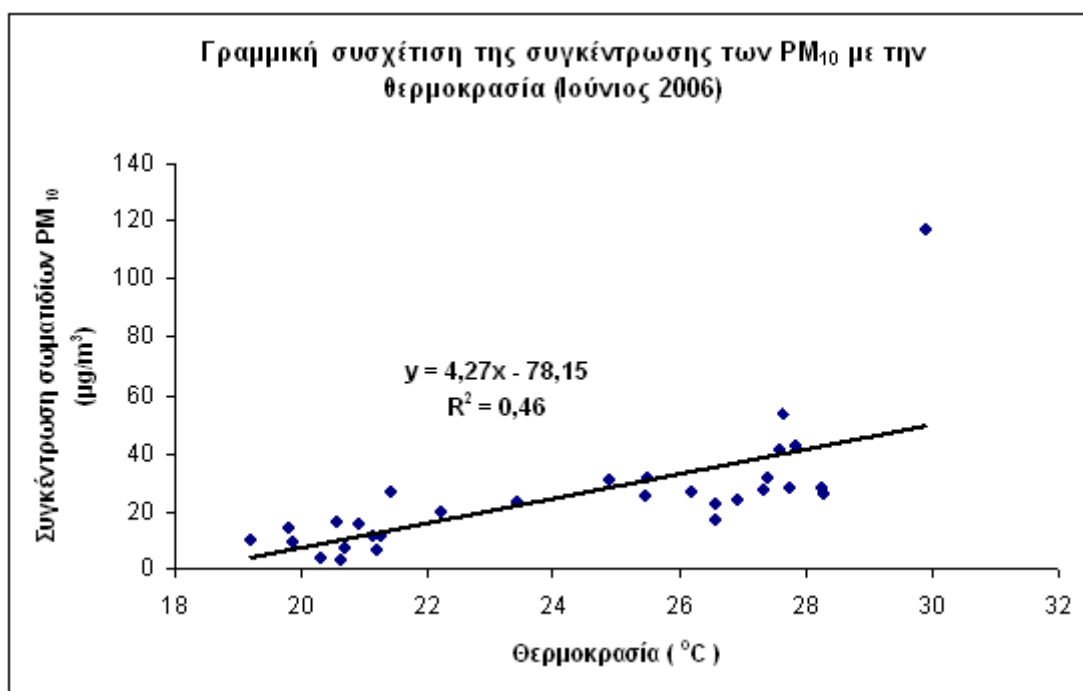
* Correlation Coefficients:
$$\text{Correl}(X,Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$



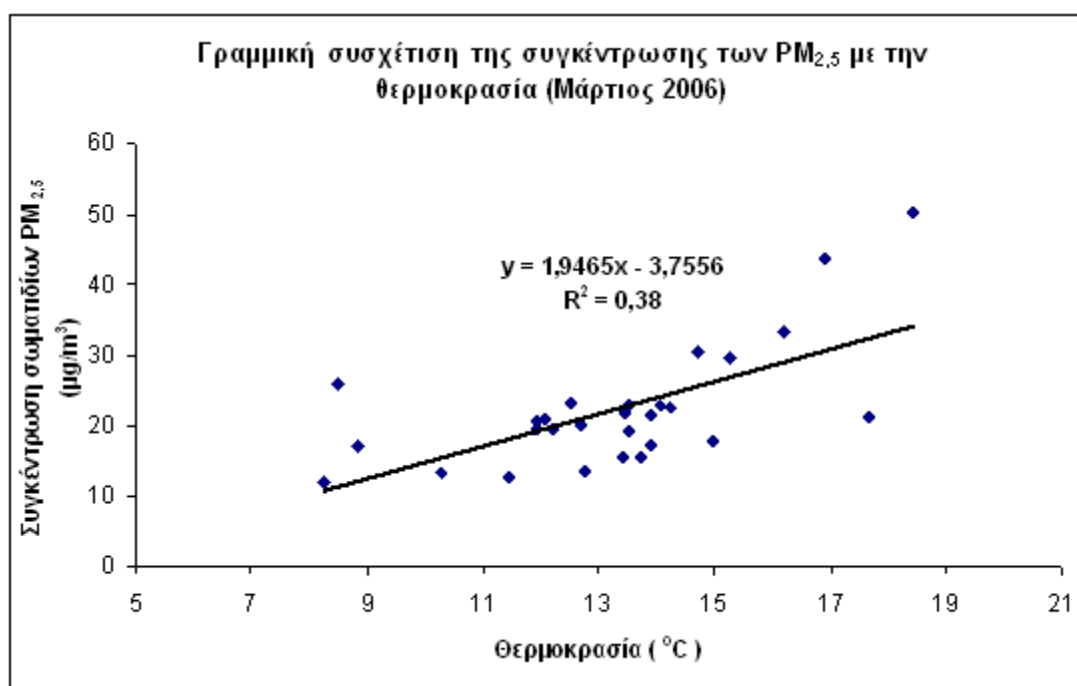
Εικόνα 66: Γραμμική συσχέτιση σχετικής υγρασίας με τη θερμοκρασία τον Αύγουστο 2006.



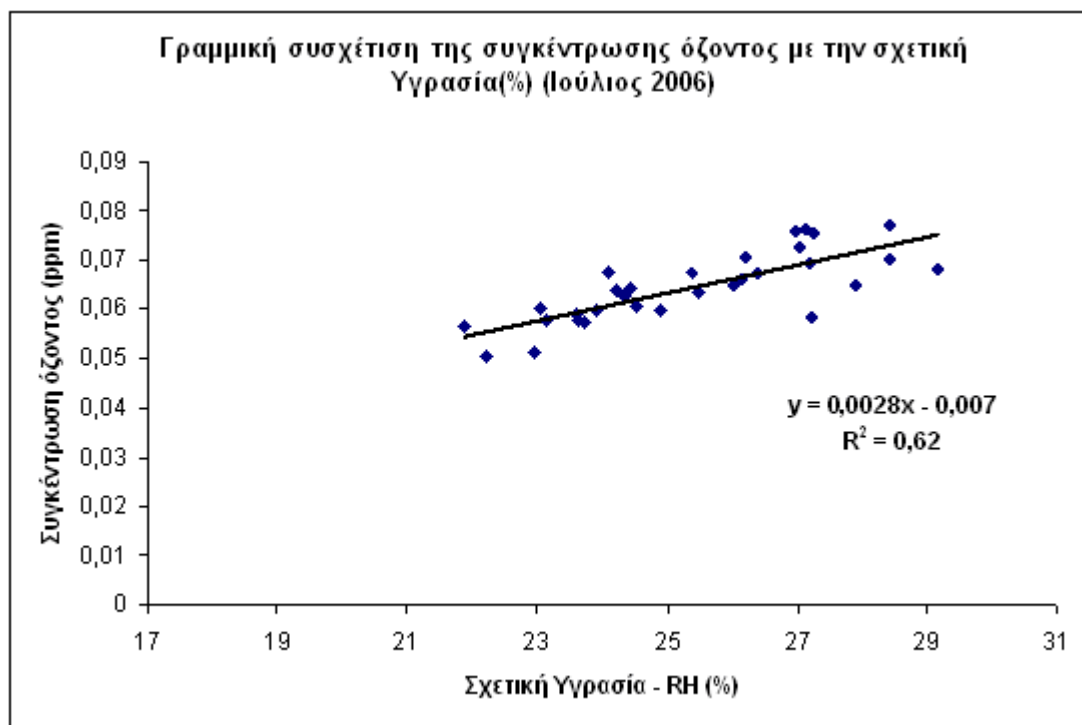
Εικόνα 67: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης όζοντος με τη θερμοκρασία τον Ιούλιο 2006.



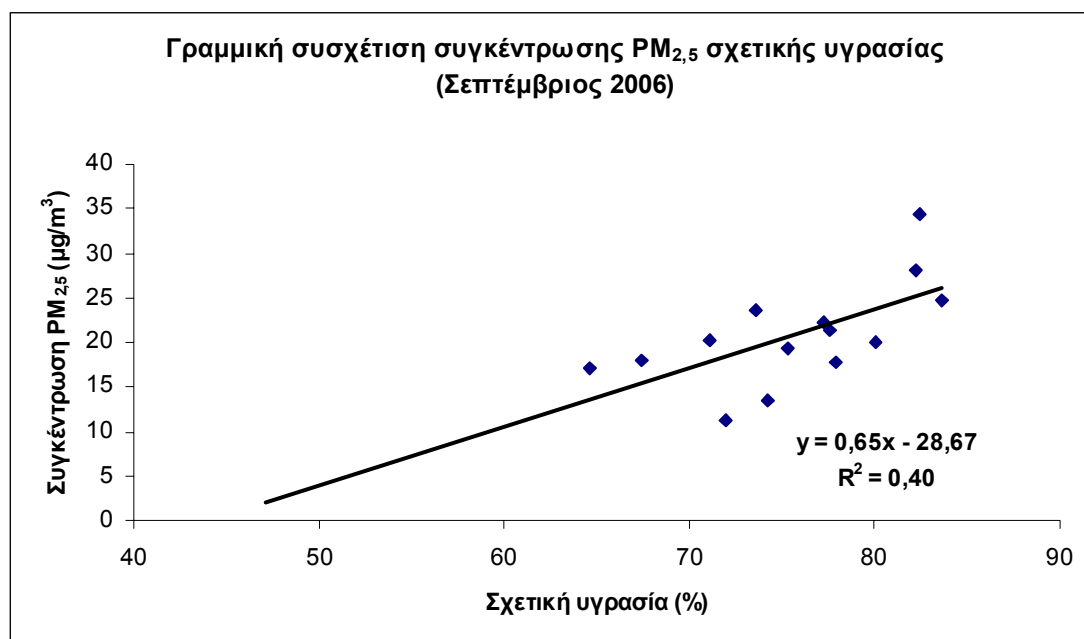
Εικόνα 68: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης PM₁₀ με τη θερμοκρασία τον Ιούνιο 2006.



Εικόνα 69: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης PM_{2,5} με τη θερμοκρασία τον Μάρτιο 2006.



Εικόνα 70: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης όζοντος με τη σχετική υγρασία τον Ιούλιο 2006.

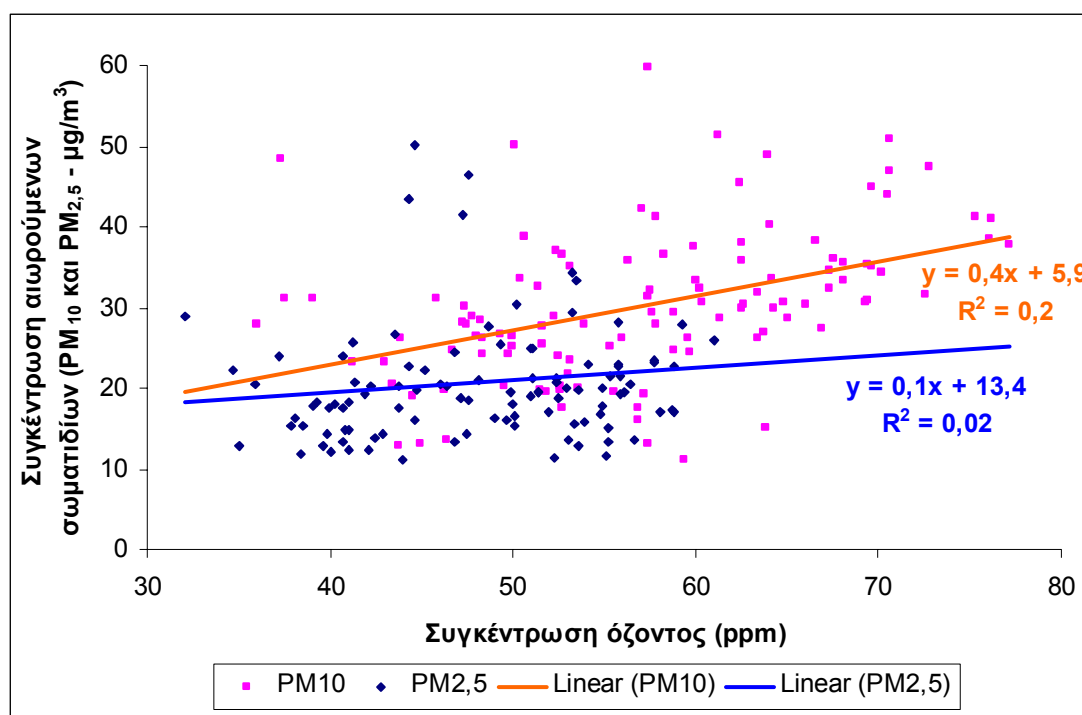


Εικόνα 71: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης όζοντος με τη σχετική υγρασία τον Σεπτέμβριος 2006.

Διαπιστώνουμε πως η θερμοκρασία με την υγρασία παρουσιάζουν μία αρνητική συσχέτιση. Αυτό συμβαίνει διότι τις ημέρες με μεγάλη θερμοκρασία η ατμόσφαιρα είναι ξηρή, από τη στιγμή που είναι πιο δύσκολο να κορεστεί από

υδρατμούς (Σαχσαμάνογλου, 1998). Το όζον παρουσιάζει αυξημένες συγκεντρώσεις τις ημέρες που πνέουν βόρειοι άνεμοι. Η έλευση αερίων μαζών από τον βορρά έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας. Επομένως οι συγκεντρώσεις του όζοντος παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με την θερμοκρασία. Η συγκέντρωση των σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ έχουν θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία (εικόνες 51 και 52 αντίστοιχα), αφού επίσης τα μέγιστα τους προκύπτουν για τις θερμές ημέρες του μήνα.

Τέλος, επειδή οι τιμές του όζοντος είναι γενικά αυξημένες τις ημέρες με χαμηλές θερμοκρασίες (πνοή βόρειων ανέμων), και επειδή η θερμοκρασία με την υγρασία συσχετίζονται αρνητικά, παρουσιάζεται θετική συσχέτιση όζοντος και υγρασίας. Η συγκέντρωση των σωματιδίων PM_{10} παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την σχετική υγρασία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι σε συνθήκες υψηλής υγρασίας τα σωματίδια απορροφούν υδροσταγονίδια και αυξάνουν την μάζα τους. Ο σταθμός βρίσκεται σε παράκτια περιοχή οπότε πιθανόν ένα μεγάλο μέρος των σωματιδίων που καταμετρώνται είναι υγροσκοπικά σωματίδια θαλάσσιου άλατος (sea-salt aerosol).



Εικόνα 72: Γραμμική συσχέτιση συγκέντρωσης $PM_{2,5}$ και PM_{10} με τη συγκέντρωση του όζοντος.

Τέλος έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης των συγκεντρώσεων των σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} με τις συγκεντρώσεις του όζοντος. Τα δεδομένα εξετάστηκαν για όλη την χρονική περίοδο. Αναζήτηση συσχέτισης όμως έγινε και για μικρά χρονικά διαστήματα (1-3 ημέρες), στα οποία είχαμε φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα και κατά συνέπεια πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων. Για όλη την χρονική περίοδο δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των δύο ρύπων όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα (εικόνα 72). Για τις περιόδους των φαινομένων μεταφοράς σκόνης δεν παρουσιάστηκε κάποια τάση εξάρτησης μεταξύ των συγκεντρώσεων των ρύπων αν και σε παλαιότερες μελέτες (Bhugwant και Bremaud, 2001) έχει βρεθεί αρνητική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και του όζοντος.

11.2 Ανάλυση MDS (Non-metric Multi Dimensional Scaling)

Η ανάλυση MDS ομαδοποιεί τα δεδομένα μας βάση των κοινών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν ως προς τις μεταβλητές που τα περιγράφουν. Ουσιαστικά εξετάζει τον βαθμό ομοιότητας των δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές για τις οποίες έχουμε κάποια τιμή (Clarke και Gorley, 2001; Clarke και Warwick, 1994). Στην παρούσα εργασία η ανάλυση MDS εφαρμόστηκε στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5} και των μετεωρολογικών δεδομένων, για τα χρονικά διαστήματα που είχαμε τιμές για όλες τις μεταβλητές, προκειμένου να ανιχνευθούν και να ερμηνευτούν ομοιότητες μεταξύ των δεδομένων. Αρχικά τοποθετήθηκαν τα δεδομένα μας σε δισδιάστατο πίνακα και κατασκευάστηκε η μήτρα ομοιότητας χρησιμοποιώντας το δείκτη ανομοιότητας Bray-Curtis. Ο δείκτης ανομοιότητας περιγράφεται από τη σχέση:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} + x_{ik})}$$

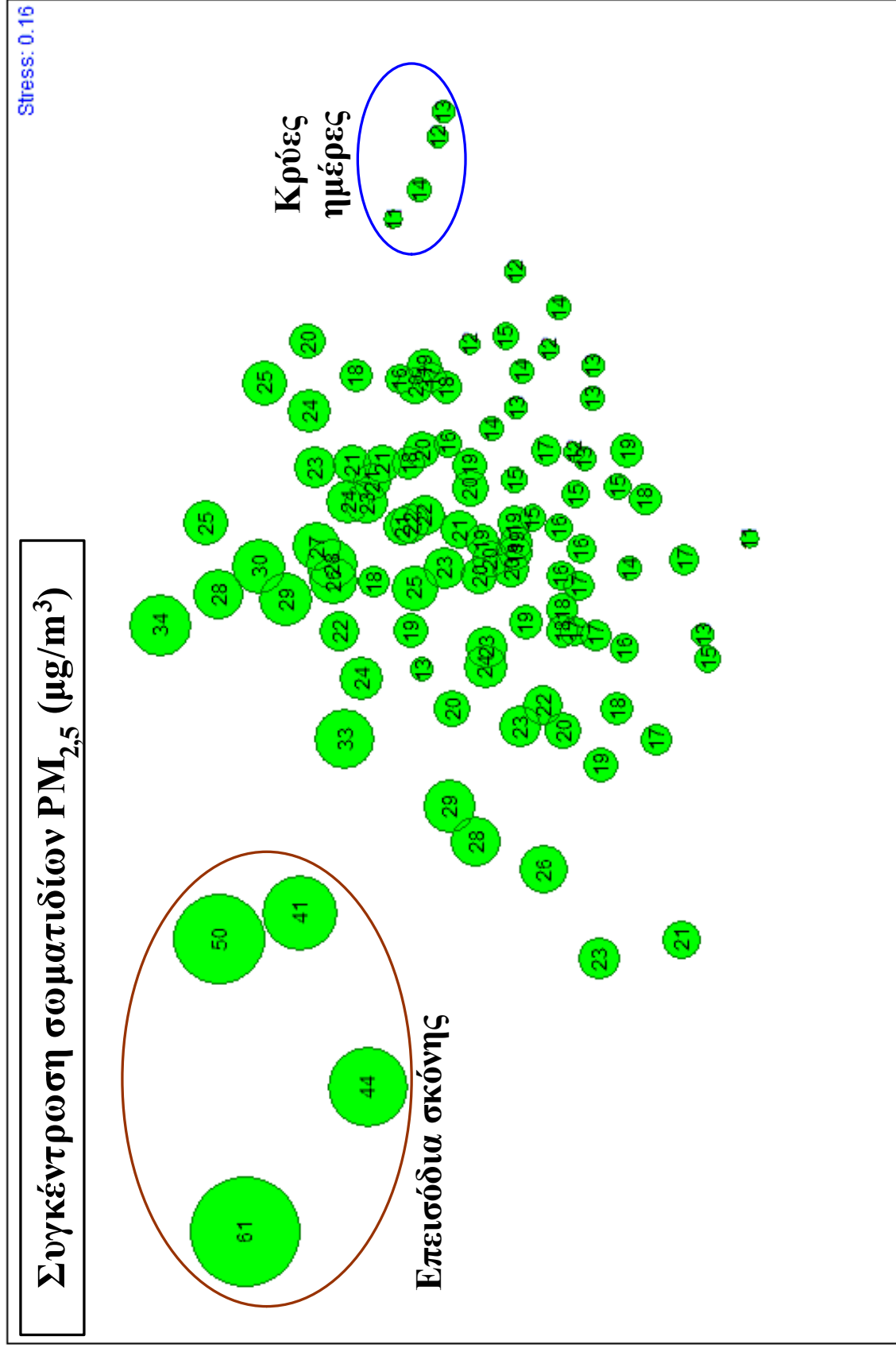
Οι δείκτες j και k αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές ημέρες ενώ το i αναφέρεται στις παραμέτρους των δεδομένων μας (θερμοκρασία, σχετική υγρασία,

ταχύτητα ανέμου, συγκέντρωση σωματιδίων $PM_{2,5}$). Για την κατεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 1 και 2 που αντιπροσωπεύουν τον Βορρά και τον Νότο αντίστοιχα. Στον αριθμητή υπολογίζεται το άθροισμα των απολύτων τιμών των διαφορών μεταξύ όλων των ζευγών μέσων ημερήσιων τιμών (για κάθε παράμετρο). Ο αριθμός αυτός αποτελεί τον δείκτη Manhattan, ο οποίος κανονικοποιείται και προκύπτει ο δείκτης ανομοιότητας Bray-Curtis. Το εύρος τιμών του δείκτη είναι από 0 (όμοια δείγματα) μέχρι 1 (ανόμοια δείγματα) (Krebs, 1999).

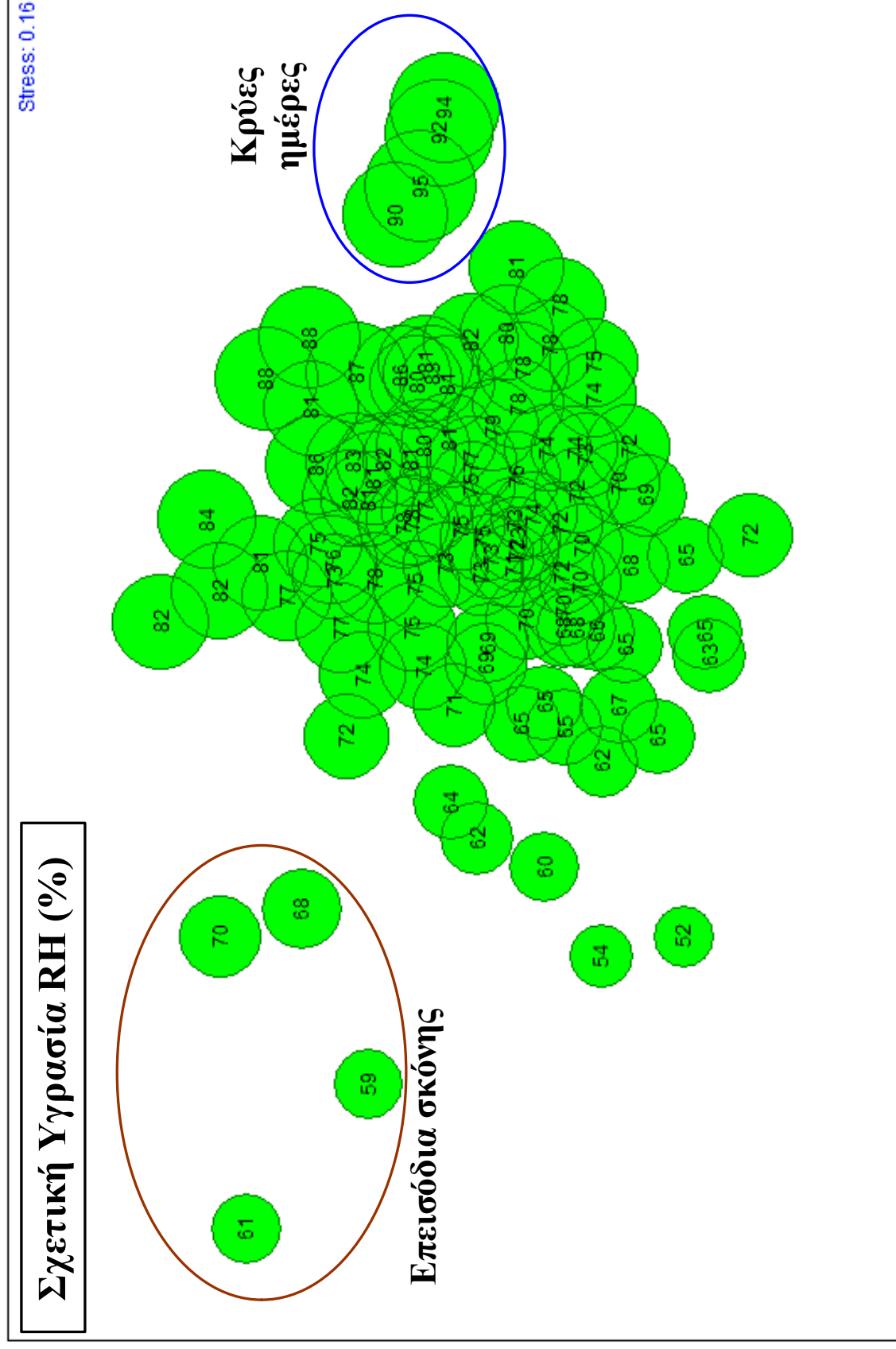
Κατόπιν εφαρμόστηκε η ανάλυση MDS και κατασκευάστηκε το διάγραμμα MDS (εικόνα 73). Σε αυτό το διάγραμμα είναι ομαδοποιημένες οι ημέρες για τις οποίες έχουμε δεδομένα, βάση κάποιων κοινών χαρακτηριστικών. Στο κέντρο του διαγράμματος βρίσκονται οι ημέρες που παρουσιάζουν ομοιότητα σε σχέση με τις παραμέτρους ενώ στα άκρα του διαγράμματος, σε απόσταση από το κύριο σώμα των υπόλοιπων δεδομένων, βρίσκονται οι ημέρες που παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Το stress του διαγράμματος, το οποίο μας δίνει την αναντιστοιχία ανάμεσα στον πίνακα ομοιοτήτων και στο δισδιάστατο διάγραμμα, είναι 0,16, τιμή που χαρακτηρίζει την απεικόνιση ως πολύ καλή. Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα φυσαλίδων (bubble diagrams) που φαίνονται στις εικόνες 74-78. Σε αυτά τα διαγράμματα μπορούμε επομένως να δούμε και τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων που διαμορφώνουν αυτήν την ομοιότητα στο δείγμα μας.



Εικόνα 73: MDS διάγραμμα.



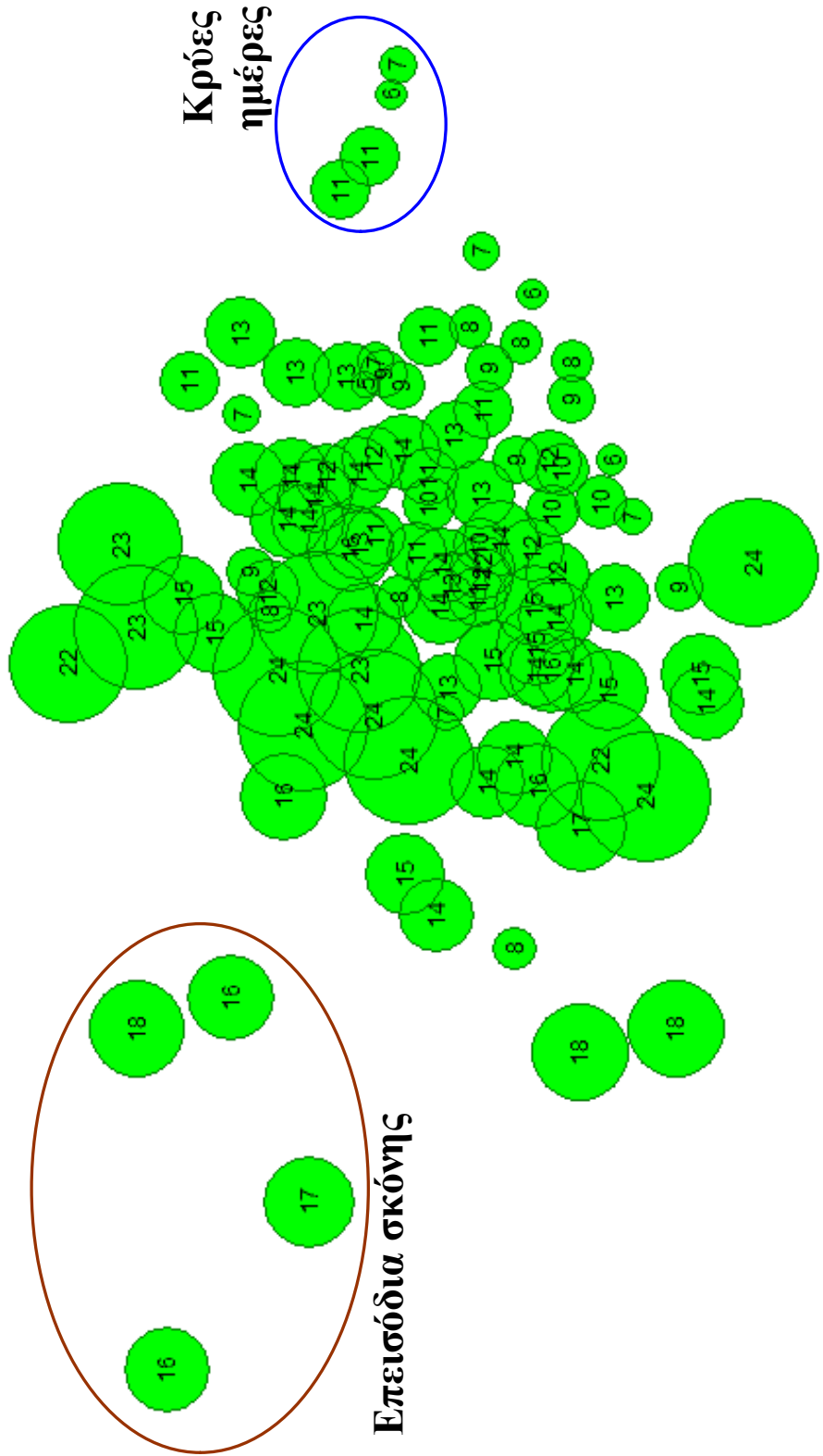
Εικόνα 74 : Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη συγκέντρωση σωματιδίων $PM_{2.5}$.



Εικόνα 75: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη σχετική υγρασία (%).

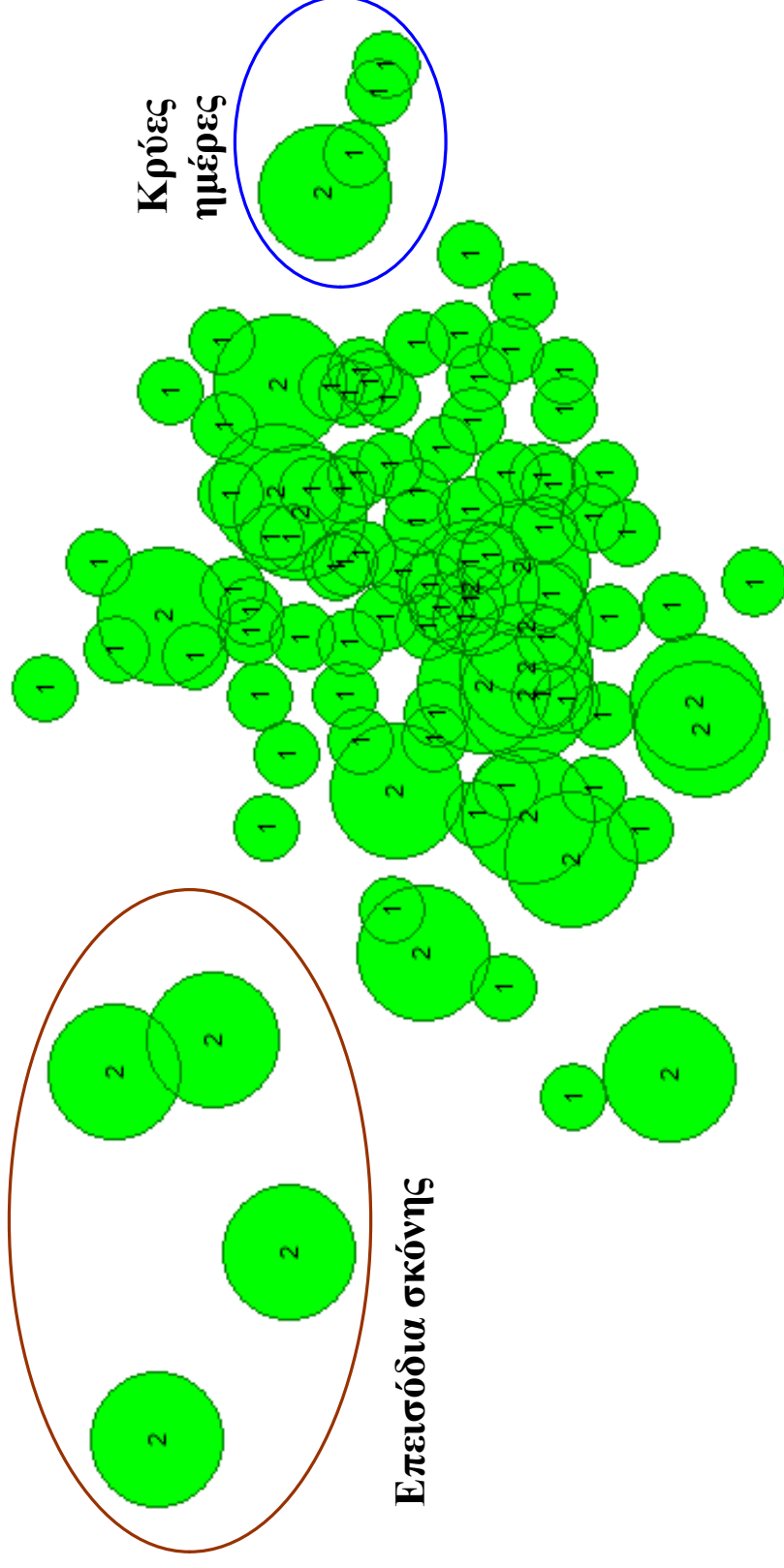
Stress: 0.16

Θερμοκρασία (°C)



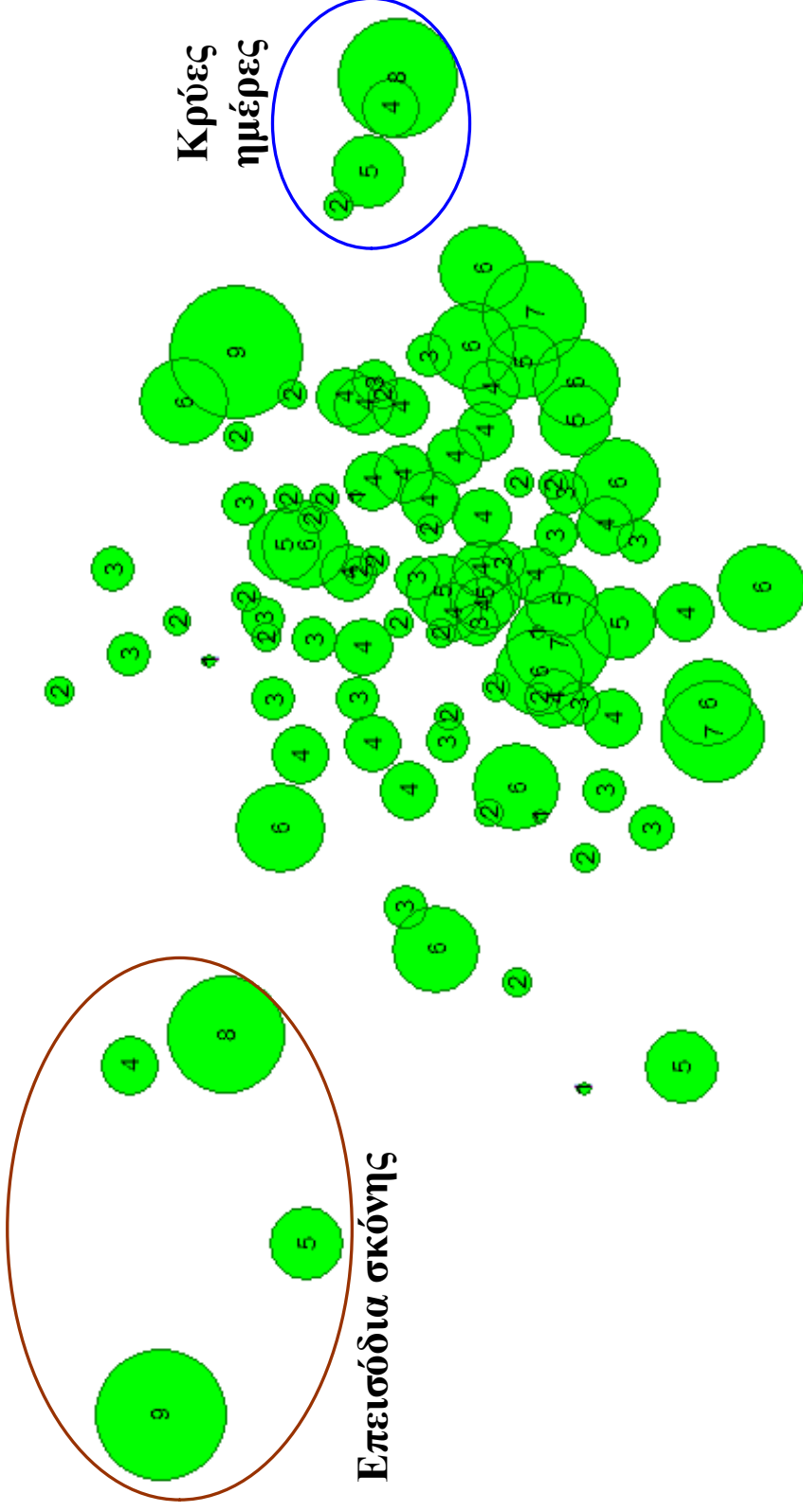
Εικόνα 76: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη θερμοκρασία.

Διεύθυνση ανέμου



Εικόνα 77: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη διεύθυνση του ανέμου.

Ταχύτητα ανέμου (m/sec)



Εικόνα 78: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη ταχύτητα του ανέμου.

Στο διάγραμμα MDS παρατηρούμε πως ο μεγαλύτερος αριθμός των ημερών βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος. Για αυτές τις ημέρες οι τιμές της συγκέντρωσης των $PM_{2,5}$ κυμαίνονται από 11-34 $\mu g/m^3$, η σχετική υγρασία από 52% έως 88% και η θερμοκρασία από 6-24 °C. Η προέλευση των αερίων μαζών, τις ημέρες αυτές, ήταν από βόρειες διευθύνσεις, ενώ η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 1-9 m/sec.

Αντίθετα οι τιμές που βρίσκονται αποκομμένες στα αριστερά του διαγράμματος αντιπροσωπεύουν ημέρες κατά την διάρκεια των οποίων είχαμε εμφάνιση επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Κατά τις ημέρες αυτές παρατηρούμε πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης σωματιδίων $PM_{2,5}$ (41-61 $\mu g/m^3$), υψηλές τιμές για την εποχή μέσης θερμοκρασίας (16-18 °C), χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας (51-70%), πνοή ανέμων σχεδόν αποκλειστικά από τον Νότο. Οι παράμετροι λοιπόν, οι οποίες προκαλούν τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση αυτών των ημερών είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η συγκέντρωση των $PM_{2,5}$.

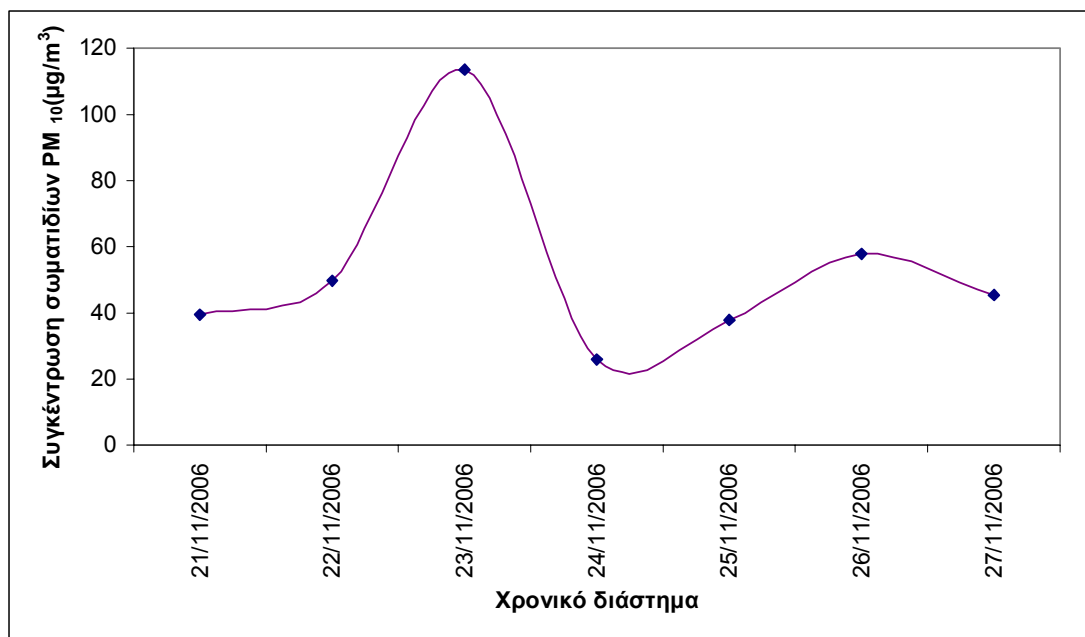
Στα αριστερά του διαγράμματος διακρίνεται μία ομάδα ημερών (τέσσερις) με χαρακτηριστικά τις υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας (90-95%) και χαμηλές για την εποχή θερμοκρασίες (5-11 °C). Κατά την διάρκεια των τεσσάρων ημερών οι άνεμοι έπνεαν σχεδόν αποκλειστικά από τον Βορρά. Η συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ κυμαίνεται από 11-14 $\mu g/m^3$. Σαφή εικόνα για τις ταχύτητες του ανέμου δεν μπορούμε να έχουμε γιατί το εύρος τιμών τους, για τις μέρες αυτές, είναι μεγάλο (4-9 m/sec). Γενικά, οι ημέρες αυτές παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των κρύων ημερών του Χειμώνα και η βασική παράμετρος που προκαλεί την διαφοροποίηση είναι οι υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας.

Από την MDS ανάλυση καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα επίπεδα ρύπανσης της περιοχής επιβαρύνονται ιδιαίτερα τις ημέρες που έχουμε φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Πάντως η συχνότητα εμφάνισης αυτών των φαινομένων είναι μικρή κατά την διάρκεια του έτους. Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα.

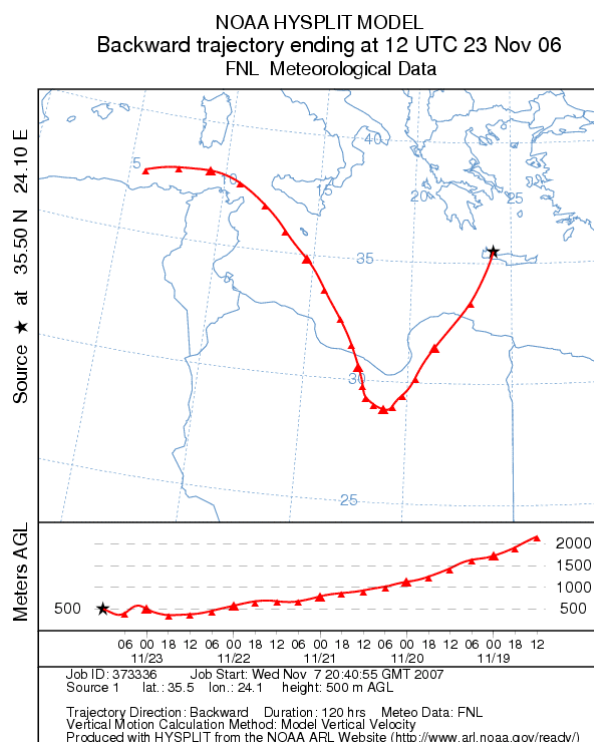
12. ΣΤΑΘΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΑΖΑΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Κατά την χρονική περίοδο από την 21/11 έως τις 28/11 του 2006 πραγματοποιήθηκαν σταθμικές μετρήσεις συγκέντρωσης και κατανομής μάζας των σωματιδίων PM_{10} . Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μάζας τους χρησιμοποιήθηκε το όργανο μέτρησης διαδοχικής δειγματοληψίας (sequential sampler - FH 95 SEQ, THERMO). Η σταθμική μέθοδος μέτρησης της συγκέντρωσης των σωματιδίων αποτελεί την πρότυπη τεχνική προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων βάση της Ελληνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Οι τιμές συγκέντρωσης που προσδιορίζονται από όργανα καταγραφής της σε πραγματικό χρόνο πρέπει να ανάγονται στις τιμές που προκύπτουν από την σταθμική μέθοδο. Αυτό επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τις τιμές από την αυτόματη μέθοδο με έναν συντελεστή αναλογίας. Την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι σταθμικές μετρήσεις, το όργανο καταγραφής της συγκέντρωσης σε πραγματικό χρόνο (beta gauge) δεν λειτουργούσε. Από μετρήσεις όμως που έχουν πραγματοποιηθεί σε άλλη περίοδο (καλοκαίρι) έχει βρεθεί πως ο συντελεστής αναλογίας έχει τιμή ίση με 1,2 (Lazaridis κ.α., 2007).

Για τις μετρήσεις τα φίλτρα Teflon που χρησιμοποιήθηκαν στις δειγματοληψίες ήταν διαμέτρου 47 mm με πόρους 0,5 μm (Gelman Sciences, P5PQ047, ZefluorTM 47mm, 0,5 μm). Τα φίλτρα, πριν και μετά την δειγματοληψία, τοποθετούνται σε θάλαμο ρύθμισης της θερμοκρασίας και υγρασίας για χρονικό διάστημα 24 ωρών και στην συνέχεια ζυγίζονται. Η ζυγαριά μετράει με ακρίβεια 0,01 mg (Sartorius CP 225D, Sartorius AG, Goettingen, Germany). Για την περίοδο των μετρήσεων μας οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 79). Παρατηρούμε πολύ υψηλή τιμή συγκέντρωση σωματιδίων για τις 23/11 (113,4 $\mu g/m^3$). Από την ανάλυση της ρετροπορείας του ανέμου (εικόνα 80) διαπιστώνουμε ότι η υψηλή τιμή συγκέντρωσης των σωματιδίων οφείλεται σε επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα.



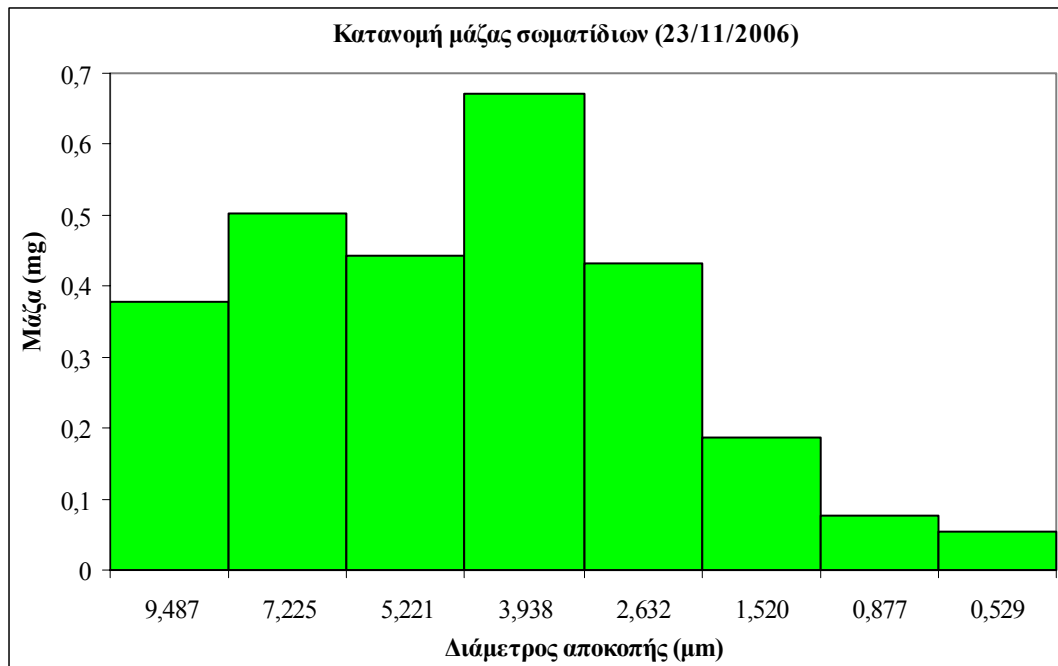
Εικόνα 79: Χρονοσειρά ημερήσιων συγκεντρώσεων σωματιδίων PM₁₀ (21/11-27/11)



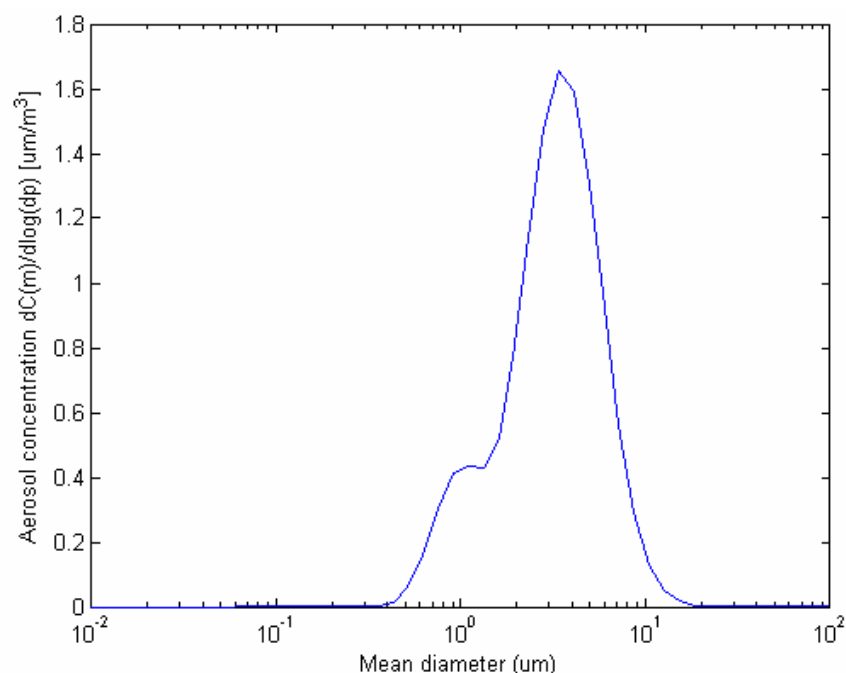
Εικόνα 80: Ανάλυση ρетроπορείας του ανέμου για τις 23/11/2006 (12 UTC).

Την ίδια χρονική περίοδο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον προσδιορισμό της κατανομής μάζας των σωματιδίων με τον διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen (8 σταδίων). Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιήσαμε φίλτρα Glass Fiber και η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι

αντίστοιχη με αυτή στον sequential sampler. Η ζύγιση του φίλτρου σε κάθε στάδιο του διαχωριστή πρόσκρουσης μας δίνει την μάζα των σωματιδίων για το συγκεκριμένο εύρος διαμέτρων. Τα αποτελέσματα για την κατανομή μάζας σωματιδίων στις 23/11 δίνονται συναρτήσει της διαμέτρου αποκοπής του κάθε σταδίου στο διάγραμμα της εικόνας 81 (Τα υπόλοιπα διαγράμματα δίνονται στο παράρτημα 5).



Εικόνα 81: Κατανομή μάζας σωματιδίων βάση της διαμέτρου αποκοπής του κάθε σταδίου (23//11/2006).



Εικόνα 82: Λογαριθμική κανονική κατανομή μάζας των σωματιδίων για τις 23/11.

Η λογαριθμική κανονική κατανομή χρησιμοποιείται στην γραφική απόδοση της κατανομής της μάζας των σωματιδίων. Ωστόσο τα συνήθη όργανα μέτρησης των σωματιδίων για τον προσδιορισμό της κατανομής της μάζας τους συλλέγουν σωματίδια σε διακριτά μεγέθη ή περιοχές διαμέτρων. Η εξαγωγή των παραμέτρων της λογαριθμικής καμπύλης κατανομής πραγματοποιείται με την παρακάτω διαδικασία. Από τις μετρήσεις του οργάνου συλλογής παίρνουμε μια καμπύλη που χωρίζεται σε διακριτά τμήματα διαπιστώνουμε, εάν το αεροζόλ χαρακτηρίζεται από δύο ή μια λογαριθμικές κατανομές και υπολογίζουμε το ποσοστό της μάζας των σωματιδίων κάθε περιοχής. Στη συνέχεια κατασκευάζεται ένα διάγραμμα της διαμέτρου των σωματιδίων συναρτήσει του αθροιστικού ποσοστού μάζας από το οποίο παίρνουμε εύκολα την μέση αεροδυναμική διάμετρο μάζας ($d_{50\%}$) και τη διάμετρο, στην οποία αντιστοιχεί το 84% (αθροιστικό ποσοστό) της μάζας. Η τυπική απόκλιση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_g = \frac{d_{84\%}}{d_{50\%}} = \frac{d_{50\%}}{d_{16\%}} = \left(\frac{d_{84\%}}{d_{16\%}} \right)^{1/2}$$

Έτσι από τα διακριτά σημεία κατασκευάσαμε με συνεχή γραμμή την λογαριθμική καμπύλη κατανομής της μάζας των σωματιδίων. Παράδειγμα της λογαριθμικής κανονικής κατανομής μάζας των σωματιδίων δίνεται για τις 23/11 (εικόνα 82). Για τις

υπόλοιπες ημέρες τα αντίστοιχα διαγράμματα βρίσκονται στο παράρτημα. Από το διάγραμμα μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό των λεπτών (fine) και χονδρών (coarse) σωματιδίων. Βρίσκουμε πως η κατανομή της μάζας των σωματιδίων, για όλες τις ημέρες μετρήσεων, αποτελείται από δύο κανονικές λογαριθμικές κατανομές μάζας. Για την περίοδο των μετρήσεων, στον πίνακα 2, παρουσιάζονται τα ποσοστά των λεπτών σωματιδίων για κάθε ημέρα. Για τις 23/11 (επεισόδιο μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα) παρατηρούμε ότι το ποσοστό των λεπτών σωματιδίων είναι πολύ χαμηλό (13%).

Ημερομηνία	Ποσοστό λεπτών σωματιδίων (%)
21/11/2006	48
22/11/2006	23,5
23/11/2006	13
24/11/2006	36
25/11/2006	32
26/11/2006	45
27/11/2006	55

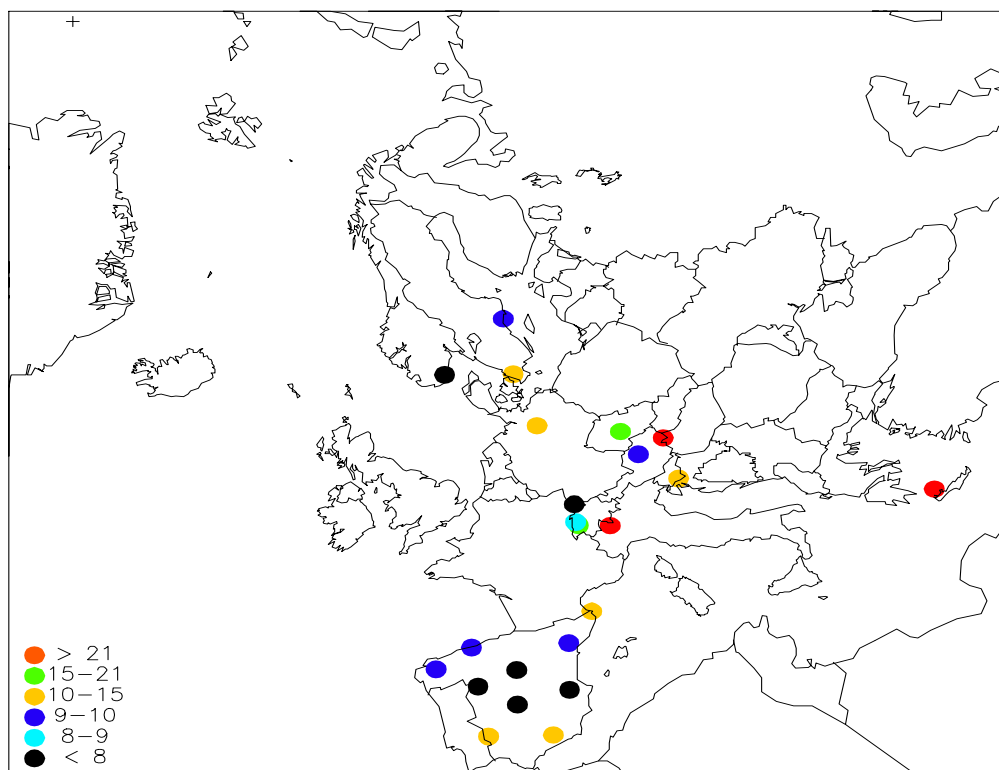
Πίνακας 2: Ποσοστά λεπτών σωματιδίων για την χρονική περίοδο 21/11 - 28/11.

13. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ $PM_{2.5}$ - PM_{10} -ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

13.1 Σύγκριση επιπέδων $PM_{2.5}$ - PM_{10} Ακρωτηρίου με διάφορους σταθμούς της Ευρώπης (2004-2005)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συγκρίνουμε τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) με αυτά που παρατηρούνται από σταθμούς στην Ευρώπη. Για την σύγκριση επιλέχθηκαν οι σταθμοί του δικτύου του EMEP (Co-Operated Programme for Monitoring and Evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe) γιατί πρόκειται για σταθμούς με όμοια χαρακτηριστικά με τον σταθμό του Ακρωτηρίου. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί αυτοί είναι αγροτικοί (rural background), απομακρυσμένοι

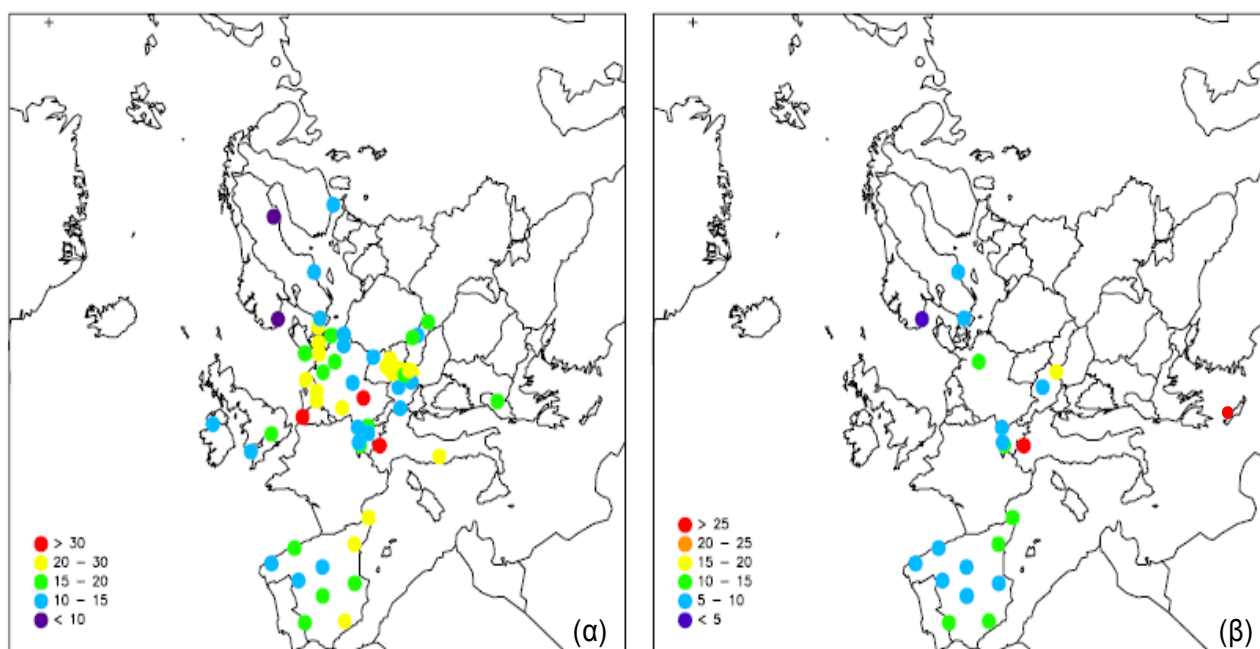
από ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης και μετρούν συγκεντρώσεις υποβάθρου. Παρακάτω στην εικόνα φαίνονται οι μέσες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για το 2005.



Εικόνα 83: Επίπεδα συγκέντρωσης σωματιδίων $PM_{2,5}$ από σταθμούς στην Ευρώπη.

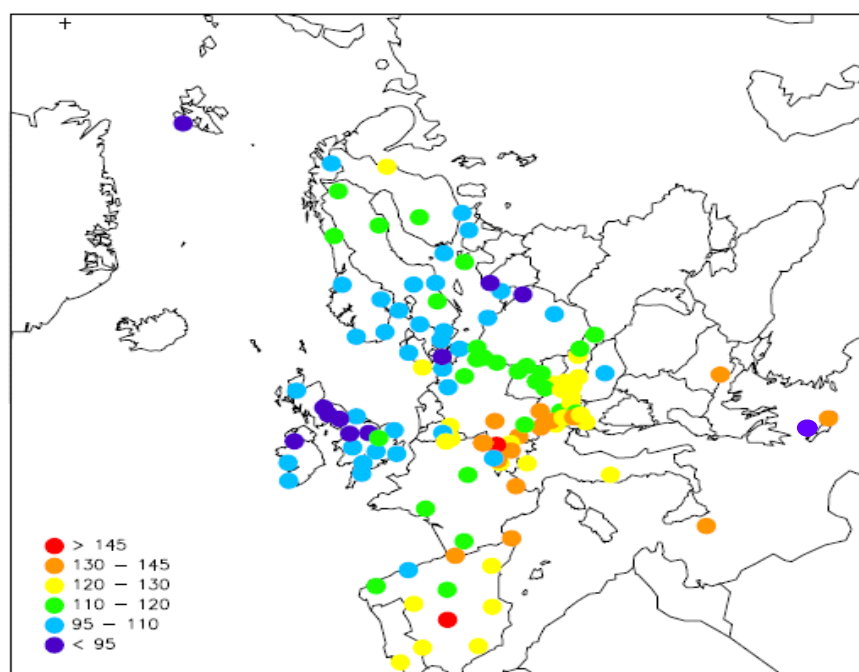
Παρατηρούμε χαμηλές συγκεντρώσεις στην Ιβηρική χερσόνησο. Οι υπαίθριοι σταθμοί της Ισπανίας καταγράφουν στην πλειοψηφία τους συγκεντρώσεις σωματιδίων $PM_{2,5}$ μικρότερες από $8 \mu g/m^3$. Αντίθετα, στην κεντρική Ευρώπη τα επίπεδα συγκέντρωσης των σωματιδίων είναι υψηλότερα. Ο σταθμός του Ακρωτηρίου για το 2005 έδωσε μέση συγκέντρωση $PM_{2,5}$ ίση με $25,48 \mu g/m^3$, που αποτελεί από τις υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε αιωρούμενα σωματίδια, σε υπαίθριους σταθμούς, για την Ευρώπη. Γενικά οι σταθμοί στην νότια Ευρώπη επηρεάζονται από την μεταφορά σωματιδίων από περιοχές με έντονη ρύπανση (βιομηχανίες, μεγάλα αστικά κέντρα).

Στην εικόνα 84-α φαίνεται ο αντίστοιχος χάρτης για τα PM_{10} για το 2004. Ο αριθμός των σταθμών αυτή την χρονιά είναι μεγαλύτερος και μπορούμε να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για τα επίπεδα συγκέντρωσης στην Ευρώπη.



Εικόνα 84: Επίπεδα συγκέντρωσης σωματιδίων (α) PM_{10} και (β) $PM_{2.5}$ για το έτος 2004 σε διάφορους σταθμούς στην Ευρώπη.

13.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ $PM_{2.5}$ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ (2005)



Εικόνα 85: Επίπεδα συγκέντρωσης όζοντος για το 2005 για διάφορους σταθμούς στην Ευρώπη.

Στον σταθμό του Ακρωτηρίου, για το έτος 2005, διαθέτουμε μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις του όζοντος το χρονικό διάστημα από τις 31/8 έως τις 31/12. Για την επεξεργασία επομένως χρησιμοποιήσαμε περίπου το 33% των συνολικών μετρήσεων για ένα έτος, όταν οι σταθμοί στο δίκτυο του EMEP έχουν χρησιμοποιήσει περισσότερο από το 75% των συνολικών μετρήσεων. Τα αποτελέσματα επομένως για αυτό το έτος θα είναι ενδεικτικά. Στην εικόνα 85 φαίνεται ο χάρτης που κατασκευάστηκε με τις μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις για το όζον.

Παρατηρούμε ότι στις Σκανδιναβικές περιοχές και στην Αγγλία παρατηρούνται οι χαμηλότερες μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις του όζοντος και οι περισσότεροι σταθμοί καταγράφουν την συγκέντρωση του όζοντος να κυμαίνεται από 95 έως 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αυτό συμβαίνει γιατί οι περιοχές στην Βόρεια Ευρώπη έχουν μικρά ποσοστά ηλιοφάνειας με αποτέλεσμα να μην λαμβάνει χώρα έντονη φωτοχημική δραστηριότητα. Αντίθετα η κεντρική και νότια Ευρώπη παρουσιάζει πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις. Για τα υψηλά επίπεδα όζοντος στην νότια Ευρώπη ευθύνεται κυρίως η μεταφορά των πρόδρομων ενώσεων του, οι οποίες εκπέμπονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη και τα μεγάλα ποσοστά ηλιοφάνειας (έντονη φωτοχημική δραστηριότητα). Χαρακτηριστικά ο σταθμός της Φινοκαλιάς, ο οποίος είναι ένας φυσικός σταθμός (natural), παρουσιάζει επίπεδα συγκέντρωσης μεταξύ 130 και 145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, τα οποία είναι από τα υψηλότερα στην Ευρώπη.

14. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε καταγραφή και στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} και $\text{PM}_{2,5}$) καθώς και των μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου) της περιοχής του Ακρωτηρίου. Από την ανάλυση των χρονοσειρών των μετεωρολογικών δεδομένων για την εύρεση των κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα:

- Το θερμομετρικό εύρος της μέγιστης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (Ιανουάριος) σε σχέση με την ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία

(Αύγουστος) είναι ίσο με 17 °C. Η θερμοκρασιακή αυτή διαφορά κατατάσσει το κλίμα της περιοχής σε Μεσογειακό υγρό. Οι μέγιστες θερμοκρασίες συνδέονται με την μεταφορά των αερίων μαζών από τον Νότο (Λίβας) ενώ αντίστοιχα οι χαμηλές θερμοκρασίες με την μεταφορά αερίων μαζών από τον Βορρά.

- Οι τιμές της μέσης ημερήσιας σχετικής υγρασίας είναι πολύ υψηλές (60% - 80%) κατά την διάρκεια σχεδόν ολόκληρης της περιόδου των μετρήσεων (2005-2006). Συχνά η μέση ωριαία τιμή σχετικής υγρασίας προσέγγισε την τιμή 100%. Αυτό οφείλεται στην πολύ κοντινή απόσταση του σταθμού από την θάλασσα. Οι χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας που καταγράφονται κάποιες ημέρες (28/3/2005: 41,38%, 17/4/2005: 41,84% και 20/6/2006: 42,46%) συνδέονται με πνοή ανέμων από Νότια διεύθυνση, έλευση θερμών αερίων μαζών από την Αφρική και έντονα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα (Sahara dust events).
- Στον σταθμό καταγράφονται σχετικά υψηλές ταχύτητες ανέμου, γεγονός που οφείλεται στην τοπογραφία της γύρω περιοχής. Η πλειοψηφία των ανέμων (40%) που πνέουν με ταχύτητες μεγαλύτερες από 10 m/sec, για το έτος 2006, έχουν δυτικές διευθύνσεις. Επίσης παρατηρούμε μικρό ποσοστό ανέμων με ταχύτητες μικρότερες των 0,3 m/sec (άπνοια), της τάξης του 1%.
- Από τα ροδογράμματα των ανέμων, διαπιστώνουμε πως την εποχή του Καλοκαιριού επικρατούν καθολικά οι άνεμοι που πνέουν από Βόρειες και Δυτικές διευθύνσεις (ποσοστό 75,9%). Η συχνή εμφάνιση των ανέμων με Βόρεια διεύθυνση οφείλεται στο γεγονός πως την συγκεκριμένη εποχή πνέουν στην περιοχή τα μελέμια (ετησίες). Οι υπόλοιπες εποχές του έτους εμφανίζουν μια πιο ισορροπημένη εικόνα ως προς τα ποσοστά πνοής των ανέμων ανά κατεύθυνση.

Όσο αφορά στα επίπεδα συγκέντρωσης του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή μελέτης βρήκαμε ότι:

- Η μέση τιμή των ωριαίων συγκεντρώσεων για το όζον, ήταν 0,053 ppm για το 2006 και 0,044 ppm για το 2005 (31/8 – 31/12). Η αντίστοιχη τιμή των συγκεντρώσεων του όζοντος για την περίοδο 2003 – 2004 ήταν τα 0,040 ppm

(Βουλγαράκης, 2004). Παρατηρούμε μια αύξηση των επιπέδων του όζοντος στην περιοχή του Ακρωτηρίου.

- Η συγκέντρωση του όζοντος παρουσιάζει τάση αύξησης τους καλοκαιρινούς μήνες και μείωσης τους χειμερινούς. Αυτό οφείλεται στην εντονότερη φωτοχημική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα το καλοκαίρι εξαιτίας των υψηλότερων ποσοστών ηλιοφάνειας καθώς και στα συχνά φαινόμενα νετού τον Χειμώνα, που έχουν ως αποτέλεσμα την απόπλυση των πρόδρομων ενώσεων του όζοντος. Η μέγιστη μέση μηνιαία συγκέντρωση όζοντος εμφανίζεται τον Ιούλιο (0,064 ppm) και η ελάχιστη τον Δεκέμβριο (0,039 ppm).
- Η ημερήσια διακύμανση του όζοντος εξαρτάται από την φωτοχημική δραστηριότητα στην περιοχή. Επομένως την ημέρα καταγράφονται υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος από την νύχτα. Η μέγιστη συγκέντρωση εμφανίζεται στις 3:00 το μεσημέρι. Η ελάχιστη συγκέντρωση παρουσιάζεται στις 6:00 το πρωί, ώρα που ανατέλει ο ήλιος και ξεκινά η φωτοχημική δραστηριότητα. Ενώ θα περιμέναμε η συγκέντρωση του όζοντος να έχει μια αυξητική πορεία αφού υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και γίνεται παραγωγή του μέσω των φωτοχημικών αντιδράσεων, εντούτοις η συγκέντρωση παρουσιάζει σταθερή πορεία ως τις 8:00 το πρωί. Αυτό οφείλεται στην παραγωγή οξειδίων του αζώτου από την κίνηση των αυτοκινήτων.
- Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} παρουσιάζουν μέγιστη ημερήσια τιμή στις 07/04/2006 ($167,36 \pm 197,50 \mu g/m^3$) κατά τη διάρκεια επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα. Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή εμφανίζεται κατά το μήνα Ιούλιο ($33,77 \mu g/m^3$). Τέλος, η μέση τιμή συγκέντρωσης PM_{10} για όλη την περίοδο μετρήσεων είναι τα $29,52 \mu g/m^3$. Η μέση ημερήσια συγκέντρωση για τα σωματίδια PM_{10} υπερβαίνει το όριο που έχει θέσει η Ε.Ε. ($50 \mu g/m^3$) επτά (7) φορές το χρόνο (για χρονικό διάστημα μετρήσεων περίπου έξι μήνες μέσα στο έτος 2006), όταν δεν θα πρέπει να το υπερβαίνει συνολικά 35 φορές.
- Η μέση ετησια τιμή συγκέντρωσης των σωματιδίων $PM_{2,5}$ για το 2005 ήταν $25,26 \mu g/m^3$. Κατά την διάρκεια του έτους καταγράφονται κάποιες πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε $PM_{2,5}$ που οφείλονται σε φαινόμενα μεταφοράς

σκόνης από την Σαχάρα (π.χ. 17/4/2005: $281,57 \pm 267,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή συγκέντρωσης εμφανίζεται τον Απρίλιο ($32,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και η ελάχιστη τον Δεκέμβριο ($18,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Γενικά παρατηρείται μια τάση αύξησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τους καλοκαιρινούς μήνες και μείωσης τους χειμερινούς.

- Ο σταθμός του Ακρωτηρίου παρουσιάζει μία από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε όζον σε σχέση με άλλους σταθμούς στην Ευρώπη για το 2005. Η συγκέντρωση αυτή όμως δεν είναι αντιπροσωπευτική γιατί αντιστοιχεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα του έτους για το οποίο είχαμε μετρήσεις.
- Ο σταθμός καταγράφει και μία από τις μεγαλύτερες ετήσιες συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα σωματίδια σε σύγκριση με άλλους σταθμούς της Ευρώπης. Κύρια αιτία των υψηλών επιπέδων συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων στον σταθμό είναι η μεταφορά σωματιδίων από άλλες περιοχές (συχνά επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα).

Από την ανάλυση των ρετροπορειών των ανέμων και την κατασκευή στατιστικών χαρτών προέλευσης των αερίων μαζών ανά εποχή και κατεύθυνση συμπεραίνουμε:

- Τις ημέρες που καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος έχουμε προέλευση αερίων μαζών από περιοχές που έχουν υψηλές εκπομπές πρόδρομων ενώσεων του όζοντος (Κεντρική Ευρώπη, Αθήνα, Βαλκάνια, Μικρά Ασία). Αντιθέτως, τα επίπεδα του όζοντος είναι χαμηλά όταν οι αέριες μάζες προέρχονται αποκλειστικά από θαλάσσιες περιοχές. Αντίστοιχα, τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλά όταν οι αέριες μάζες προέρχονται από τον Νότο (επεισόδια σκόνης από την Αφρική).

Δεν βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ των μετεωρολογικών παραμέτρων και των συγκεντρώσεων των ρύπων παρά μονάχα για κάποιους συγκεκριμένους μήνες (π.χ. PM_{10} – υγρασία, Σεπτέμβριος). Η MDS ανάλυση απέδωσε παραστατικά τη διαφοροποίηση ορισμένων ημερών από τις υπόλοιπες. Οι ημέρες αυτές είναι λίγες και διαφοροποιούνται από το κύριο σώμα των μετρήσεων λόγω υψηλών συγκεντρώσεων σωματιδίων ή εξαιτίας υψηλών τιμών σχετικής υγρασίας..

Η κατανομή μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή μελέτης αποτελείται από δύο κανονικές λογαριθμικές κατανομές, μια στην περιοχή των λεπτών και μία στην περιοχή των χονδρών σωματιδίων. Το ποσοστό των χονδρών σωματιδίων αυξάνεται όταν έχουμε φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Στις 23/11/2006 βρήκαμε πως το ποσοστό αυτό ισούται με 87% ενώ την υπόλοιπη περίοδο μετρήσεων (21/11/2006 - 27/11/2006, σταθμικές μετρήσεις με τον διαχωριστή πρόσκρουσης σωματιδίων Andersen 8 σταδίων) το ποσοστό των χονδρών σωματιδίων κυμαινόταν περίπου στο 50%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξανδροπούλου, Β., (2003) **‘Μελέτη της εναπόθεσης και μεταφοράς σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα’**, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ahrens, C. D., (1994) **‘Meteorology today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment’**, West Publishing Company, USA.

Βαλαβανίδης, Α., (2007) **‘Οικοτοξικολογία και περιβαλλοντική τοξικολογία’**, Εκδόσεις Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα.

Βουλγαράκης, Α., (2004) **‘Μελέτη τροποσφαιρικού όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων’**, Μεταπτυχιακή εργασία.

Bergametti, G., Dutot, A.-L., Buat-Ménard, P., Losno, R. and Remoudaki, E. (1989) **‘Seasonal variability of the elemental composition of atmospheric aerosol particles over the northwestern Mediterranean’**, Tellus, 41B, 353-361.

Bhugwant C.; Brémaud P. (2001) **‘Simultaneous Measurements of Black Carbon, PM₁₀, Ozone and NO_x Variability at a Locally Polluted Island in the Southern Tropics’**, Journal of Atmospheric Chemistry, 39, Number 3, 261-280.

Γεντεκάκης, Ι., (1999) **‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες’**, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

CEN (1998) Air Quality. Determination of the PM₁₀ fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. Brussels, EN 12341:1998.

Clarke, K. R and Warwick, R. M., (1994) **‘Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation (MDS)’**, Plymouth Marine Laboratory.

Clarke, K. R., and Gorley R. N., (2001) **‘Primer v5, User Manual/ Tutorial’**, Primer-E Ltd, Plymouth.

Draxler, R.R., (1992) Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories (HY-SPLIT): Version 3.0 -- User's Guide and Model Description. NOAA Technical Memo ERL ARL-195, 26 p. with appendices.

Dulac, F., Buat-Ménard, P., Arnold, M., Ezat, U. and Martin, D. (1987) **‘Atmospheric input of trace metals to the western Mediterranean Sea: 1. Factors controlling the variability of atmospheric concentrations’**, J. Geophys. Res., 92, 8437-8453.

EMEP, (2007) **‘Ozone measurements 2005’**, EMEP/ CCC-Report 2/2007.

Escudero, M., X. Querol, J. Pey, A. Alastuey, N. Pe´rez, F. Ferreira, S. Alonso, S. Rodriguez,d, E. Cuevas (2007) **‘A methodology for the quantification of the net African dust load in air quality monitoring networks’**, Atmospheric Environment, 41, 5516–5524.

Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Alarcon, M., Viana, M.M., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodriguez, S. (2005) **‘Wet and dry African dust episodes over Eastern Spain’**, Journal of Geophysical Research 110 (D18S08), 10.1029.

ESM Andersen Instruments GmbH, (2003) **‘Operating Manual, Particulate monitoring instrument, FH 62 I-R’**.

Fischer, P. H., Brunekreef, B., and Lebrete, E. (2003) **‘Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands’**, Atmos. Environ., 38, 1083–1085.

Gradel, T. E. and Crutzen, P.J., (1993) **‘Atmospheric Change: An Earth System Perspective’**, W.H. Freeman and Company, New York.

Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekoussis, M., J. P. Putaud and N. Mihalopoulos (2006) **‘Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean’**, Atmospheric Environment, 40, 4679 – 4690.

Gerasopoulos, E., G. Kouvarakis, M. Vrekoussis, M. Kanakidou, and N. Mihalopoulos (2005) **‘Ozone variability in the marine boundary layer of the eastern Mediterranean based on 7-year observations’**, J. Geophys. Res., 110, D15309.

Heffter J.L. (1980) **‘Air Resources Laboratories atmospheric transport dispersion model (ARL-ATAD)’**, Technical Memo ERL ARL-81, NOAA, Rockville.

Horiba, Ltd., (1998) **‘Operation manual for ambient ozone monitor APOA-360.**

Καραθανάσης, Στ., (2007) **‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση- Φωτοχημικά Μοντέλα Ποιότητας του Αέρα’**, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Katsoulis, B.D., (1999) **‘The potential for long range transport of air pollutants into Greece, a climatological analysis’**, The Science of the Total Environment, 231, 101-113.

Κουβαράκης, Γ., (2002) **‘Όζον και Αιωρούμενα σωματίδια στην Ανατολική Μεσόγειο’**, Διδακτορική διατριβή.

Kouvarakis, G., M. Vrekoussis, N. Mihalopoulos, K. Kourtidis, B. Rappengluck, E. Gerasopoulos and C. Zerefos, (2002) **‘Spatial and temporal variability of tropospheric ozone (O₃) in the boundary layer above the Aegean Sea (Eastern Mediterranean)’**, J. Geophys. Res., 107, 8137.

Κουϊμτζής, Θ., Κ. Φυτιάνος, Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου, (1998) **‘Χημεία Περιβάλλοντος’**, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Krebs, C.J., (1999) **‘Ecological Methodology’**, Addison Wesley Longman Inc.

Λαζαρίδης, Μ., (2005) **‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας’**, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Λαζαρίδης, Μ., (2004) **‘Σημειώσεις Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας’**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Λαζαρίδης Μ., (2004) Σημειώσεις μαθήματος **‘Ποιότητα της ατμόσφαιρας σε εσωτερικούς χώρους’**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Lazaridis, M., K. Eleftheriadis, J. Smolik, I. Colbeck, G. Kallos, κ.α. (2006) **‘Dynamics of fine particles and photo-oxidants in the Eastern Mediterranean (SUB-AERO)’**, Atmospheric Environment, 32, 6214-6228.

Lazaridis, M., L. Dzumbova, I. Kopanakis, J. Ondracek, T. Glytsos, κ.α., (2007) **‘Particulate Matter Measurements at the Akrotiri research station’**, Water, Air & Soil Pollution, In press.

Λέκκας, Μ., Α. Βουλγαράκης, Ε. Χατζημανωλάκη και Ε. Κουτσογιαννάκη, (2003) **‘Κλιματολογικός Χάρτης της Κρήτης’**, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Λέκκας, Μ., (2005) **‘Μικροκλιματική μελέτη και ανάλυση των τάσεων των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα και του υετού στον μετεωρολογικό σταθμό Σούδας (1959-2004)’**, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Levy, H., (1971) **‘Normal atmosphere: Large radical and formaldehyde concentrations predicted’**, Science, 173, 141-143.

Mahura, A. G., Jaffe, D., Andres, R., and Merrill, J. (1999) **‘Atmospheric transport pathways from the Bilibino nuclear power plant to Alaska’**, Atmospheric Environment, 33/30, 5115–5122.

Mihalopoulos, N., E. Stefanou, M. Kanakidou, S. Pilitsidis and P. Bousquet, (1997) **‘Tropospheric aerosol ionic composition above the Eastern Mediterranean area’**, Tellus 49B, 314-326.

NOAA Air Resources Laboratory, (2002) ‘Archived backward trajectories’ at <https://www.arl.noaa.gov/ready/sec/hysplit4.html>.

Pope, C.A., Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E. and Heath, Jr. D.W. (1995) **‘Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U. S. adults’**, American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, 151, 669-674.

Querol, X., A. Alastuey, S. Rodriguez, M.M. Viana, B. Artinano, P. Salvador, E. Mantilla, S. Garcia do Santos, R. Fernandez Patier, J. de La Rosa, A. Sanchez de la Campa, M. Menendez, J.J. Gil. **‘Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain’**, Science of the Total Environment 334– 335 (2004) 359– 376.

Rodriguez, S., X. Querol, A. Alastuey, G. Kallos and O. Kakaliagou, (2001) **‘Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain’**, Atmospheric Environment, 35, 2433-2447.

Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Viana, M. M. and Alarcon, M. (2004) **‘Comparative PM₁₀-PM_{2.5} source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain’**, The Science of the Total Environment, 328, 95-113.

Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A. and Mantilla, E. (2002) **‘Origin of high summer PM₁₀ and TSP concentrations at rural sites in Eastern Spain’**, Atmospheric Environment, 36, 3101-3112.

Rolph, G.D., and R.R., Draxler (1990), **‘Sensitivity of three-dimensional trajectories to the spatial and temporal densities of the wind field’**, J. Appl. Meteorol., 29, 1043-1054.

Σαχσαμάνογλου, Χ. και Τ. Μακρογιάννης, (1998) **‘Γενική Μετεωρολογία’**, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Schlesinger, R. B. (1995) **‘Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: does it support the human experience?’**, Inhalation Toxicology, 7, 99-109.

Schichtel, B.A. and Husar, R.B. (1997) **‘Regional simulation of atmospheric pollutants with the CAPITA Monte Carlo model.’**, J. Air & Waste Manage. Assoc., 47, 331-343.

Schondein, C.F., (1840) **Beobachtungen uber dden bei der elektrolysotion des wassers und dem ausstromen der gewohnlichen electrizitat ausstromen der gewohnlichen electrizitat aus spitzen eich entwichelnden geruch**, Ann. Phys. Chem., 50, 616.

Schondein, C.F., (1854) **‘Uber verschiedene zustande des sauerstoffs, liebis’**, Ann. Chem., 89, 257-300

Schwartz, J. (1994) **‘What are people dying of an air pollution days?’**, Fundamental and Applied Toxicology, 64, 26-35.

Seinfeld, J. and S. Pandis (2006) **‘Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change’**, 2nd Edition, John Wiley & Sons, INC, New York.

Seinfeld, J. and Pandis, S., (1998) **‘Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change’**, John Wiley & Sons, INC, New York.

Seinfeld, J., (1986) **‘Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution’**, John Wiley & Sons, INC, New York.

Σπυριδάκη, Α., (2005) **‘Μεσοσκοπική διερεύνηση για την ανίχνευση όζοντος και λεπτών σωματιδίων στην περιοχή της Μεσογείου’**, Διδακτορική διατριβή.

Stohl, A., (1998) **‘Computation, accuracy and application of trajectories –a review and bibliography’**, Atmospheric Environment, 32, 947-966.

Theodor Friedrichs & CO, **Combined humidity/ temperature sensor 3030 in shelter operating manual**

Theodor Friedrichs & CO, **Wind speed sensor 4034 operating manual.**

Theodor Friedrichs & CO, **Wind direction sensor 4122 operating manual.**

Thermo Electron Corporation, (2003) **‘Series 20-800, Eight stage non-viable impactor, instruction manual’**.

terra.nasa.gov/About/MODIS/about_modis.html.

US Environmental Protection Agency (US EPA) (2002). **‘Air Quality Criteria for Particulate Matter’**, Report EPA/600/P-99/002aC.

World Health Organization, (2006) **‘WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide’**, Global update 2005.

Ζερεφός, Χ., (1984) **‘Μαθήματα της Φυσικής της Ατμόσφαιρας και του Περιβάλλοντος’**, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ (ΔΙΚΤΥΟ ΕΜΕΡ)

Κωδικός Σταθμού	Ονομασία Σταθμού/Περιοχή	Χώρα	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο
AT0002R	Illmitz	Austria	47 46 00 N	16 46 00 E	117
AT0005R	Vorhegg	Austria	46 40 40 N	12 58 20 E	1020
AT0030R	Pillersdorf bei Retz	Austria	48 43 16 N	15 56 32 E	315
AT0032R	Sulzberg	Austria	47 31 45 N	9 55 36 E	1020
AT0033R	Stolzalpe bei Murau	Austria	47 07 45 N	14 12 14 E	1302
AT0034G	Sonnblick	Austria	47 03 16 N	12 57 30 E	3106
AT0037R	Zillertaler Alpen	Austria	47 08 13 N	11 52 12 E	1970
AT0038R	Gerlitz	Austria	46 41 37 N	13 54 54 E	1895
AT0040R	Masenbergr	Austria	47 20 53 N	15 52 56 E	1170
AT0041R	Haunsberg	Austria	47 58 23 N	13 00 58 E	730
AT0042R	Heidenreichstein	Austria	48 52 43 N	15 02 48 E	570
AT0043R	Forsthoft	Austria	48 06 22 N	15 55 10 E	581
AT0044R	Graz Platte	Austria	47 06 47 N	15 28 14 E	651
AT0045R	Dunkelsteinerwald	Austria	48 22 16 N	15 32 48 E	320
AT0046R	Gänserndorft	Austria	48 20 05 N	16 43 50 E	161
AT0047R	Stixneusiedl	Austria	48 03 03 N	16 40 36 E	240
BE0001R	Offagne	Belgium	49 52 40 N	5 12 13 E	430
BE0032R	Eupen	Belgium	50 37 46 N	6 00 10 E	295
BE0035R	Vezin	Belgium	50 30 12 N	4 59 22 E	160
BG0053R	Rojen peak	Bulgaria	41 41 45 N	24 44 19 E	1750
CH0002R	Payerne	Switzerland	46 48 47 N	6 56 41 E	489
CH0003R	Tänikon	Switzerland	47 28 47 N	8 54 17 E	539
CH0004R	Chaumont	Switzerland	47 02 59 N	6 58 46 E	1137
CH0005R	Rigi	Switzerland	47 04 03 N	8 27 50 E	1031
CY0002R	Ayia Marina	Cyprus	33 02 21 N	33 03 29 E	532
CZ0001R	Svratouch	Czech Republic	49 44 00 N	16 02 00 E	737
CZ0003R	Košetice	Czech Republic	49 35 00 N	15 05 00 E	534
DE0001R	Westerland	Germany	54 55 32 N	8 18 35 E	12
DE0002R	Langenbrügge	Germany	52 48 08 N	10 45 34 E	74
DE0003R	Schauinsland	Germany	47 54 53 N	7 54 31 E	1205
DE0007R	Neuglobsow	Germany	53 10 00 N	13 02 00 E	62
DE0008R	Schmücke	Germany	50 39 00 N	10 46 00 E	937
DE0009R	Zingst	Germany	54 26 00 N	12 44 00 E	1
DE0012R	Bassum	Germany	52 51 00 N	8 42 00 E	52
DE0026R	Ueckermünde	Germany	53 45 00 N	14 04 00 E	1
DE0035R	Lückendorf	Germany	50 50 00 N	14 46 00 E	490
DE0039R	Aukrug	Germany	54 04 29 N	9 47 34 E	15
DE0045R	Schorfheide	Germany	52 58 00 N	13 39 00 E	70

DE0047R	Falkenberg	Germany	52 10 00 N	14 07 00 E	73
DK0005R	Keldsnor	Denmark	54 44 00 N	10 44 00 E	10
DK0031R	Ulborg	Denmark	56 17 00 N	8 26 00 E	10
DK0041R	Lille Valby	Denmark	55 41 13 N	12 07 34 E	10
EE0009R	Lahemaa	Estonia	59 30 00 N	25 54 00 E	32
EE0011R	Vilsandy	Estonia	58 23 00 N	21 49 00 E	6
ES0007R	Víznar	Spain	37 14 00 N	3 32 00 W	1265
ES0008R	Niembro	Spain	43 26 32 N	4 51 01 W	134
ES0009R	Campisábalos	Spain	41 16 52 N	3 08 34 W	1360
ES0010R	Cabo de Creus	Spain	42 19 10 N	3 19 01 E	23
ES0011R	Barcarrola	Spain	38 28 33 N	6 55 22 W	393
ES0012R	Zarra	Spain	39 05 10 N	1 06 07 W	885
ES0013R	Penausende	Spain	41 17 00 N	5 52 00 W	985
ES0014R	Els Torms	Spain	41 24 00 N	0 43 00 E	470
ES0015R	Risco Llamo	Spain	39 31 00 N	4 21 00 W	1241
ES0016R	O Saviñao	Spain	43 13 52 N	7 41 59 W	506
FI0009R	Utö	Finland	59 46 45 N	21 22 38 E	7
FI0017R	Virolahti II	Finland	60 31 36 N	27 41 10 E	4
FI0022R	Oulanka	Finland	66 19 13 N	29 24 06 E	310
FI0037R	Ahtari II	Finland	62 35 00 N	24 11 00 E	180
FR0008R	Donon	France	48 30 00 N	7 08 00 E	775
FR0009R	Revin	France	49 54 00 N	4 38 00 E	390
FR0010R	Morvan	France	47 16 00 N	4 05 00 E	620
FR0012R	Iraty	France	43 02 00 N	1 05 00 W	1300
FR0013R	Peyrusse Vieille	France	43 37 00 N	0 11 00 E	200
FR0014R	Montandon	France	47 18 00 N	6 50 00 E	836
FR0015R	La Tardière	France	46 39 00 N	0 45 00 W	133
FR0016R	Le Casset	France	45 00 00 N	6 31 00 E	1750
FR0017R	Montfranc	France	46 08 00 N	1 23 00 E	497
GB0002R	Eskdalemuir	United Kingdom	55 18 47 N	3 12 15 W	243
GB0006R	Lough Navar	United Kingdom	54 26 35 N	7 52 12 W	126
GB0013R	Yarner Wood	United Kingdom	50 35 47 N	3 42 47 W	119
GB0014R	High Muffles	United Kingdom	54 20 04 N	0 48 27 W	267
GB0015R	Strath Vaich Dam	United Kingdom	57 44 04 N	4 46 28 W	270
GB0031R	Aston Hill	United Kingdom	52 30 14 N	3 01 59 W	370
GB0032R	Bottesford	United Kingdom	52 55 46 N	0 48 55 W	32
GB0033R	Bush	United Kingdom	55 51 31 N	3 12 18 W	180
GB0034R	Glazebury	United Kingdom	53 27 31 N	2 27 59 W	21
GB0035R	Great Dun Fell	United Kingdom	54 41 00 N	2 27 00 W	847
GB0036R	Harwell	United Kingdom	51 34 23 N	1 19 00 W	137
GB0037R	Ladybower Res.	United Kingdom	53 23 56 N	1 45 12 W	420
GB0038R	Lullington Heath	United Kingdom	50 47 34 N	0 10 46 E	120
GB0039R	Sibton	United Kingdom	52 17 38 N	1 27 47 E	46
GB0043R	Narberth	United Kingdom	51 14 00 N	4 42 00 W	160
GB0044R	Somerton	United Kingdom	51 13 52 N	3 02 53 W	55
GB0045R	Wicken Fen	United Kingdom	52 17 54 N	0 17 34 W	5
GR0001R	Aliartos	Greece	38 22 00 N	23 05 00 E	110
GR0002R	Finokalia	Greece	35 19 00 N	25 40 00 E	0

HU0002R	K-pusztá	Hungary	46 58 00 N	19 35 00 E	125
IE0001R	Valentia Observatory	Ireland	51 56 23 N	10 14 40 W	11
IE0031R	Mace Head	Ireland	53 10 00 N	9 30 00 W	15
IT0001R	Montelibretti	Italy	42 06 00 N	12 38 00 E	48
IT0004R	Ispra	Italy	45 48 00 N	8 38 00 E	209
LT0015R	Preila	Lithuania	55 21 00 N	21 04 00 E	5
LV0010R	Rucava	Latvia	56 13 00 N	21 13 00 E	5
MT0001R	Giordan Lighthouse	Malta	36 06 00 N	14 12 00 E	160
NL0009R	Kollumerwaard	The Netherlands	53 20 02 N	6 16 38 E	1
NL0010R	Vredepeel	The Netherlands	51 32 28 N	5 51 13 E	28
NO0001R	Birkenes	Norway	58 23 00 N	8 15 00 E	190
NO0015R	Tustervatn	Norway	65 50 00 N	13 55 00 E	439
NO0039R	Kårvatn	Norway	62 47 00 N	8 53 00 E	210
NO0042G	Spitsbergen, Zeppelinfjell	Norway	78 54 00 N	11 53 00 E	474
NO0043R	Prestebakke	Norway	59 00 00 N	11 32 00 E	160
NO0052R	Sandve	Norway	59 12 00 N	5 12 00 E	15
NO0055R	Karasjok	Norway	69 28 00 N	25 13 00 E	333
NO0056R	Hurdal	Norway	60 22 00 N	11 04 00 E	300
PL0002R	Jarczew	Poland	51 49 00 N	21 59 00 E	180
PL0003R	Sniezka	Poland	50 44 00 N	15 44 00 E	1603
PL0004R	Leba	Poland	54 45 00 N	17 32 00 E	2
PL0005R	Diabla Góra	Poland	54 09 00 N	22 04 00 E	157
PT0004R	Monte Velho	Portugal	38 05 00 N	8 48 00 W	43
SE0005R	Bredkälen	Sweden	63 51 00 N	15 20 00 E	404
SE0011R	Vavihill	Sweden	56 01 00 N	13 09 00 E	175
SE0012R	Aspvreten	Sweden	58 48 00 N	17 23 00 E	20
SE0013R	Esränge	Sweden	67 53 00 N	21 04 00 E	475
SE0014R	Råö	Sweden	57 23 38 N	11 54 50 E	5
SE0032R	Norra-Kvill	Sweden	57 49 00 N	15 34 00 E	261
SE0035R	Vindeln	Sweden	64 15 00 N	19 46 00 E	225
SE0039R	Grimsö	Sweden	59 43 40 N	15 28 19 E	132
SI0008R	Iskrba	Slovenia	45 34 00 N	14 52 00 E	520
SI0031R	Zarodnje	Slovenia	46 25 43 N	15 00 12 E	770
SI0032R	Krvavec	Slovenia	46 17 58 N	14 32 19 E	1740
SI0033R	Kovk	Slovenia	46 07 43 N	15 06 50 E	600
SK0002R	Chopok	Slovakia	48 56 00 N	19 35 00 E	2008
SK0004R	Stará Lesná	Slovakia	49 09 00 N	20 17 00 E	808
SK0005R	Liesek	Slovakia	49 22 00 N	19 41 00 E	892
SK0006R	Starina	Slovakia	49 03 00 N	22 16 00 E	345
SK0007R	Topolníky	Slovakia	47 57 36 N	17 51 38 E	113

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Φόρμα που συμπληρώνεται για τον υπολογισμό των ρετροπορειών των αερίων μαζών.



HOME	HYSPLIT	DISPERSION MODELING	METEOROLOGY	EMERGENCY RESPONSE	STATUS	CONTACTS
Home	Volcano VAFTAD	Air Quality	Dispersion Model HYSPLIT	Emergency Response	Current Meteorology	Archived Meteorology

Trajectory direction:	Help	<input checked="" type="radio"/> Forward			
		<input type="radio"/> Backward (You must change the default start time!)			
Vertical Motion:	Help	<input checked="" type="radio"/> Model vertical velocity			
		<input type="radio"/> Isobaric			
		<input type="radio"/> Isentropic			
Start time (UTC):	Help	year 06	month 11	day 16	hour 00
Total run time (hours):	Help	120			
Start a new trajectory every:	Help	0	hrs	Maximum number of trajectories: 24	
Start latitude 1 (degrees):	Help	35.5			
Start longitude 1 (degrees):	Help	24.1			
Start 2 latitude (degrees):					
Start 2 longitude (degrees):					
Start 3 latitude (degrees):					
Start 3 longitude (degrees):					
Start height 1:	Help	500	<input checked="" type="radio"/> meters AGL	<input type="radio"/> meters AMSL	
Start height 2:		0			
Start height 3:		0			

Plot projection:	Help	<input type="checkbox"/> Default	<input type="checkbox"/> Polar	<input type="checkbox"/> Lambert	<input type="checkbox"/> Mercator
Vertical plot height units:	Help	<input type="checkbox"/> Pressure	<input type="checkbox"/> Meters AGL	<input type="checkbox"/> Theta	
Label Interval:	Help	<input type="checkbox"/> No labels	<input type="checkbox"/> 6 hours	<input type="checkbox"/> 12 hours	<input type="checkbox"/> 24 hours
Plot color trajectories?		<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
Zoom factor:	Help	<input type="checkbox"/> 0 (far)	<input type="checkbox"/> 45	<input type="checkbox"/> 75	<input type="checkbox"/> 100 (close)
Create Java Animation?	Help	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
Graphic size (dpi):	Help	<input type="checkbox"/> 72	<input type="checkbox"/> 96	<input type="checkbox"/> 120	
Distance circle overlay:	Help	<input type="checkbox"/> None	<input type="checkbox"/> Auto		
GIS output:	Help	<input type="checkbox"/> None	<input type="checkbox"/> GIS Shapefile	<input type="checkbox"/> Google Earth	
Create Postscript file?	Help	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
Plot meteorological field along trajectory?	Help	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	Note: Only choose one meteorological variable from below to plot	
Dump meteorological data along trajectory:	Help	<input type="checkbox"/> Terrain Height (m) <input type="checkbox"/> Potential Temperature (K) <input type="checkbox"/> Ambient Temperature (K) <input type="checkbox"/> Rainfall (mm per hr) <input type="checkbox"/> Mixed Layer Depth (m) <input type="checkbox"/> Relative Humidity (%) <input type="checkbox"/> Downward Solar Radiation Flux (W/m**2)			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Πίνακας σταθμών μέτρησης συγκέντρωσης σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2,5} (Δίκτυο EMEP) και παρουσίαση των μέσων ετήσιων τιμών.

Code	PM10	PM2,5
AT0002R	26.7	21.9
AT0005R	10.0	
AT0048R	11.1	9.3
CH0002R	19.8	15.1
CH0003R	18.4	
CH0004R	11.0	8.6
CH0005R	11.8	
CY0002R	28.9	
CZ0001R	22.9	
CZ0003R	20.7	18.6
DE0001R	19.6	
DE0002R	17.7	13.4
DE0003R	9.7	7.3
DE0007R	13.8	
DE0008R	12.2	
DE0009R	17.2	
DK0005R	24.6	
ES0007R	21.8	10.9
ES0008R	17.3	9.0
ES0009R	11.9	7.7
ES0010R	20.6	11.6
ES0011R	19.0	10.2
ES0012R	15.3	7.8
ES0013R	12.9	7.7
ES0014R	16.8	9.9
ES0015R	15.2	8.0
ES0016R	13.6	9.5
IT0001R	28.7	
IT0004R	40.4	29.8
NO0001R	6.8	4.1
PL0005R	18.9	
SE0011R	15.2	10.9
SE0012R	9.5	9.6
SE0035R	7.8	
SI0008R	15.9	14.5
SK0004R	14.7	
SK0005R	22.2	
SK0006R	18.4	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Αλγόριθμος που εφαρμόζεται στην ανάλυση MDS

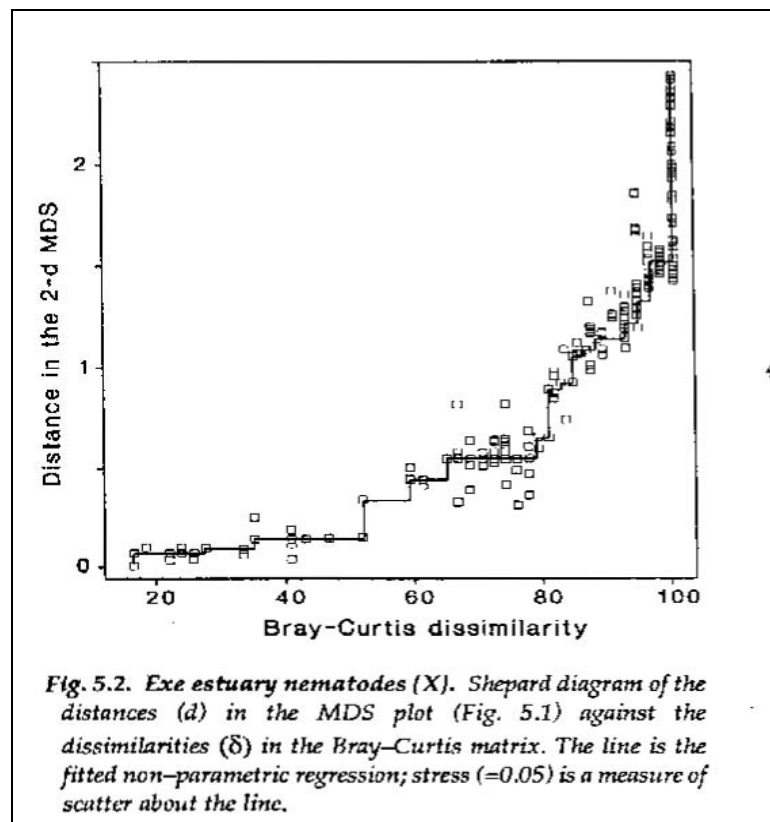
Παρακάτω παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση MDS μετά από τη δημιουργία του πίνακα ανομοιοτήτων. Το κείμενο που παρατίθεται αποτελεί απόσπασμα του συγγράμματος των Clarke, K. R and R. M. Warwick, (1994) **‘Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation’ (MDS)**, Plymouth Marine Laboratory.

MDS ALGORITHM

The non-metric MDS algorithm, as employed in Kruskal’s original MDSCAL program for example, is an **iterative procedure**, constructing the MDS plot by successively refining the positions of the points, until they satisfy, as closely as possible, the dissimilarity relations between samples. It has the following steps:

- 1) Specify the number of dimensions** (m) required for the final ordination plot. If, as will sometimes be desirable, one wishes to compare configurations in two and three dimensions then they have to be constructed separately. For the moment think of m as 2.
- 2) Construct a starting configuration of the n samples.** This could be the result of an ordination by another method, for example PCA or PCoA, or it could literally be just a random set of n points in m ($=2$) dimensions.
- 3) Regress the interpoint distances from this plot on the corresponding dissimilarities.** Let $\{d_{jk}\}$ denote the distance between the j th and the k th sample points in the current ordination plot, and the δ_{jk} the corresponding dissimilarity in the original dissimilarity matrix (of, say, Bray-Curtis coefficients). A scatter plot is then drawn of

distance against dissimilarity for all $n(n-1)/2$ such pairs of values. This is termed a Shepard diagram and Fig.5.2 shows the type of graph that results.



The decision that characterizes different ordination procedures must now be made: how does one define the underlying relationship between distance in the plot and original dissimilarity? There are two main approaches.

- a) Fit a standard **linear regression** of d on δ , so that final distance is constrained to be proportional to original dissimilarity. More flexible would be to fit some form of **curvilinear regression** (perhaps a quadratic, cubic or other polynomial). These are parametric models giving rise to the term **metric MDS** for this approach.
- b) Perform a non-parametric regression of d on δ giving rise to a **non metric MDS**. Fig.5.2 illustrates the non-parametric (monotonic) regression line. This is a “best fitting” line which moulds itself to the shape of the scatter plot, but is always constrained to increase (and therefore consists of a series of steps). The relative success of non-metric MDS, in preserving the sample relationships in the

distances of the ordination plot, comes from the flexibility in shape of this non-parametric regression line. A perfect MDS was defined previously as one in which the rank order of dissimilarities was totally preserved in the rank order of distances; individual points on the Shepard plot must then all be (monotonic) increasing: the larger a dissimilarity, the larger (or equal the corresponding distance)., and the non-parametric regression line is a perfect fit. It follows that the extent to which the scatter points deviate from the line measures the failure to match the rank order dissimilarities, motivating the following definition of stress.

4. Measure goodness-of-fit of the regression by calculating the stress value:

$$\sum_j \sum_k (d_{jk} - \hat{d}_{jk})^2 / \sum_j \sum_k d_{jk}^2 \quad (5.1)$$

where d_{jk} is the distance predicted from the fitted regression line corresponding to the dissimilarity δ_{jk} . If $d_{jk} = \hat{d}_{jk}$ for all the $n(n-1)/2$ distances in this summation, the stress is zero. Large scatter clearly leads to large stress and this can be thought of as measuring the difficulty involved in compressing the sample relationships into two (or a small number) of dimensions. Note that the denominator is simply a scaling term: distances in the final plot have only relative not absolute meaning and the squared distance term in the denominator makes sure that stress is dimensionless quantity.

5. Perturb the current configuration in a direction of decreasing stress. This is perhaps the most difficult part of the algorithm to visualize and will not be detailed; it is based on established techniques of numerical optimization, in particular the method of **steepest descent**. The essential idea is that the regression relation is used to evaluate stress for a (small) changes in the position of points in the ordination plot, and points are then moved to new positions in directions which look like they will decrease the stress more rapidly.

6. Repeat steps 3 to 5 until convergence is achieved. The iteration now cycles around the two stages of a new regression of distance on dissimilarity for the new

ordination positions in directions of decreasing stress. In most case, the cycle will stop when further adjustment of the points leads to no improvement in stress.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

Κώδικας για την εύρεση της κανονικής λογαριθμικής κατανομής της μάζας των σωματιδίων.

```
meancutoffs=[0.529 0.877 1.520 2.632 3.938 5.221 7.225];

hours=1:24;
day=input('day?? 21/11->1, 22/11->2, 23/11->3, 24/11-->4, 25/11-->5,
26/11-->6, 27/11-->7')
if day==1;
    mass=[0.208 0.165 0.08 0.11 0.14 0.105 0.13]; % 21-11-2006
end

if day==2;
    mass=[0.088 0.068 0.061 0.123 0.209 0.146 0.228]; % 22-11-2006
end

if day==3;
    mass=[0.053 0.075 0.186 0.433 0.673 0.443 0.503]; % 23-11-2006
end

if day==4;
    mass=[0.118 0.103 0.103 0.133 0.188 0.115 0.143]; % 24-11-2006
end

if day==5;
    mass=[0.095 0.087 0.085 0.128 0.203 0.107 0.135]; % 25-11-2006
end

if day==6;
    mass=[0.190 0.250 0.160 0.170 0.225 0.160 0.188]; % 26-11-2006
end

if day==7;
    mass=[0.227 0.227 0.155 0.092 0.209 0.132 0.239]; % 27-11-2006
end

mass=mass*1000
semilogx(meancutoffs,mass,'o-')
pause

N1=input('N1=? ')
N2=length(mass);
cummass1=cumsum(mass(1:N1))
cummass2=cumsum(mass(N1:N2))
percent1=100*cummass1/sum(mass(1:N1));
percent2=100*cummass2/sum(mass(N1:N2));
meancutoffs1=meancutoffs(1:N1);
meancutoffs2=meancutoffs(N1:N2);
%semilogy(percent1,meancutoffs1,'b')
semilogy(percent1,meancutoffs1,'b',percent2,meancutoffs2,'r'), hold
on;
semilogy(percent1,meancutoffs1,'b.',percent2,meancutoffs2,'r.'), hold
off;
YLABEL('Diameter (um)')
```

```

XLABEL('Percent')

grid on;
pause

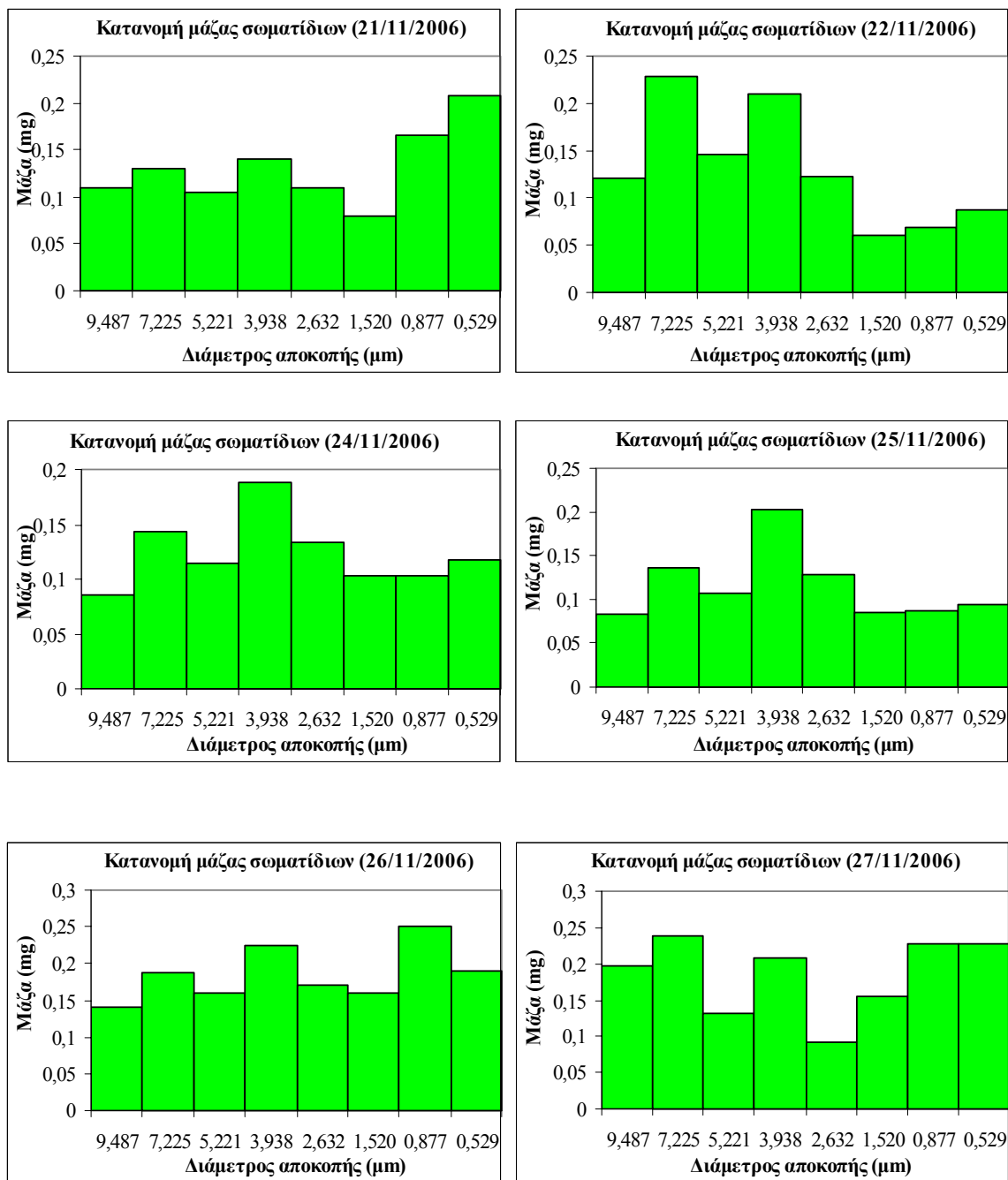
percent84_1=10^(interp1(percent1,log10(meancutoffs1),84));
[percent84_1 interp1(percent1,meancutoffs1,84)]
percent50_1=10^(interp1(percent1,log10(meancutoffs1),50));
[percent50_1 interp1(percent1,meancutoffs1,50)]
percent84_2=10^(interp1(percent2,log10(meancutoffs2),84));
[percent84_2 interp1(percent2,meancutoffs2,84)]
percent50_2=10^(interp1(percent2,log10(meancutoffs2),50));
[percent50_2 interp1(percent2,meancutoffs2,50)]
sigma1=percent84_1/percent50_1
sigma2=percent84_2/percent50_2;
MMD=[percent50_1 percent50_2]
sigma=[sigma1 sigma2]
fraction1=sum(mass(1:N1))/sum(mass);
fraction2=1-fraction1;
fraction=[fraction1 fraction2]

dp=logspace(-2,2)
fm9=fraction1*(exp(0.5*log(dp).*(log(dp/percent50_1)/log(sigma1)).^2)
./log(sigma1)/sqrt(2*pi))+
fraction2*(exp(0.5*log(dp).*(log(dp/percent50_2)/log(sigma2)).^2)./lo
g(sigma2)/sqrt(2*pi))
fm9=fraction1*(exp(-
0.5*(log10(dp/MMD(1,1))/log10(sigma(1,1))).^2)./log10(sigma(1,1))/sqr
t(2*pi))+ fraction2*(exp(-
0.5*(log10(dp/MMD(1,2))/log10(sigma(1,2))).^2)./log10(sigma(1,2))/sqr
t(2*pi))
figure(figure)
semilogx(dp,fm9)
xlabel='Mean diameter (um)'
ylabel='Aerosol concentration dC(m)/dlog(dp) [um/m^3]'

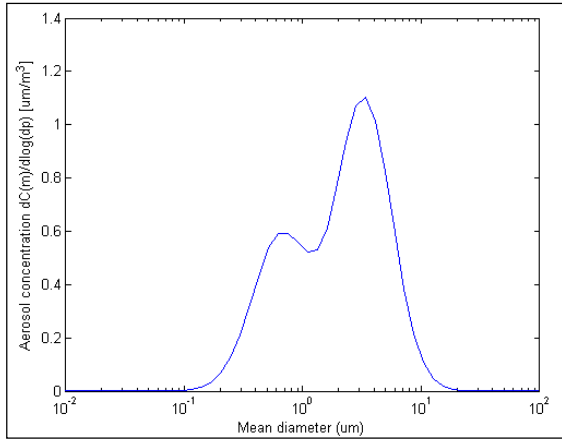
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

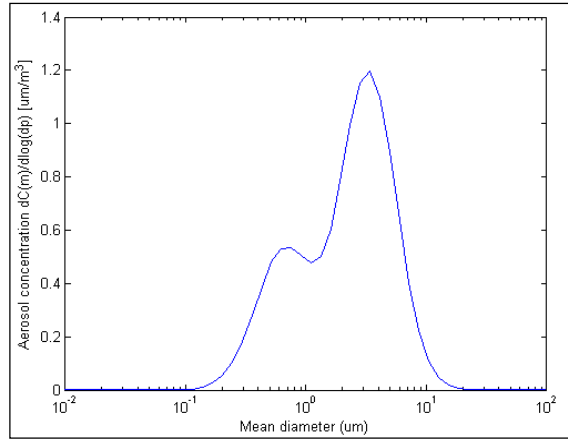
Διαγράμματα κατανομής μάζας σωματιδίων από 21/11/2006 έως 27/11/2006 (σταθμικές μετρήσεις).



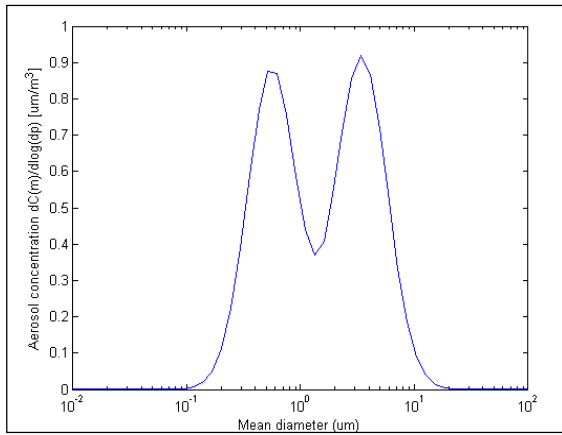
Διαγράμματα κανονικής λογαριθμικής κατανομής της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων 21/11/2006-27/11/2006.



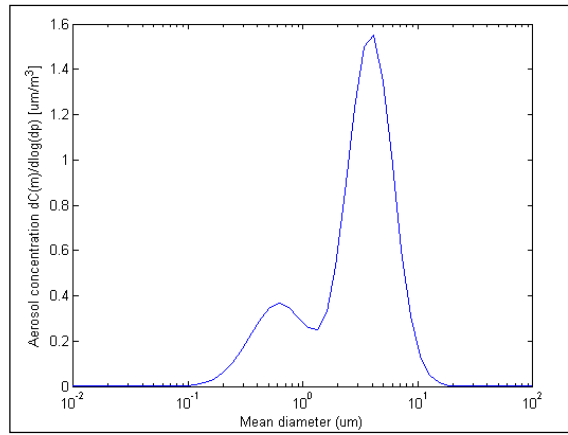
21/11/2006



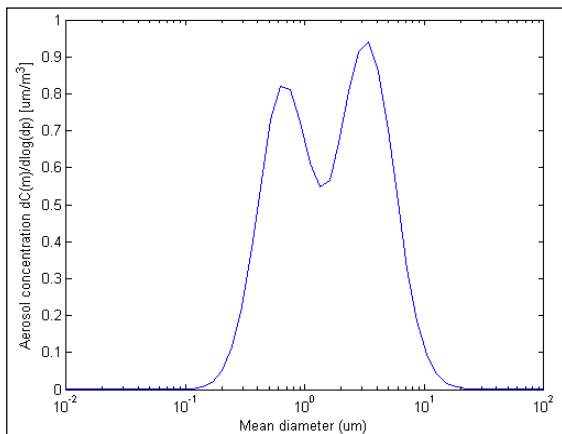
22/11/2006



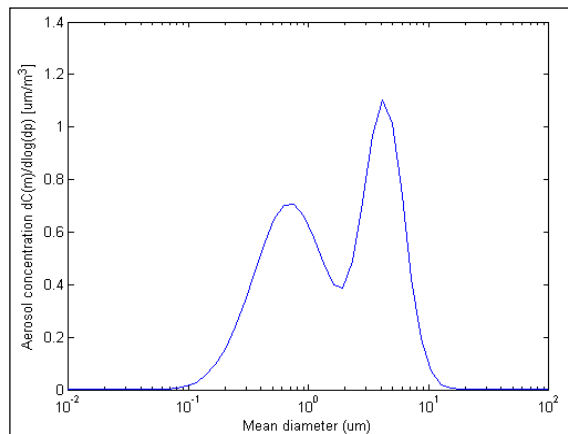
24/11/2006



25/11/2006



26/11/2006



27/11/2006

