

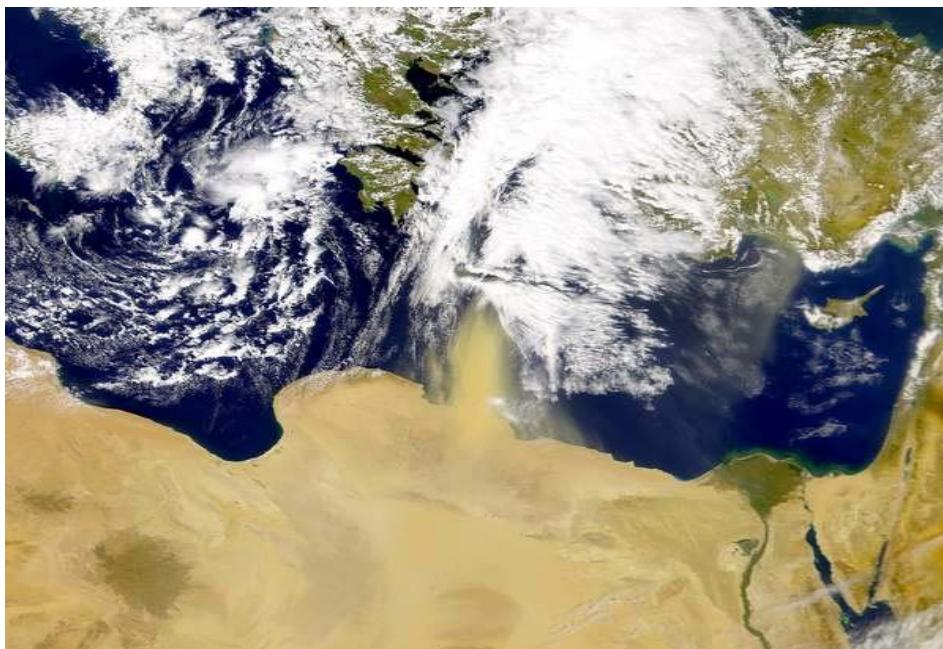


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΧΑΝΙΩΝ»



Απόστολος Θ. Βουλγαράκης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Μιχαήλ Λαζαρίδης (επιβλέπων)
Νικόλαος Καλογεράκης
Γεώργιος Καρατζάς

Χανιά, Ιούλιος 2004

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

Ευχαριστώ τους φίλους και συνεργάτες μου Θεόδωρο Γλυτσό, Αθηνά Σπυριδάκη, Βικτωρία Αλεξανδροπούλου και Μανώλη Λάτο για την υποστήριξή τους και τη βοήθειά τους όπου αυτή χρειαζόταν.

Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω τον ερευνητή κ. Γιώργο Κουβαράκη για τη διάθεση των δεδομένων που αφορούν το σταθμό της Φινοκαλιάς.

Χανιά, Ιούνιος 2004

Εικόνα Εξώφυλλου: Μία περίπτωση επεισοδίου σκόνης στις 13/4/2001 (από το site “Visible Earth” της NASA).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση και επεξεργασία των δεδομένων που έχουν ληφθεί από τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται στο σταθμό αέριας ρύπανσης - μετεωρολογικό σταθμό του τμήματος των Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων). Η εν λόγω περιοχή, παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον, τόσο διότι η δυτική Κρήτη είναι μία περιοχή για την οποία δεν έχουν διεξαχθεί εκτενείς και συνεχείς μελέτες του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος όσο και διότι η Νοτιοανατολική Μεσόγειος είναι περιοχή με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο εν λόγω επιστημονικό πεδίο και με επίσης περιορισμένο αριθμό διαθέσιμων δεδομένων.

Στα δεδομένα αυτά περιλαμβάνονται μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος που λαμβάνονται από το Δεκέμβριο του 2001 και αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) από τον Απρίλιο του 2004. Οι μετρήσεις PM_{10} διακόπηκαν στις 11/3/2004 προσωρινά για την λήψη δεδομένων συγκέντρωσης σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm ($PM_{2.5}$). Τα δεδομένα αέριας ρύπανσης συνοδεύονται από σημαντικό αριθμό μετεωρολογικών παρατηρήσεων. Οι μετεωρολογικές μετρήσεις ξεκίνησαν τον Ιανουάριο του 2003 και περιλαμβάνουν μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας (από 4/1/2003), καθώς επίσης και μετρήσεις της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου (από 15/4/2003).

Όπως θα γίνει αντιληπτό, τα δεδομένα είναι για ορισμένες μικρές περιόδους ασυνεχή. Αυτό οφείλεται σε προβλήματα στη λειτουργία των οργάνων κυρίως τους πρώτους μήνες της λειτουργίας τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι τόσο η παρουσίαση των μετρήσεων, όσο και η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Στα πλαίσια της εργασίας θα παρουσιασθούν κάποιες χρονοσειρές των διάφορων τιμών που μας απασχολούν, ώστε να γίνει αντιληπτή η διακύμανση των ατμοσφαιρικών παραμέτρων μέσα στο έτος. Η ανάλυση αυτή θα εστιαστεί κυρίως στην εξήγηση των χρονοσειρών, στη συσχέτιση των δεδομένων ρύπανσης με τα μετεωρολογικά δεδομένα και των μετεωρολογικών δεδομένων μεταξύ τους και στην επεξήγηση των επεισοδίων ρύπανσης με βάση την

προέλευση των αερίων μαζών (backward trajectory analysis). Επίσης, θα μελετηθεί η διακύμανση των συγκεντρώσεων των ρύπων μέσα στην ημέρα και τη νύκτα και θα επιχειρηθεί στατιστική συσχέτιση των δεδομένων και φυσική εξήγηση αυτής όπου υπάρχει. Τέλος, θα παρουσιαστεί η σύγκριση των επιπέδων όζοντος στην περιοχή μας με τα επίπεδα ρύπανσης σε άλλες περιοχές της Ευρώπης και με το σταθμό της Φινοκαλιάς στο Ηράκλειο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΤΟ ΟΖΟΝ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ.....	3
2.1 Ο δισυπόστατος ρόλος του όζοντος στην ατμόσφαιρα.....	3
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος.....	5
2.3 Η χημεία του όζοντος στην τροπόσφαιρα.....	7
3. ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ.....	9
3.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση.....	9
3.2 Μορφές αιωρούμενων σωματιδίων και χημική σύσταση ανάλογα με την περιοχή προέλευσης.....	10
3.3 Μηχανισμοί απομάκρυνσης.....	14
3.4 Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία και το περιβάλλον.....	15
3.4.1 Επιπτώσεις στην υγεία.....	15
3.4.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	16
4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	17
5. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	19
5.1 Η τοπογραφία της περιοχής και οι σημαντικότερες πηγές.....	19
5.2 Η μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή.....	22
5.3 Μετρήσεις ρύπανσης που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή.....	28
6. ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ.....	30
6.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης όζοντος.....	30
6.2 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων.....	32
6.2.1 Γενικά.....	32
6.2.2 Αρχή λειτουργίας.....	33
6.2.3 Συλλέκτες Δειγματοληψίας.....	35
6.3 Όργανα μέτρησης μετεωρολογικών δεδομένων.....	35
6.3.1 Διεύθυνση Ανέμου.....	35
6.3.2 Ταχύτητα ανέμου.....	36
6.3.3 Θερμοκρασία/ Υγρασία.....	36

7. Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΟ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ (BACKWARD TRAJECTORY ANALYSIS).....	37
--	-----------

Β' ΜΕΡΟΣ: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	39
8.1 Θερμοκρασία.....	39
8.2 Υγρασία.....	43
8.3 Κατεύθυνση του ανέμου.....	45
8.4 Ταχύτητα του ανέμου.....	49
9. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	51
9.1 Εποχιακή διακύμανση όζοντος.....	51
9.2 Ημερήσια διακύμανση.....	55
10. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	58
10.1 Παρουσίαση μετρήσεων PM ₁₀	58
10.2 Παρουσίαση μετρήσεων PM _{2.5}	60
11. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	62
11.1 Εξήγηση των συγκεντρώσεων όζοντος.....	62
11.2 Εξήγηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων.....	68
12. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	74
12.1 Γραμμικές συσχετίσεις.....	74
12.2 Ανάλυση MDS.....	79
13. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ (ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ ΤΟΥ 2001).....	90
14. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟΝ ΤΗΣ ΦΙΝΟΚΑΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΡΟΝΙΕΣ 2002-2004.....	93
15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	106

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Επεισόδιο όζοντος (>100 ppb, California, 1987).....	4
Εικόνα 2: Επίδραση συγκεντρώσεων NO _x και VOC στα επίπεδα όζοντος.....	8
Εικόνα 3: Διάμετροι διαφόρων μορφών σωματιδίων (Κουϊμτζής, 1998).....	10
Εικόνα 4: Οι κυριότεροι τρόποι παραγωγής aerosol.....	11
Εικόνα 5: Θεωρητικά υπολογισμένη απόθεση TSP προερχόμενη από το εργοστάσιο της ΔΕΗ στην περιοχή Ξυλοκαμάρα των Χανίων.....	15
Εικόνα 6 Σταθμοί μέτρησης όζοντος στον ελλαδικό χώρο (Κουβαράκης, 2002).....	18
Εικόνα 7 Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.....	20
Εικόνα 8 Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου Κρήτης.....	21
Εικόνα 9: Σύγκριση θερμοκρασιών για τους σταθμούς του Ακρωτηρίου και της Σούδας (115) την περίοδο 1/4/03 έως 7/4/03.....	23
Εικόνα 10: Σύγκριση σχετικής υγρασίας για τους σταθμούς Ακρωτηρίου και Σούδας για την περίοδο 1/4-7/4.....	23
Εικόνα 11: Θερμοαραβδόγραμμα για το μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας.....	24
Εικόνα 12: Βροχομετρικό διάγραμμα για το σταθμό της Σούδας.....	25
Εικόνα 13: Ροδογράμματα για το σταθμό της Σούδας.....	26
Εικόνα 14: Οι μετρήσεις όζοντος στο σταθμό της Φινοκαλιάς.....	28
Εικόνα 15: Οπτικό βάθος σωματιδίων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του PAUR II στα Χανιά.....	30
Εικόνα 16: Το όργανο Model 8810 Ozone Analyzer.....	33
Εικόνα 17: Αρχή λειτουργίας του οργάνου FH 62 I-R.....	33
Εικόνα 18: Πετροπορεία για τις 31 Μαΐου του 2004.....	38
Εικόνα 19: Χρονοσειρά ωριαίων θερμοκρασιών για το 2003-04.....	40
Εικόνα 20: Μέσες μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίας για την περίοδο μετρήσεων.....	42
Εικόνα 21: Χρονοσειρά ωριαίων τιμών σχετική υγρασίας για την περίοδο 2003-04.....	43
Εικόνα 22: Μέσες μηνιαίες τιμές υγρασίας για την περίοδο μετρήσεων.....	45
Εικόνα 23: Ροδόγραμμα Καλοκαιριού.....	46

Εικόνα 24: Ροδόγραμμα Φθινοπώρου.....	46
Εικόνα 25: Ροδόγραμμα Χειμώνα.....	46
Εικόνα 26: Ροδόγραμμα Άνοιξης.....	46
Εικόνα 27: Σύγκριση τιμών Διεύθυνσης του ανέμου για την περιοχή του Ακρωτηρίου και της Σούδας (115).....	47
Εικόνα 28: Χρονοσειρά ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο μετρήσεων.....	49
Εικόνα 29: Μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου για την περίοδο μετρήσεων.....	50
Εικόνα 30: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2002.....	51
Εικόνα 31: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2003.....	52
Εικόνα 32: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2004.....	53
Εικόνα 33: Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος για το σύνολο των μετρήσεων.....	54
Εικόνα 34: Μέσες τιμές όζοντος για τις διάφορες ώρες της ημέρας (2003-04).....	56
Εικόνα 35: Σύγκριση τιμών όζοντος ημέρας και νύκτας.....	57
Εικόνα 36: Διαφορά τιμών ημέρας και νύκτας.....	57
Εικόνα 37: Μέσες ημερήσιες τιμές σωματιδίων για την περίοδο μετρήσεων.....	58
Εικόνα 38: Μέσες μηνιαίες τιμές PM_{10}	60
Εικόνα 39: Μέσες ημερήσιες τιμές $PM_{2.5}$	61
Εικόνα 40: Ρетроπορεία για τις 28/4/03.....	63
Εικόνα 41: Ρетроπορεία για τις 20/10/03.....	64
Εικόνα 42: Ρетроπορεία για τις 10/1/04.....	64
Εικόνα 43: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το καλοκαίρι.....	65
Εικόνα 44: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το Φθινόπωρο.....	66
Εικόνα 45: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το Χειμώνα.....	66
Εικόνα 46: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για την Άνοιξη.....	67
Εικόνα 47: Ρетроπορεία για τις 27/2/04.....	68
Εικόνα 48: Ρетроπορεία για τις 13/2/04.....	69
Εικόνα 49: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για το Καλοκαίρι.....	70

Εικόνα 50: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για το Φθινόπωρο.....	71
Εικόνα 51: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για το Χειμώνα.....	72
Εικόνα 52: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για την Άνοιξη.....	72
Εικόνα 53: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων $PM_{2.5}$ την άνοιξη του 2004.....	73
Εικόνα 54: Γραμμική εξάρτηση υγρασίας με τη θερμοκρασία τον Ιούλιο 2003.....	76
Εικόνα 55: Γραμμική εξάρτηση όζοντος με τη θερμοκρασία τον Οκτώβριο 2003.....	76
Εικόνα 56: Γραμμική συσχέτιση PM_{10} και θερμοκρασίας τον Οκτώβριο 2003.....	77
Εικόνα 57: Γραμμική συσχέτιση όζοντος και υγρασίας το Μάρτιο του 2003.....	77
Εικόνα 58: Γραμμική συσχέτιση PM_{10} με την υγρασία τον 2/04.....	78
Εικόνα 59: MDS διάγραμμα.....	81
Εικόνα 60: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη θερμοκρασία.....	82
Εικόνα 61: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο την υγρασία.....	83
Εικόνα 62: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη διεύθυνση του ανέμου.....	84
Εικόνα 63: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο την ταχύτητα του ανέμου.....	85
Εικόνα 64: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη συγκέντρωση PM_{10}	86
Εικόνα 65: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο τη συγκέντρωση όζοντος.....	87
Εικόνα 66: Επίπεδα ρύπανσης σε διάφορους σταθμούς του EMEP για το Δεκέμβριο του 2001.....	92
Εικόνα 67: Τα επίπεδα όζοντος στους σταθμούς του δικτύου EMEP 2000.....	93
Εικόνα 68: Μεταβολή μέσου ημερήσιου όζοντος στο Ακρωτήριο και τη Φινοκαλιά (2002-04)...	94

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Η ατμοσφαιρική ρύπανση και ο αντίκτυπός της στα περιβαλλοντικά οικοσυστήματα και στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου αποτελεί ένα πρόβλημα με αναμφισβήτητα πολύ μεγάλες διαστάσεις στην εποχή μας. Το χαρακτηριστικό της εποχής μας είναι ότι η ρύπανση δεν αφορά πλέον μόνο περιοχές με ιδιαίτερη επιβάρυνση όσον αφορά τις εκπομπές (βιομηχανικές περιοχές, αστικά κέντρα) αλλά όλες τις περιοχές του πλανήτη, ακόμα και τις πιο απομακρυσμένες. Τα φαινόμενα μεταφοράς ρύπων σε μεγάλη και μεσαία κλίμακα και η ικανότητά τους να μετασχηματίζονται χημικά, προσδίδουν στο πρόβλημα ιδιαίτερα σοβαρές διαστάσεις.

Η Κρήτη, αποτελεί περιοχή στην οποία οι ανθρώπινες δραστηριότητες με αξιοσημείωτες εκπομπές δεν είναι ιδιαίτερα εκτεταμένες. Παρόλα αυτά, τα επίπεδα ρύπανσης σε αυτήν είναι υψηλά, ακόμα και σε περιοχές με σημαντική απόσταση από τις πόλεις (Κουβαράκης, 2002; Kouvarakis et. al. 2000). Η περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται στη συμβολή δύο πολύ σημαντικών πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης: α) της ηπειρωτικής Ευρώπης με την έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα και β) της Αφρικανικής ηπείρου, η οποία είναι περιοχή προέλευσης σημαντικών ποσοτήτων σωματιδίων (σκόνης). Η επίδραση αυτών των περιοχών στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Κρήτης είναι καθοριστική, λόγω του φαινομένου της μεταφοράς των ρύπων που αναφέρθηκε προηγουμένως. Επίσης, θα πρέπει να τονισθεί και ο ιδιαίτερος ρόλος της ύπαρξης της θάλασσας στην ευρύτερη περιοχή του ενδιαφέροντος, καθώς και της έντονης φωτοχημικής δραστηριότητας λόγω των υψηλών ποσοστών ηλιοφάνειας.

Οι συστηματικές μελέτες που έχουν έως σήμερα πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Μεσογείου δεν είναι πολλές, αναλογικά με το επιστημονικό ενδιαφέρον που παρουσιάζεται. Το μέγεθος του προβλήματος όμως, έχει επιβάλλει συστηματικότερη πραγματοποίηση μετρήσεων στην εν λόγω περιοχή. Επί πλέον, για το Νομό Χανίων (και ευρύτερα τη δυτική Κρήτη), στο παρελθόν δεν υπήρχαν συνεχή δεδομένα όσον αφορά την τοπική ρύπανση.

Το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν ρύπους με ιδιαίτερη σημασία για τις περιβαλλοντικές επιστήμες. Συγκεκριμένα το όζον είναι ρύπος με ιδιαίτερη τοξικότητα και όταν εμφανίζεται στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν κάποια όρια, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες σε έμβιους οργανισμούς. Επίσης σε συνδυασμό με άλλους ρύπους μπορεί να προκαλέσει έντονα προβλήματα στις καλλιέργειες, η δε εισπνοή από τον άνθρωπο μπορεί να καταστεί επικίνδυνη. Είναι γνωστός επίσης ο ρόλος του όζοντος στην πρόκληση φωτοχημικού επεισοδίου. Από την άλλη, τα αιωρούμενα σωματίδια, ειδικά σε συνδυασμό με αέριους ρύπους μπορούν να είναι ιδιαίτερα επιβλαβή τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Τα πιο επικίνδυνα από αυτά, είναι τα σωματίδια με διάμετρο έως 10 μm , τα οποία είναι εύκολα εισπνεύσιμα από τον αναπνευστικό σύστημα. Σημαντική είναι επίσης και η συνεισφορά των σωματιδίων στη ρύπανση του εδάφους και της βλάστησης, μέσω της ξηρής και της υγρής εναπόθεσης.

Γενικά, το ολικό όζον και η συγκέντρωση των σωματιδίων, εξαρτώνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται υπό εξέταση. Τόσο η θερμοκρασία όσο και η υγρασία παίζουν συχνά σημαντικό ρόλο στη διακύμανση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, ενώ ο άνεμος τόσο ως προς την ταχύτητα του όσο και ως προς τη διεύθυνση μπορεί να επηρεάσει τις συγκεντρώσεις τους. Στην υπό εξέταση περιοχή, συνήθως οι Νότιοι άνεμοι ευνοούν την αύξηση των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (είναι συχνά τα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα), ενώ οι Βόρειοι ευνοούν την αύξηση του επιφανειακού όζοντος.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται τόσο μία πρώτη καταγραφή όσο και μία ανάλυση ορισμένων παραμέτρων που αφορούν τη ρύπανση της περιοχής (πρώιμες αναλύσεις υπάρχουν διαθέσιμες: βλ. 'Μετρήσεις Όζοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης, 2001', Α. Καλογεράκη, Κ. Περδικέα; 'Διακυμάνσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης, 2002', Θ. Γλυτσού, Ζ. Καρκάνη και Α. Μουστάκα). Οι παράμετροι αυτοί είναι το όζον, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $\text{PM}_{2.5}$) και οι μετεωρολογικές συνθήκες. Η παρουσίαση των μετρήσεων γίνεται μέσω χρονοσειρών και επιχειρείται ανάλυση ημερήσιων, μηνιαίων και ετήσιων διακυμάνσεων. Επίσης, χρησιμοποιείται η μέθοδος της ανάλυσης των ρετροπορειών των αερίων μαζών για τη σύνδεση της προέλευσης αυτών με τα επίπεδα ρύπανσης. Τα δεδομένα θα συσχετιστούν στατιστικά και θα παρουσιαστεί ο βαθμός συσχέτισής τους όπου αυτός είναι σημαντικός και έχει φυσική σημασία. Τέλος, θα γίνει συγκριτική παρουσίαση των επιπέδων

ρύπανσης από όζον στην περιοχή του Ακρωτηρίου σε σχέση με άλλους σταθμούς της Ευρώπης και με το γειτονικό σταθμό της Φινοκαλιάς.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα γίνει μία θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος που μελετάται και θα περιγραφούν αναλυτικότερα τόσο η διαδικασία μετρήσεων και η περιοχή ενδιαφέροντος, όσο και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται.

2. ΤΟ ΟΖΟΝ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

2.1 Ο δυσπρόστατος ρόλος του όζοντος στην ατμόσφαιρα

Το ατμοσφαιρικό όζον ανακαλύφθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα από τον C.F. Schonbein. (1840,1854). Η προέλευση της ονομασίας της συγκεκριμένης ουσίας είναι ελληνική και έχει να κάνει με την οσμή της (το ρήμα «όζει» σημαίνει αυτό που μυρίζει). Ο ρόλος του όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι πολύπλοκος και πολυδιάστατος. Η ύπαρξή του στη στρατόσφαιρα είναι ευεργετική, ενώ στην τροπόσφαιρα υπό συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης, επιβαρυντική για την υγεία.

Μέσω φασματοσκοπικών μελετών που πραγματοποιήθηκαν κατά το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση του όζοντος είναι μεγαλύτερη σε μεγάλα υψόμετρα μέσα στην ατμόσφαιρα (το 90% περίπου αυτού βρίσκεται στη στρατόσφαιρα). Παρόλα αυτά, πέρασαν αρκετά χρόνια (Chapman, 1930) μέχρι να διαπιστωθεί ότι σε αυτά τα μεγάλα ύψη (γύρω στα 15-35 km από την επιφάνεια της θάλασσας), το όζον της στρατόσφαιρας (γνωστό και ως «η στιβάδα του όζοντος») είναι υπεύθυνο για την υψηλή απορρόφηση της UV ακτινοβολίας και μάλιστα των πιο επικίνδυνων συνιστωσών της (UV-A και UV-B, $\lambda < 315$ nm) (βλ. Ζερεφός, 1984). Ακόμα περισσότερα ήταν τα χρόνια που πέρασαν (Crutzen, 1973) μέχρι να γίνει αντιληπτό ότι ουσίες προερχόμενες από ανθρωπογενείς επιδράσεις μπορούν να καταστρέψουν τα μόρια όζοντος της στρατόσφαιρας, με αποτέλεσμα την ελλιπή απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας και δραματικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (βλάβες σε μονοκύτταρους οργανισμούς και στην επιφάνεια κυττάρων ανώτερων φυτών και ζώων).

Τις τελευταίες δεκαετίες επίσης έγιναν και οι μελέτες οι οποίες απέδειξαν ότι οι ανθρωπογενείς επιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν και σε αύξηση των συγκεντρώσεων του τροποσφαιρικού όζοντος. Το όζον στην τροπόσφαιρα είναι ρύπος με ιδιαίτερη

τοξικότητα και όταν εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν κάποια όρια, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στα φυτά (νεκρώσεις στους ιστούς των φύλλων) και μείωση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Το όζον είναι ο πιο βλαβερός για την πανίδα δευτερογενής ρύπος μαζί με το νιτρικό υπεροξείδιο του αζώτου, $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{NO}_2$ (PAN). Πλήττει τα φυτά τόσο έντονα όσο και το SO_2 . Ειδικά τα κωνοφόρα δέντρα, σε συγκεντρώσεις O_3 ακόμα και μικρότερες από 0.5 ppm, μπορούν να υποστούν σοβαρές αλλοιώσεις (Γεντεκάκης, 1999).

Επίσης σε συνδυασμό με άλλος ρύπους μπορεί να προκαλέσει έντονα προβλήματα στις καλλιέργειες, η δε εισπνοή από τον άνθρωπο μπορεί να καταστεί επικίνδυνη. Υψηλά επίπεδα όζοντος προκαλούν βήχα, πόνους κατά τη διάρκεια βαθιάς αναπνοής και μείωση της αντοχής του οργανισμού στο κρύωμα και την πνευμονία. Αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος ευνοούν την εμφάνιση άσθματος και χρόνιας βρογχίτιδας. Η γενικά αρνητική επίδραση του όζοντος οφείλεται στο ότι οξειδώνει τους βιολογικούς ιστούς.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος το οποίο λειτουργεί ως βασικό φωτοχημικό οξειδωτικό στην ατμόσφαιρα, μπορούν να προκαλέσουν φθορές σε διάφορα υλικά. Χαρακτηριστικές είναι οι βλάβες που μπορεί να προκαλέσει στα ελαστικά. Όταν ένα ελαστικό είναι υπό εφελκυσμό (τάση), το όζον εισβάλλει και προσβάλλει το δεσμό $\text{C}=\text{C}$ σπάζοντάς τον. Έτσι, το υλικό ρηγματώνεται και τελικά σπάει. Μάλιστα παλαιότερα, χρησιμοποιήθηκαν –ράβδοι από ελαστικό καουτσούκ για τη μελέτη των επιπέδων όζοντος στην ατμόσφαιρα, με βάση την προαναφερθείσα παρατήρηση. Επιπλέον, συγκεντρώσεις όζοντος μεγαλύτερες από 0.01 ppm μπορούν να καταστρέψουν βαμμένα υφάσματα, συνθετικές ίνες και άλλα ανόργανα υλικά, κάτι που συμβαίνει και με άλλα οξειδωτικά, όπως για παράδειγμα τα NO_x (Γεντεκάκης, 1999).



Εικόνα 1: Επεισόδιο όζοντος με περιορισμό της ορατότητας (>100 ppb, California, 1987).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος

Όπως προαναφέρθηκε, οι ανθρωπογενείς εκπομπές έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος. Εκτός από την επίδραση του ανθρώπου, υπάρχει μεταφορά όζοντος στην τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα (όπου οι συγκεντρώσεις του εν λόγω αερίου είναι όπως προαναφέρθηκε πολύ μεγαλύτερες). Η μεταφορά αυτή είναι ιδιαίτερα εντονότερη κατά την άνοιξη. Οι εκτιμήσεις για τις ακριβείς ποσότητες όζοντος που μεταφέρονται ετησίως καταυτόν τον τρόπο είναι αμφίβολες. Στο βόρειο ημισφαίριο υπολογίζεται ότι η ροή αυτή είναι $3-8 \times 10^{10}$ μόρια $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Crutzen, 1995). Η συνολική παραγωγή όζοντος στη στρατόσφαιρα είναι της τάξης των 5×10^{13} μορίων $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Δηλαδή μόνο το 0,1% της ποσότητας του όζοντος που παράγεται στη στρατόσφαιρα μεταφέρεται στην τροπόσφαιρα (Crutzen 1995). Η ολική καταστροφή όζοντος στην τροπόσφαιρα μέσω της φωτόλυσης αγγίζει τα 14×10^{10} μόρια $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, υπερβαίνει δηλαδή το μεταφερόμενο από τη στρατόσφαιρα όζον σε αυτήν (βλ. Seinfeld and Pandis, 1996).

Το βασικό συμπέρασμα επομένως είναι ότι οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο όζον της τροπόσφαιρας είναι οι πλέον καθοριστικές (για Ελλάδα βλ. Varinou et. al., 1999). Από μία μελέτη που πραγματοποίησαν οι Volz και Kley το 1988, διαπίστωσαν ότι η αναλογία μίγματος του όζοντος πριν από ένα αιώνα περίπου σε μία περιοχή κοντά στο Παρίσι, κατά μέσο όρο ήταν γύρω στα 10 ppb. Από την άλλη μεριά, στις μέρες μας οι μέσες αναλογίες μίγματος σε μη ρυπασμένες περιοχές είναι περίπου 20 – 45 ppb. Από δεδομένα παγκόσμιων μετρήσεων αποδεικνύεται ότι οι συγκεντρώσεις τροποσφαιρικού όζοντος είναι μεγαλύτερες στο Βόρειο ημισφαίριο, κυρίως λόγω μεγαλύτερης ανθρωπογενούς επιβάρυνσης σε αυτό.

Η ημερήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων όζοντος στην τροπόσφαιρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φωτοχημική δραστηριότητα. Η ηλιακή ακτινοβολία με μήκη κύματος στο υπεριώδες συντελεί στην υψηλή παραγωγή όζοντος. Από τη στιγμή λοιπόν που η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης είναι μέγιστη κατά τις μεσημβρινές ώρες, το μέγιστο των συγκεντρώσεων όζοντος σημειώνεται νωρίς το απόγευμα (οπότε έχει συσσωρευτεί η μεσημβρινή δραστηριότητα). Αυτή η αύξηση ενισχύεται και από την έντονη ημερήσια μεταφορά όζοντος από μεγαλύτερα ύψη.

Το ελάχιστο από την άλλη συμβαίνει 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. Από την άλλη μεριά, τη νύχτα αυξάνεται ο ρυθμός ξηρής εναπόθεσης του όζοντος με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις όζοντος αυτές τις ώρες να είναι σημαντικά μειωμένες. Η επίδραση των NO_x μπορεί να είναι ακόμα πιο εμφανής και τις μετέπειτα πρωινές ώρες, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, οπότε η κυκλοφορία των οχημάτων αυξάνεται έντονα σε αστικές περιοχές και σημειώνεται σημαντική καταστροφή όζοντος (κυρίως σε όταν υπάρχει άμεση και η επίδραση θαλάσσιου περιβάλλοντος) (βλ. & Κουβαράκης, 2002).

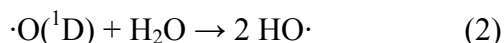
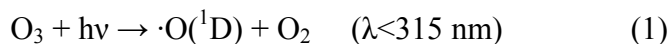
Από την άλλη το όζον μπορεί να σημειώνει αξιόλογες διακυμάνσεις και από μέρα σε μέρα, κυρίως λόγω μεταβολής των μετεωρολογικών συνθηκών αλλά και λόγω διακυμαινόμενων εκπομπών πρόδρομων ενώσεων στις περιοχές ενδιαφέροντος. Στην περιοχή της Κρήτης η βασική επίδραση έχει να κάνει με το πεδίο των ανέμων. Όπως έχει προαναφερθεί, οι άνεμοι νότιων κυρίως διευθύνσεων προκαλούν μείωση του τροποσφαιρικού όζοντος, ενώ άνεμοι με προέλευση από το βορρά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξησή του. Αυτό, συμβαίνει λόγω της αυξημένης παραγωγής όζοντος σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (Αθήνα, ηπειρωτική Ευρώπη, αστικά κέντρα παραλίων Μικράς Ασίας). Το όζον επίσης μπορεί να μεταφερθεί και σε μεγαλύτερη διασυννοριακή κλίμακα, π.χ. μεταξύ ηπείρων (π.χ. βλ. & Derwent et. al., 2004). Τέλος θα πρέπει να τονισθεί και η εποχιακή διακύμανση του όζοντος, με μεγάλες συγκεντρώσεις την άνοιξη και το καλοκαίρι και μικρότερες το χειμώνα. Αυτή η διακύμανση οφείλεται επίσης στην έντονη φωτοχημική δραστηριότητα κατά τους θερινούς μήνες.

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος στην ατμόσφαιρα μετρούνται συνήθως σε parts per billion (ppb, η αναλογία μίγματος του όζοντος στον αέρα: μόρια όζοντος/ μόρια αέρα), ή σε ppm (1000 ppb). 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.

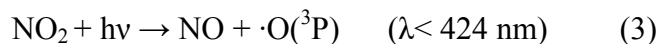
2.3 Η χημεία του όζοντος στην τροπόσφαιρα

Το τροποσφαιρικό όζον σε μία περιοχή, προέρχεται από μεταφορά από τη στρατόσφαιρα ή από άλλες περιοχές της τροπόσφαιρας και από τις φωτοχημικές αντιδράσεις παραγωγής του. Με μία μακροσκοπική θεώρηση, μπορούμε να πούμε ότι η φωτοχημική παραγωγή είναι η βασική προέλευσή του.

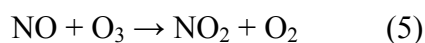
Η πρώτη μελέτη του τροποσφαιρικού όζοντος έγινε από τον Levy το 1971. Ο Levy παρουσίασε την παρακάτω διαδοχή αντιδράσεων η οποία συνιστά την φωτολυτική καταστροφή του όζοντος στην τροπόσφαιρα:



Ο Crutzen το 1973 ήταν ο πρώτος που έδωσε τη θεωρία παραγωγής του O_3 από τη μετατροπή του NO_2 σε NO . Οι αντιδράσεις είναι οι ακόλουθες:



Η τριάδα του κύκλου των αντιδράσεων κλείνει με την καταστροφή του όζοντος που παράχθηκε, από το NO που επίσης παράχθηκε στις προηγούμενες δύο αντιδράσεις.

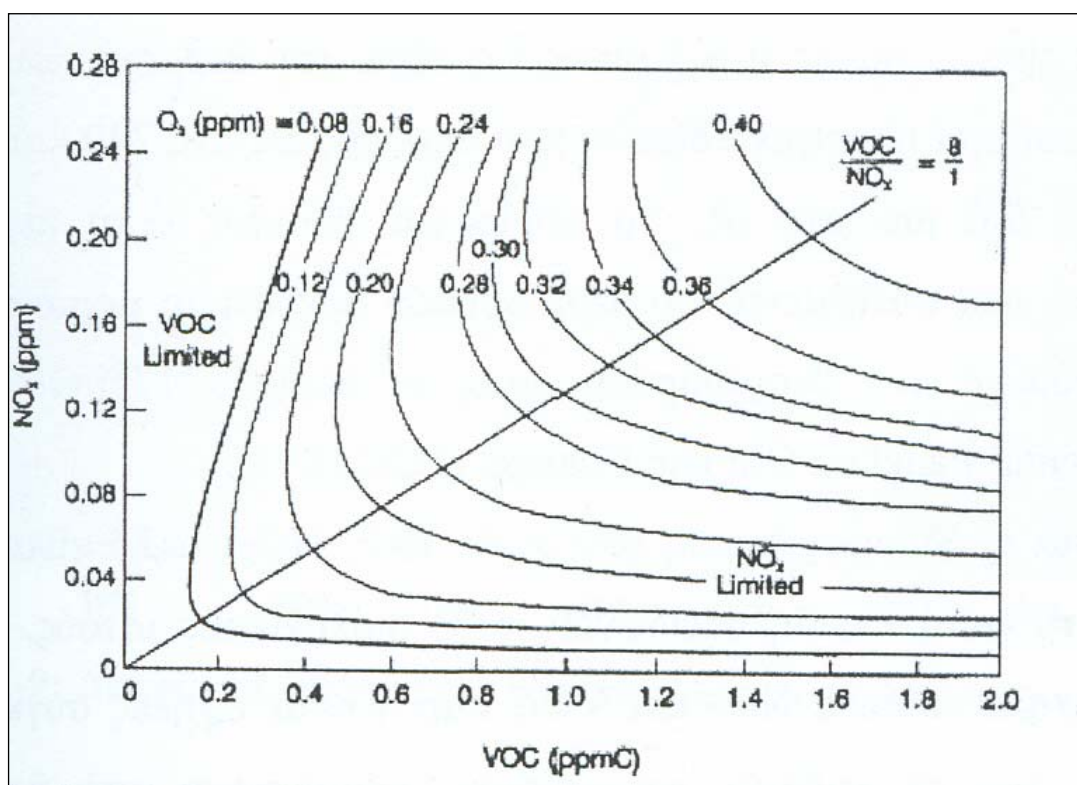


Από τον παραπάνω κύκλο, η παραγωγή όζοντος είναι μηδενική. Αυτό που πρέπει να γίνει ώστε να υπάρχει παραγωγή όζοντος είναι η ταυτόχρονη πραγματοποίηση μίας αντίδρασης μετατροπής του NO σε NO_2 η οποία να μην περιλαμβάνει το όζον στα αντιδρώντα. Τέτοιου είδους μηχανισμός είναι η αντίδραση του NO με ρίζες RO_2 (συνήθως HO_2):



Η αντίδραση (6) έχει μεγαλύτερη σταθερά αντίδρασης από την (5), επομένως κυριαρχεί και δεν συμβαίνει η καταστροφή όζοντος που περιγράφηκε προηγουμένως.

Η κύρια αιτία υψηλών συγκεντρώσεων όζοντος στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι η φωτοχημική αντίδραση των οξειδίων του αζώτου και των υδρογονανθράκων που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και τις βιομηχανίες. Ο βαθμός σχηματισμού του εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωση του υδρογονάνθρακα, καθώς επίσης και από τη συγκέντρωση του οξειδίου του αζώτου και το χρόνο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (VOC) είναι το δεύτερο συστατικό της τροπόσφαιρας με σημαντική συμβολή στην παραγωγή όζοντος. Αν τα VOC είναι περιορισμένα στην ατμόσφαιρα, τότε η παραγωγή όζοντος οριοθετείται από τα VOC (VOC limited). Αντίθετα αν τα NO_x είναι σε μικρές συγκεντρώσεις, η παραγωγή όζοντος οριοθετείται από τα NO_x (NO_x limited). Η παραπάνω συσχέτιση φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 2 (βλ. Κουβαράκης 2002).



Εικόνα 2: Επίδραση συγκεντρώσεων NO_x και VOC στα επίπεδα όζοντος.

3. ΤΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΤΗΝ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

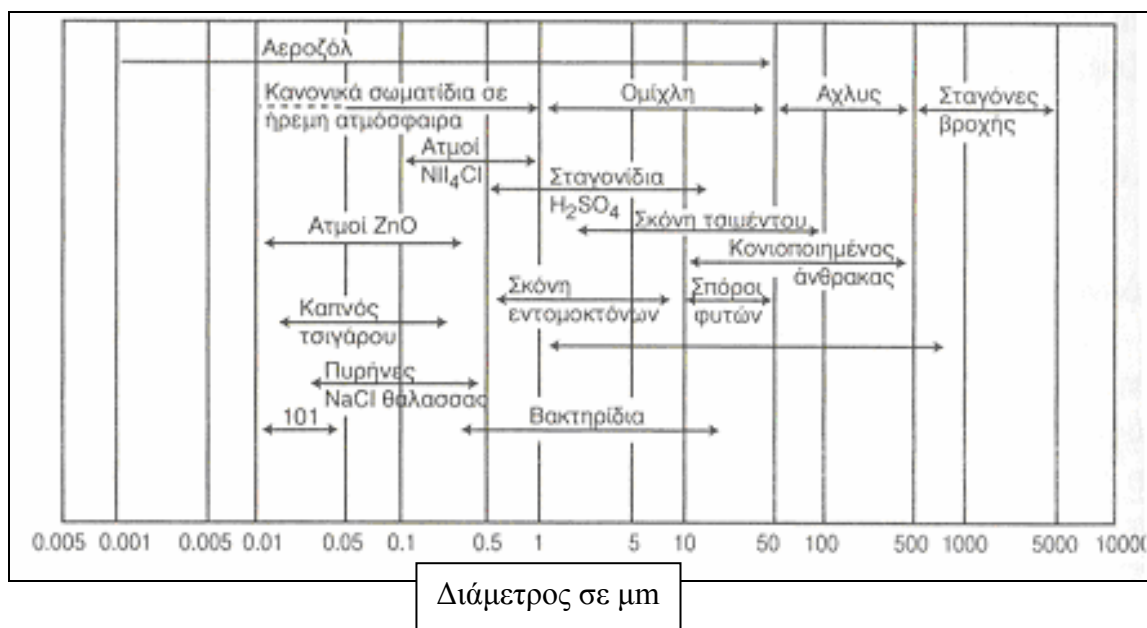
3.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση

Ως αεροζόλ, ορίζεται ένα σταθερό αιώρημα στερεών ή υγρών σωματιδίων στον αέρα. Το ατμοσφαιρικό αεροζόλ είναι λοιπόν ο συνδυασμός όλων των συμπυκνωμένων συστατικών που είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα όπως επίσης και ο αέρας στον οποίο περιέχονται τα αιωρούμενα σωματίδια. Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός, τόσο στη δυναμική της όσο και στη ρύπανση. Τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές οι ποσότητες της σωματιδιακής ρύπανσης είναι σημαντικές και η συγκέντρωσή τους φτάνει συχνά τα 10^7 με 10^8 σωματίδια / cm^3 . Τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μέγεθος, η χημική τους σύσταση και η φάση τους.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είτε εκπέμπονται και αιωρούνται άμεσα στην ατμόσφαιρα σε σωματιδιακή μορφή (μέσω ανθρωπογενών διεργασιών, διάβρωσης του εδάφους και στη συνέχεια αιώρησης λόγω ανέμου, σταγονίδια της θάλασσας), είτε παράγονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα (συμπύκνωση, πυρηνοποίηση, χημική μετατροπή). Ένας δεύτερος διαχωρισμός τους γίνεται με βάση το μέγεθος. Έτσι, υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες σωματιδίων, τα λεπτά (fine) και τα χονδρά (coarse). Τα πρώτα έχουν διάμετρο μικρότερη από $2.5 \mu\text{m}$ και τα δεύτερα μεγαλύτερη. Από την άλλη μεριά, τα λεπτά σωματίδια χωρίζονται σε τρεις ακόμα κατηγορίες: α) τα υπέρλεπτα (ultra fine) με διάμετρο από 0.003 μέχρι $0.02 \mu\text{m}$, β) τους πυρήνες συμπύκνωσης Aitken με διαμέτρους από 0.02 μέχρι $0.1 \mu\text{m}$, και γ) τα σωματίδια συσσώρευσης με διαμέτρους από 0.1 μέχρι $2.5 \mu\text{m}$.

Γενικά τα σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από $2.5 \mu\text{m}$ (fine), έχουν συγκεντρώσεις από 10 έως $10000/\text{cm}^3$, ενώ τα χονδρά σωματίδια (coarse) βρίσκονται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από $1/\text{cm}^3$ (Seinfeld & Pandis, 1996).

Στην εικόνα 3 φαίνονται οι διάμετροι μερικών διαφορετικών μορφών αιωρούμενων σωματιδίων.



Εικόνα 3: Διάμετροι διαφόρων μορφών σωματιδίων (Κουϊμτζής, 1998).

3.2 Μορφές αιωρούμενων σωματιδίων και χημική σύσταση ανάλογα με την περιοχή προέλευσης

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διάφορες μορφές, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, με το μέγεθός τους και τη φάση τους. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες (βλ. & Seinfeld & Pandis, 1996):

- **Σκόνη (dust)** : Σχηματίζεται από τη διάβρωση ή τον κατακερματισμό στερεών υλικών. Το μέγεθος των σωματιδίων είναι συνήθως μεγαλύτερο από $1\mu\text{m}$ (coarse).
- **Ομίχλη (fog)** : Υδροσταγονίδια σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθός τους είναι σχετικά μεγάλο και επομένως είναι ορατά. Συνήθως βρίσκονται κοντά στο έδαφος.
- **Κάπνα (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 βλαβερή. Η διάμετρος είναι μικρότερη από $1\mu\text{m}$ (fine).
- **Αχλός (haze)** : Μικρά σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από $1\mu\text{m}$, μείγμα υδροσταγονιδίων, ρύπων και σκόνης τα οποία μειώνουν την ορατότητα.
- **Νέφος (smog)** : Συνδυασμός ομίχλης και καπνού. Συχνά χρησιμοποιείται σαν όρος για οποιοδήποτε είδος ρυπασμένου αέρα.

•Καπνός (smoke) : Μικρά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0.01 μm που προέρχονται την από ατελή καύση άνθρακα ή άλλων καυσίμων, σε ικανή συγκέντρωση ώστε να είναι ορατά.

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



Εικόνα 4: Οι κυριότεροι τρόποι παραγωγής aerosol.

Γενικά, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από μία ανόργανη φάση (στερεό υλικό, υδατοδιαλυτά άλατα, στοιχειακός άνθρακας κ.α.) και από μία οργανική (οργανικός άνθρακας). Τα βασικά συστατικά των αιωρούμενων σωματιδίων που υπάρχουν στην τροπόσφαιρα είναι τα εξής: θείο, αμμωνία, αζωτούχες ενώσεις, χλωριούχες ενώσεις, νάτριο, άνθρακας και μέταλλα. Κάποιες ενδεικτικές τιμές μάζας και σύστασης αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα για διάφορες περιοχές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Ο πίνακας προέρχεται από δεδομένα των Heintzenberg και Solomon et. al. (1989).

Περιοχή	Μάζα (μgm^{-3})	C Στοιχειώδη	C Οργανικά	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}
Απομακρυσμένη	4.8	0.3	11	7	3	22
Επαρχιακή	15	5	24	11	4	37
Αστική	32	9	31	8	6	28
Έντονα ρυπασμένη (L.A.)	87.4	3	18	6	20	6

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές μάζας και σύστασης σωματιδίων σε διάφορες περιοχές.

Οι φυσικές πηγές των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων είναι η σκόνη από τα πετρώματα του εδάφους, τα ηφαίστεια και η καύση της βιομάζας. Από την άλλη, οι ανθρωπογενείς πηγές μπορούν να είναι οι καύσεις που πραγματοποιούνται από τον άνθρωπο, η βιομηχανική δραστηριότητα, οι μεταφορές, οι κατασκευές και η αγροτική εκμετάλλευση της Γης.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, οι περιοχές όσον αφορά τη σχέση τους με το αστικό περιβάλλον χαρακτηρίζονται ως μολυσμένες, αστικές (urban), επαρχιακές (continental) και απομακρυσμένες (remote) και παρουσιάζουν διαφορετικές ποσότητες ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (μάζα). Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, η περιοχή ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας έχει στοιχεία από όλους αυτούς τους τύπους. Η διαφορές είναι επίσης εμφανείς και στη χημική σύσταση του σωματιδιακού φορτίου της περιοχής και στο μέγεθος των σωματιδίων.

Σωματίδια σε αστικές περιοχές:

Στα αστικά σωματίδια περιλαμβάνονται τόσο πρωτογενείς εκπομπές από τη βιομηχανία, τις μεταφορές, την παραγωγή ενέργειας και τις φυσικές πηγές, όσο και δευτερογενείς από τη μετατροπή αερίων σε σωματίδια (gas-to-particle conversion). Σε ρυπασμένες περιοχές, τα μικρά σωματίδια μπορούν να περιέχουν μέχρι και 40 % άνθρακα ενώ τα μεγάλα είναι κυρίως ανόργανα (πυριτικά άλατα εδαφικής προέλευσης, ενώσεις του Al και του Ca κ.α.), (Κουϊμτζής, 1998). Τα περισσότερα αστικά σωματίδια έχουν διαμέτρους μικρότερες από 0.1 μm (υπέρλεπτα και πυρήνες συμπύκνωσης). Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η συγκέντρωση αυτών στις περιοχές γύρω από σημειακές πηγές. Όμως, στο μεγαλύτερο μέρος της μάζας των σωματιδίων συνεισφέρουν τα σωματίδια με διάμετρο $> 0.1 \mu\text{m}$.

Θαλάσσια σωματίδια:

Τα θαλάσσια aerosol είναι υδατικά διαλύματα NaCl και $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Οι αριθμητικές συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν είναι της τάξης του 100 έως 300/ cm^3 . Τα μεγέθη που εμφανίζουν τα θαλάσσια σωματίδια βρίσκονται σε τρεις περιοχές: α) με διαμέτρους μικρότερες από 0.1 μm (πυρήνες συμπύκνωσης), β) με διαμέτρους μεταξύ 0.1 και 0.6 μm , γ) με διαμέτρους μεγαλύτερες από 0.6 μm (Fitzgerald, 1991). Τα μεγαλύτερα από αυτά, αποτελούν το 95 % της μάζας των σωματιδίων, αλλά μόνο το 5-10 % του συνολικού αριθμού τους. Μία τυπική συγκέντρωση από aerosol θαλάσσης είναι περίπου 5 έως 30 cm^{-3} (Blanchard and Cipriano, 1987; O'Dowd and Smith 1993).

Σωματίδια σε ηπειρωτικές περιοχές:

Στις ηπειρωτικές (μη αστικές) περιοχές, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι στο μεγαλύτερό τους μέρος φυσικής προέλευσης (σκόνη, καύση βιομάζας). Οι διάμετροι με την υψηλότερη αριθμητική συγκέντρωση είναι οι 0.02 και τα 0.08 μm (Jaenicke, 1993). Από την άλλη, τα σωματίδια με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη συνολική μάζα, είναι τα μεγάλα σωματίδια με διάμετρο γύρω στα 7 μm . Μία τυπική συγκέντρωση σωματιδίων PM_{10} (με διαμέτρους μικρότερες από 10 μm) σε ηπειρωτική περιοχή είναι τα 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σωματίδια σε απομακρυσμένες περιοχές:

Τα σωματίδια σε απομακρυσμένες περιοχές είναι πρωτογενούς προέλευσης (σκόνη, γύρη), είτε προέρχονται από δευτερογενή οξείδωση. Η αριθμητική τους συγκέντρωση είναι της τάξης του 2000 μέχρι 10000 / cm^3 , ενώ μία τυπική συγκέντρωση PM_{10} είναι τα 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bashurova et al., 1992; Koutsenogii and Jaenicke, 1994).

Σωματίδια με προέλευση από την έρημο:

Η κατανομή μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από την έρημο, είναι παρόμοια με αυτών που βρίσκονται σε απομακρυσμένες ηπειρωτικές περιοχές, αλλά εξαρτάται ισχυρά από την ταχύτητα του ανέμου. Οι συγκεντρώσεις είναι υψηλές για σωματίδια με διαμέτρους 0.01 μm ή μικρότερες, 0.05 μm και 10 μm . Τα βασικά χημικά συστατικά που περιέχονται στα aerosol της ερήμου είναι το πυρίτιο, το αργίλιο, ο σίδηρος, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το νάτριο και το κάλιο. Όπως έχει προαναφερθεί,

ποσότητες από σκόνη είναι δυνατόν να μεταφερθούν από τις έρημους για μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωσή τους και σε περιοχές με χαμηλή τοπική εκπομπή/ παραγωγή. Στην περιοχή της Κρήτης το φαινόμενο αυτό είναι πολύ συχνό (Sahara dust events), αλλά μπορεί να παρατηρηθεί και σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, όπως για παράδειγμα στις δυτικές ακτές της Αφρικής, στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ. Αυτή η μεταφορά, όπως είναι προφανές, συμβαίνει κυρίως για σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μm , τα οποία ωστόσο μπορούν να μεταφερθούν σε απόσταση έως και 5000 km.

3.3 Μηχανισμοί απομάκρυνσης

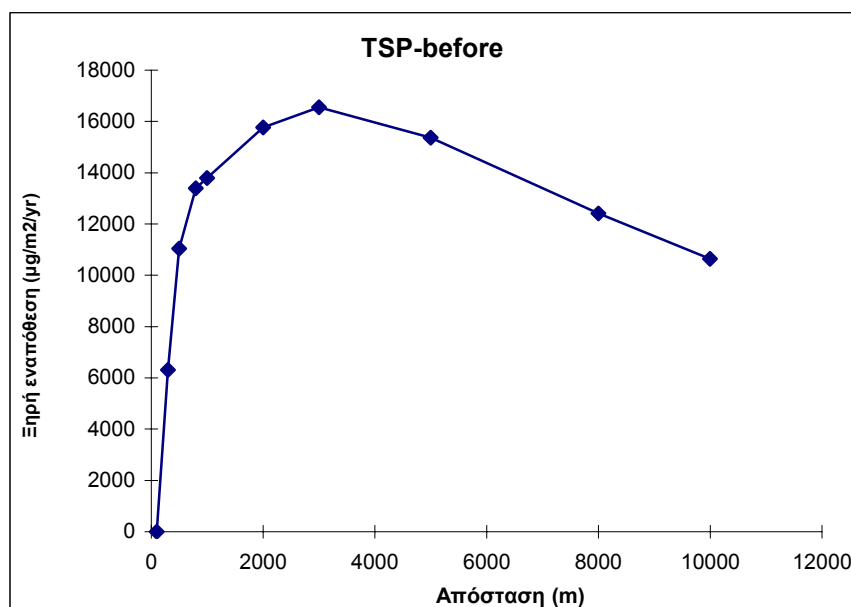
Οι βασικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης των σωματιδίων έχουν να κάνουν με την εναπόθεσή τους στην επιφάνεια του εδάφους. Κατά την ξηρή τους εναπόθεση καθιζάνουν βαρυτικά, ενώ κατά την υγρή εναπόθεση αποπλένονται με τη βροχή, αφού πρώτα ενσωματώνονται στα υδροσταγονίδια. Τελικά, ο χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην τροπόσφαιρα είναι της τάξης των μερικών ημερών, έως μερικών εβδομάδων. Στην εικόνα 5, φαίνεται η θεωρητικά προσδιορισμένη ξηρή απόθεση των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων (TSP) που προέρχονται από το εργοστάσιο της Ξυλοκαμάρας στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων. Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα εξόδου (συγκεντρώσεις) του μοντέλου διασποράς CONCEX και το θεωρητικό υπολογισμό της απόθεσης στη συνέχεια σε $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για την εναπόθεση είναι ο:

$$F_d = \chi_d * V_d \quad (7)$$

όπου χ_d οι συγκεντρώσεις του ρύπου στο σημείο υπολογισμού και V_d η ταχύτητα απόθεσης (από τη βιβλιογραφία για τα θεϊκά σωματίδια δίνεται 0.1 cm/s). Η απόσταση σε m είναι η απόσταση από το εργοστάσιο. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η πόλη βρίσκεται σε απόσταση 3.5 km, όπου βρίσκεται και το μέγιστο της ξηρής εναπόθεσης. Παρόμοια μελέτη έχει πραγματοποιηθεί και για τον υπολογισμό της υγρής εναπόθεσης (βλ. Βουλγαράκης & Πασχάλη, 2003). Η υγρή εναπόθεση εξαρτάται από τη διάρκεια του υετού και από τον τύπο του. Η παραμετροποίησή της γίνεται μέσω της εξίσωσης:

$$Q = Q_0 * e^{-\Lambda * t} \quad (8)$$

όπου Q_0 είναι η αρχική συγκέντρωση του ρύπου στο σημείο ενδιαφέροντος, Q η συγκέντρωση του ρύπου μετά την απόπλυση, t ο χρόνος απόπλυσης και Λ ο παράγοντας απόπλυσης σε s^{-1} . Τελικά η ποσότητα $Q-Q_0$ είναι αυτή που καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 5: Θεωρητικά υπολογισμένη εναπόθεση TSP προερχόμενη από το εργοστάσιο της ΔΕΗ στην περιοχή Ξυλοκαμάρα των Χανίων.

3.4 Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία και το περιβάλλον

3.4.1 Επιπτώσεις στην υγεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι βλαβερά για το αναπνευστικό σύστημα και η αρνητικές τους επιπτώσεις σε αυτό εξαρτώνται από την τοξικότητά τους. Από την άλλη μεριά, ακόμα και τα μη τοξικής προέλευσης σωματίδια μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά προβλήματα του αναπνευστικού. Για παράδειγμα η σκόνη, η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη μορφή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, παρόλο που είναι ανόργανη και μη τοξική, μπορεί να εισέλθει (ειδικά οι μικρότεροι από τους κόκκους της) ως τις κυψελίδες των πνευμόνων και να συσσωρευτεί, με αποτέλεσμα χρόνια προβλήματα του αναπνευστικού. Το κλάσμα των σωματιδίων του αέρα που εισπνέεται στο ανθρώπινο σώμα εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων. Τα εισπνεόμενα σωματίδια μπορούν να συγκεντρωθούν σε κάποιο σημείο του σώματος και να προκαλέσουν κοντά σε αυτό

φθορές, στην περίπτωση που είναι καρκινογενετικά, πολύ μικρά ή ικανά να προκαλέσουν κάποιο άλλο είδος φθοράς. Το διεθνές πρότυπο ISO 7708 δίνει τους ορισμούς των κλασμάτων μεγέθους σωματιδίων που χρησιμοποιούνται στη δειγματοληψία που σχετίζεται με την ανθρώπινη υγεία:

- Κλάσμα εισπνοής: Το κλάσμα μάζας των ολικών σωματιδίων του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέεται από τη μύτη και το στόμα (TSP, total suspended particles, ολικά αιωρούμενα σωματίδια).
- Θωρακικό κλάσμα: Το κλάσμα μάζας των εισπνεόμενων σωματιδίων που διεισδύει μετά το λάρυγγα. Η μέση τιμή του μεγέθους των σωματιδίων αυτών είναι μικρότερη ή ίση με $10\mu\text{m}$ (PM_{10}).
- Κλάσμα αναπνοής: Το κλάσμα μάζας των εισπνεόμενων σωματιδίων που διεισδύει στους αεραγωγούς του πνεύμονα.
- Το κλάσμα αναπνοής υψηλού κινδύνου που χρησιμοποιείται στην περίπτωση που πρέπει να προστατευτούν παιδιά ή ασθενείς, έχει μέση διάμετρο σωματιδίων $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$).
- Το κλάσμα αναπνοής «υγιούς ενήλικου» που χρησιμοποιείται στην περίπτωση που πρέπει να προστατευθούν υγιείς ενήλικοι, έχει μέση διάμετρο σωματιδίων $4.25\mu\text{m}$.

Μετά την εισχώρηση των σωματιδίων στο αναπνευστικό, αυτά μπορούν να διαλυθούν στην υγρή φάση των βρόγχων και στη συνέχεια να εισέλθουν στους λεμφαδένες ή στην κυκλοφορία. Τα σωματίδια που εισέρχονται στην περιοχή των κυψελίδων υπόκεινται σε απορροφητικούς και μη μηχανισμούς απομάκρυνσης. Στις κυψελίδες, ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης είναι η φαγοκύτωση από τα κυψελιδικά μακροφάγα κύτταρα και η μετακίνησή τους με αυτά στην περιοχή που αρχίζει το στρώμα της βλέννας που κινείται προς το φάρυγγα (Αλεξανδροπούλου, 2003). Η βιολογική τους ημίσεια ζωή μπορεί να κυμανθεί από μέρες μέχρι χρόνια. Τελικά, η μακροχρόνια εισπνοή των σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα και σε κάποιες περιπτώσεις καρκινογένεση. Οι οργανικές κόνεις μπορούν επίσης να προκαλέσουν και αλλεργικές αντιδράσεις (Κουϊμτζής, 1998).

3.4.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Τα ζώα τα οποία έχουν παραπλήσια φυσιολογία με τον άνθρωπο είναι προφανές ότι εκτίθενται σε εξίσου υψηλούς κινδύνους από τη σωματιδιακή ρύπανση. Η βιβλιογραφία που είναι διαθέσιμη για το συγκεκριμένο θέμα είναι περιορισμένη, αλλά υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις για το ότι η επιβάρυνση είναι καθολική, σε όλους τους ζώντες οργανισμούς. Για τα φυτά είναι δυνατόν να υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις, κυρίως στην περίπτωση που οι σωματιδιακοί ρύποι έχουν τοξική προέλευση. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί και η επίδραση των σωματιδίων στα υλικά. Τα όξινα και αλκαλικά σωματίδια, ειδικά αυτά που περιέχουν θείο, είναι δυνατόν να διαβρώσουν υλικά όπως την πέτρα, το χρώμα των τοίχων, τα υφάσματα και τις ηλεκτρικές συνδέσεις. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής σε μνημεία, μουσεία κλπ, όπου η αυστηρή συντήρηση των υλικών έχει μεγάλη σημασία.

Τέλος, δεν θα πρέπει να παραληφθεί ως περιβαλλοντική επίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων και η μείωση της ορατότητας που αυτά προκαλούν. Η σκέδαση και η απορρόφηση που αυτά επιφέρουν στο ορατό κυρίως τμήμα του φάσματος του φωτός (400-800 nm) είναι καθοριστική.

Γίνεται τελικά αντιληπτό ότι το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης είναι ιδιαίτερα σοβαρό και μπορεί να καταστεί επικίνδυνο. Για αυτό το λόγο άλλωστε, ο έλεγχος αυτής της μορφής ρύπανσης είναι από τις πρώτες ενέργειες που ξεκίνησε ο άνθρωπος για την προστασία του περιβάλλοντος. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει τόσο τον περιορισμό των εκπομπών όσο και την εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών. Στην Ελλάδα, για την αξιολόγηση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος έχει θεσπιστεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος η οριακή τιμή των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές το έτος.

4. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην περιοχή της Ελλάδος, όπως έχει προαναφερθεί δεν υπάρχει εκτεταμένο δίκτυο μόνιμων μετρήσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων (εκτός από τα μεγάλα αστικά κέντρα, π.χ. για Αθήνα βλ. Varotsos et. al., 2000). Ειδικότερα για το τροποσφαιρικό όζον, οι μόνοι μόνιμοι σταθμοί που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι αυτός της Φινοκαλιάς

(35° 19' N, 25° 40' E, 150m asl, από τον 03/2000) και της περιοχής Λιβάδι στη Θεσσαλονίκη (Kouvarakis et al., 2000, 2002 c). Στο πρόγραμμα EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) αναφέρεται και η περιοχή της Αλιάρτου στην κεντρική Ελλάδα. Στην Αλιάρτο οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το 1999 και έδωσαν έναν μέσο όρο (βλ. EMEP, 2001) 30.2 ± 7.9 ppb_v O₃. Γενικά, οι περιοχές στις οποίες είχαν πραγματοποιηθεί μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος πριν από την εγκατάσταση του σταθμού του Ακρωτηρίου φαίνονται στον ακόλουθο χάρτη.



Εικόνα 6. Απομακρυσμένοι σταθμοί μέτρησης όζοντος στον ελλαδικό χώρο (Κουβαράκης, 2002).

Όπως φαίνεται, μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί επίσης στην περιοχή Μεσσορούγιον (38° 01' N, 22° 15' E, 1070 m asl.) στην ορεινή Πελοπόννησο, κατά διαστήματα του 1996 και 1997 δίνοντας μία μέση ετήσια τιμή 43.5 ± 4.6 ppb_v O₃ (Glavas, 1999). Στο Λιβάδι (40° 32' N, 23° 30' E, 850 m asl), οι μετρήσεις που υπάρχουν αφορούν την περίοδο 03/2000 έως 01/2001 και ο μέσος όρος που προέκυψε από αυτές ήταν 47.9 ± 9.8 ppb_v O₃ (Kouvarakis et al., 2002 c). Στο βόρειο Αιγαίο, υπάρχει ο σταθμός του Αγίου Ευστρατίου (39° 34' N, 24° 58' E), όπου για το διάστημα 2/6/96 έως 6/6/96 δόθηκε μία μέση τιμή 61.4 ± 7.8 ppb_v O₃ (Zerefos et al., 1998). Τέλος, στην περιοχή της Αττικής, έχουν ληφθεί μετρήσεις στο Τατόι (37° 59' N, 23° 44' E) για την περίοδο 31/5/96 μέχρι 17/6/96 δίνοντας μία μέση τιμή 58.7 ± 10.7 ppb_v O₃ (Zerefos et al., 1998). Ακόμα, έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις και στο νομό Χανίων στα πλαίσια του προγράμματος PAUR II το Μάιο του 1999, οι οποίες θα παρουσιασθούν σε επόμενη παράγραφο. Τέλος, θα

πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν μετρήσεις και για την περιοχή της Λέσβου (Kakaridou et. al., 2003).

Από την άλλη μεριά, τα δεδομένα σωματιδιακής (PM_{10} , $PM_{2.5}$, TSP) ρύπανσης σε περιοχές της Ελλάδας είναι ακόμα λιγότερα. Είναι χαρακτηριστικό ότι στο πρόγραμμα EMEP δεν περιλαμβάνεται κανένας ελληνικός σταθμός. Παρόλα αυτά, έχουν πραγματοποιηθεί περιστασιακές μετρήσεις σε αρκετές περιπτώσεις και υπάρχουν περιορισμένοι σταθμοί στα μεγάλα αστικά κέντρα (π.χ. για Αθήνα βλ. website Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.).

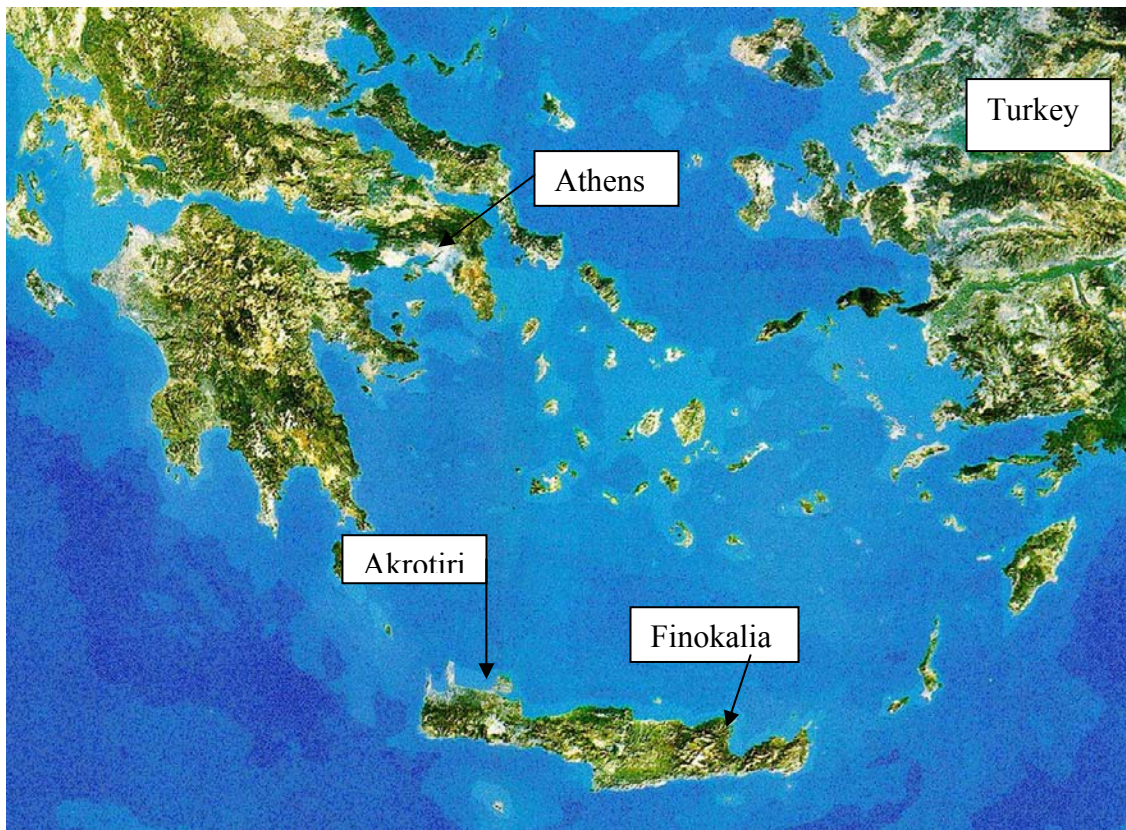
Για μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην Ευρώπη, βλ. Lazaridis et. al. 2001.

Σε επόμενο μέρος της εργασίας θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των επιπέδων ρύπανσης από όζον στους σταθμούς της Ελλάδος με διάφορους σταθμούς της Ευρώπης.

5. Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

5.1 Η τοπογραφία της περιοχής και οι σημαντικότερες πηγές

Το Πολυτεχνείο Κρήτης βρίσκεται στο Ακρωτήρι Χανίων, σε απόσταση περίπου 5 Km από την πόλη των Χανίων (σε ευθεία). Γενικά τα Χανιά (~70.000 κάτοικοι) δεν μπορούν να χαρακτηριστούν σαν μία έντονα ρυπασμένη περιοχή. Υπάρχουν οι κλασικοί αστικοί ρύποι οι οποίοι προέρχονται κυρίως από τα αυτοκίνητα, τη θέρμανση και κάποια υποτυπώδη βιομηχανία που λειτουργεί στην ευρύτερη περιοχή. Η σημαντικότερη μονάδα που υπάρχει αυτή τη στιγμή είναι η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ξυλοκαμάρια που βρίσκεται ~6 km Νότια - Νοτιοανατολικά από το κέντρο της πόλης. Από τη συγκεκριμένη βιομηχανική εγκατάσταση οι ρύποι που επιβαρύνουν την περιοχή είναι εκπομπές SO_2 , NO και NO_2 και καπνού. Πρέπει επίσης να αναφερθεί και το εργοστάσιο σαπωνοποιίας της ABEA στην πόλη των Χανίων το οποίο όμως πλέον υπολειτουργεί και το βασικό του τμήμα βρίσκεται σε περιοχή μακριά από την Πολυτεχνειούπολη. Γενικά, η επίδραση της τοπικής βιομηχανίας στη ρύπανση είναι περιορισμένη και περιστασιακή.



Εικόνα 7 Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

Η Πολυτεχνειούπολη (στην οποία είναι εγκατεστημένος ο σταθμός) βρίσκεται στο προάστιο των Χανίων Κουνουπιδιανά. Ο κεντρικός οδικός άξονας της περιοχής βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Πολυτεχνειούπολης και απέχει από το σταθμό 400 m. Επίσης δίπλα στο σταθμό βρίσκεται το πάρκινγκ του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων σε απόσταση 10 m περίπου. Η κίνηση των οχημάτων μέσα στην Πολυτεχνειούπολη είναι αυξημένη από τις πρωινές μέχρι τις μεσημβρινές ώρες, ενώ στον κεντρικό δρόμο της περιοχής καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Σημειώνεται επίσης ότι στην περιοχή του Ακρωτηρίου βρίσκεται ο Αερολιμένας Χανίων, η Αμερικανική στρατιωτική βάση και η 115 Πτέρυγα Μάχης, όλα σε απόσταση 8-12 περίπου km ανατολικά. Τέλος, η απόσταση από τη θάλασσα είναι περίπου 1.5 km προς τη δύση.



Εικόνα 8 Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η ρύπανση από πηγές που σχετίζονται με τη συγκοινωνία αναμένεται μέγιστη το πρωί και το μεσημέρι – με μια χρονική υστέρηση λόγω σχετικής απόστασης του σταθμού από την πόλη- σε ημερήσιο επίπεδο. Σε εποχιακό επίπεδο, η μέγιστη ρύπανση αναμένεται το καλοκαίρι.

Στην περιοχή του σταθμού δεν υπάρχουν ψηλά δέντρα τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις μετεωρολογικές μετρήσεις. Υπάρχει όμως ένα αξιοσημείωτα ψηλό κτίριο (Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων) σε απόσταση ~50 m από το σταθμό. Το ύψος του κτιρίου είναι γύρω στα 15 m. Γύρω από το σταθμό επίσης υπάρχουν θαμνώδεις εκτάσεις, από το έδαφος των οποίων μπορεί να προέρχεται σκόνη.

Ο βασικότερος παράγοντας ρύπανσης της περιοχής όπως προαναφέρθηκε είναι η μεταφορά ρύπων από μεγάλες αποστάσεις (regional transport). Οι επιδράσεις που δέχεται η Κρήτη από απομακρυσμένες πηγές είναι ποικίλες και σύνθετες. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές από τις μεγάλες πόλεις της Ευρώπης (και φυσικά από την Αθήνα και τα Τουρκικά παράλια) μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Κρήτης κάτω από συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Οι Βόρειοι και οι Δυτικοί άνεμοι (ή οι Ανατολικοί στην περίπτωση της προέλευσης από τα παράλια της Μικράς Ασίας), όταν ειδικά έχουν μεγάλες ταχύτητες, ευνοούν τέτοια φαινόμενα. Είναι

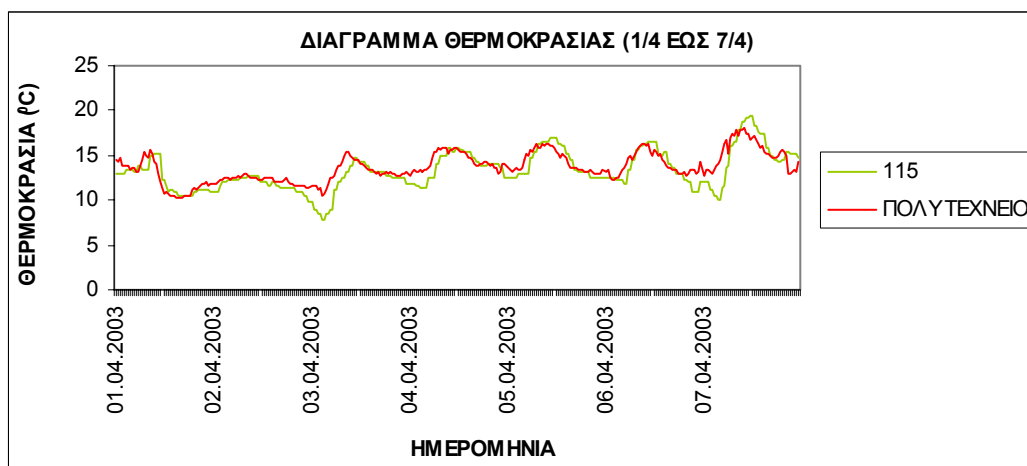
αξιοσημείωτο ότι απομακρυσμένες περιοχές στην Κρήτη εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε ουσίες ανθρωπογενούς προέλευσης (βλ. Φινοκαλιά).

Από την άλλη, όταν οι αέριες μάζες που βρίσκονται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής προέρχονται από το Νότο (Χώρες της Βόρειας Αφρικής με εκτεταμένες ερημικές περιοχές), ο αέρας είναι ιδιαίτερα επιβαρημένος από σκόνη (επεισόδιο σκόνης από τη Σαχάρα).

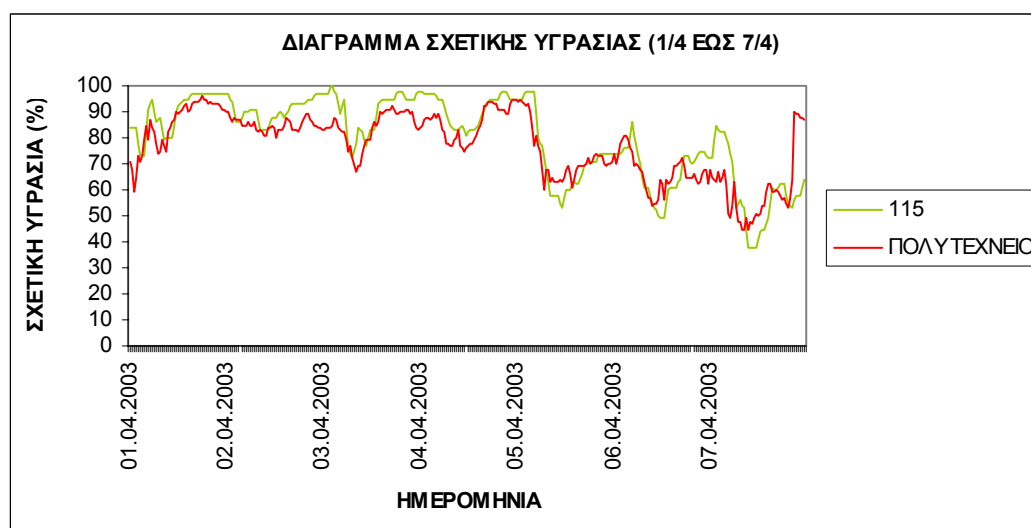
Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι η περιοχή των μετρήσεων δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αστική (urban) αλλά ούτε και απομακρυσμένη (remote), αφού η απόσταση από την πόλη είναι σχετικά μικρή. Η απόστασή της από τη θάλασσα είναι επίσης μικρή, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά μιας παραθαλάσσιας περιοχής (marine).

5.2 Η μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή

Στην περιοχή του Ακρωτηρίου Χανίων, πραγματοποιούνται μετεωρολογικές μετρήσεις από το 1958 από την Ε.Μ.Υ. Ο σταθμός μετρήσεων βρίσκεται στην 115 Πτέρυγα Μάχης, κοντά στην περιοχή του αεροδρομίου. Η απόσταση από το Πολυτεχνείο Κρήτης είναι μικρή (περίπου 8 km ανατολικά) επομένως οι μετεωρολογικές συνθήκες μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές και για την περιοχή του Πολυτεχνείου. Η συμφωνία των μετρήσεων που λαμβάνονται στους δύο σταθμούς φαίνεται και από τα ακόλουθα διαγράμματα σύγκρισης της πορείας της θερμοκρασίας και της υγρασίας στους δύο σταθμούς για την πρώτη εβδομάδα του Απριλίου του 2003. Ο Μετεωρολογικός αυτός σταθμός (115) πληροί τα κριτήρια λειτουργίας των Διεθνών Μετεωρολογικών οργανισμών και είναι υπό την εποπτεία μόνιμου προσωπικού που τον λειτουργεί σε καθορισμένο ωράριο εργασίας.



Εικόνα 9: Σύγκριση θερμοκρασιών για τους σταθμούς του Ακρωτηρίου και της Σούδας (115) την περίοδο 1/4/03 έως 7/4/03.

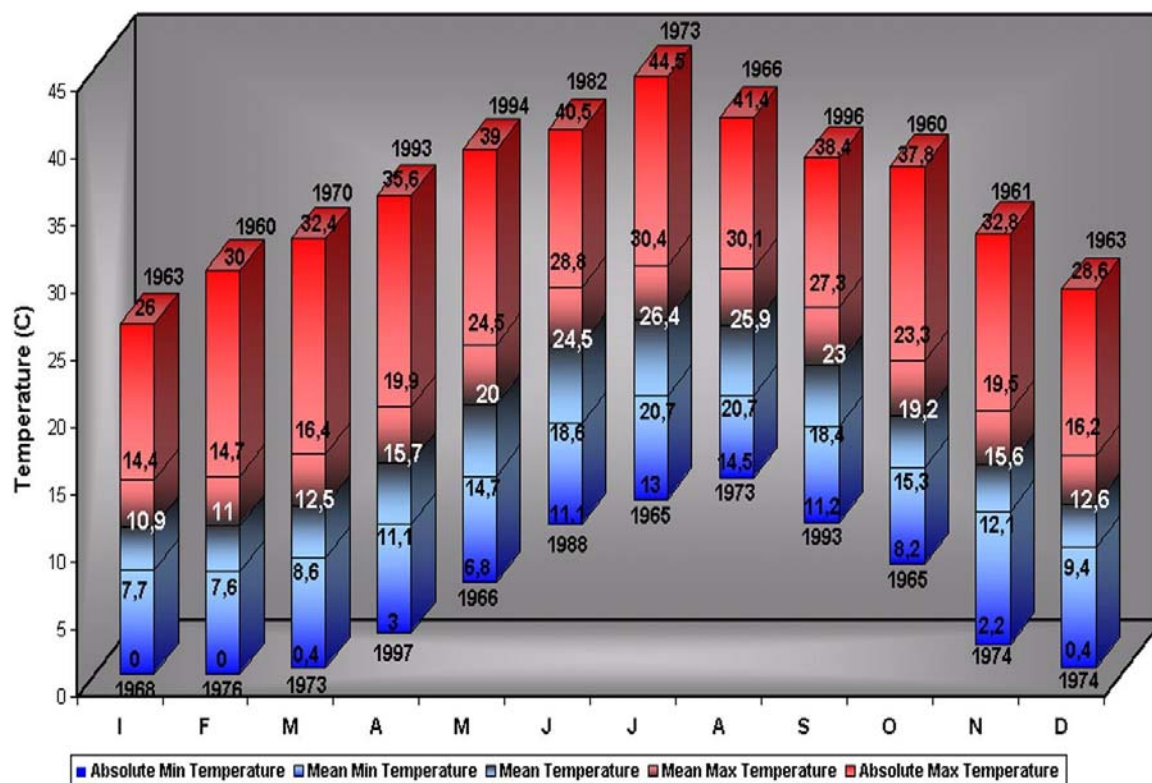


Εικόνα 10: Σύγκριση σχετικής υγρασίας για τους σταθμούς Ακρωτηρίου και Σούδας για την περίοδο 1/4-7/4.

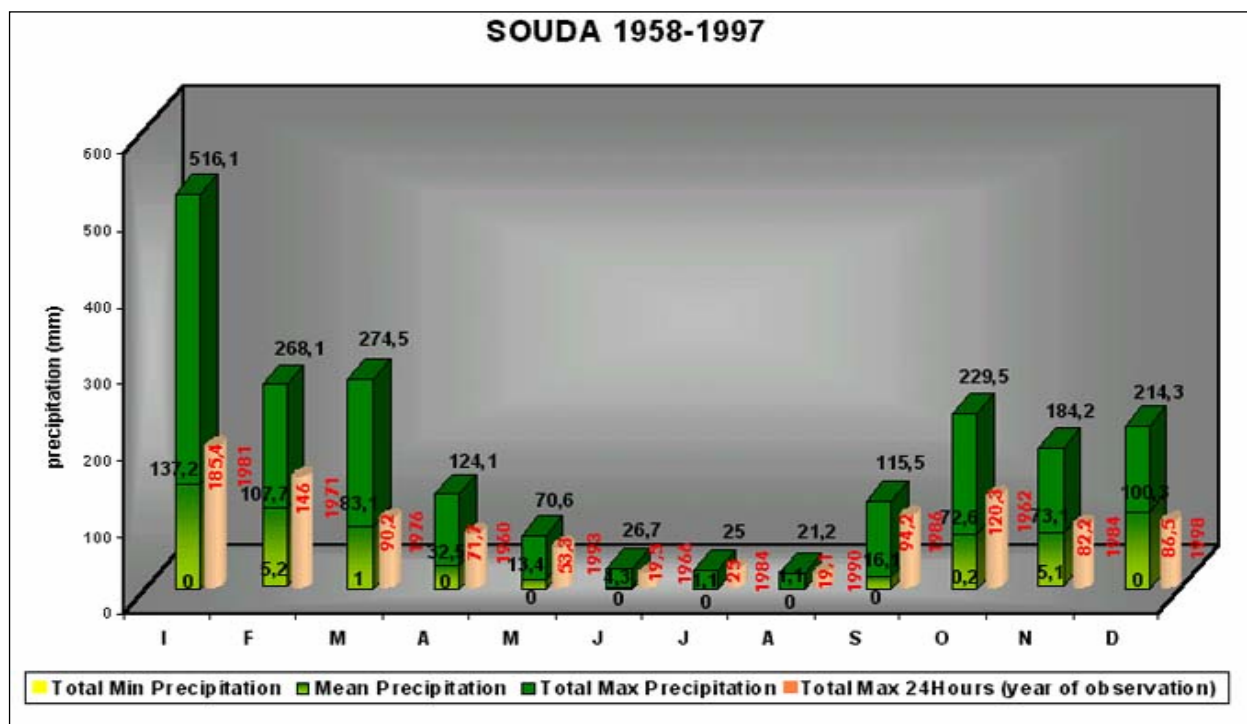
Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια διαγράμματα στα οποία συγκεντρώνεται ένα μεγάλο μέρος από τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής. Σημειώνεται ότι η περίοδος παρατηρήσεων είναι από το 1958 έως το 1997. Συγκεκριμένα στην εικόνα 11 (θερμοκρασιακό ραβδόγραμμα) παριστάνονται για κάθε μήνα οι μέσες, μέσες μέγιστες και μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες, καθώς και οι απολύτως ελάχιστες και οι απολύτως μέγιστες συνοδευόμενες από τη χρονιά που παρατηρήθηκαν. Στην εικόνα 12 (βροχομετρικά διαγράμματα) φαίνεται για κάθε μήνα το μέσο, το ελάχιστο και το

μέγιστο ύψος της βροχής, καθώς και το μέγιστο ύψος που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου με την αντίστοιχη χρονιά σημειωμένη.

SOUDA 1958-1997



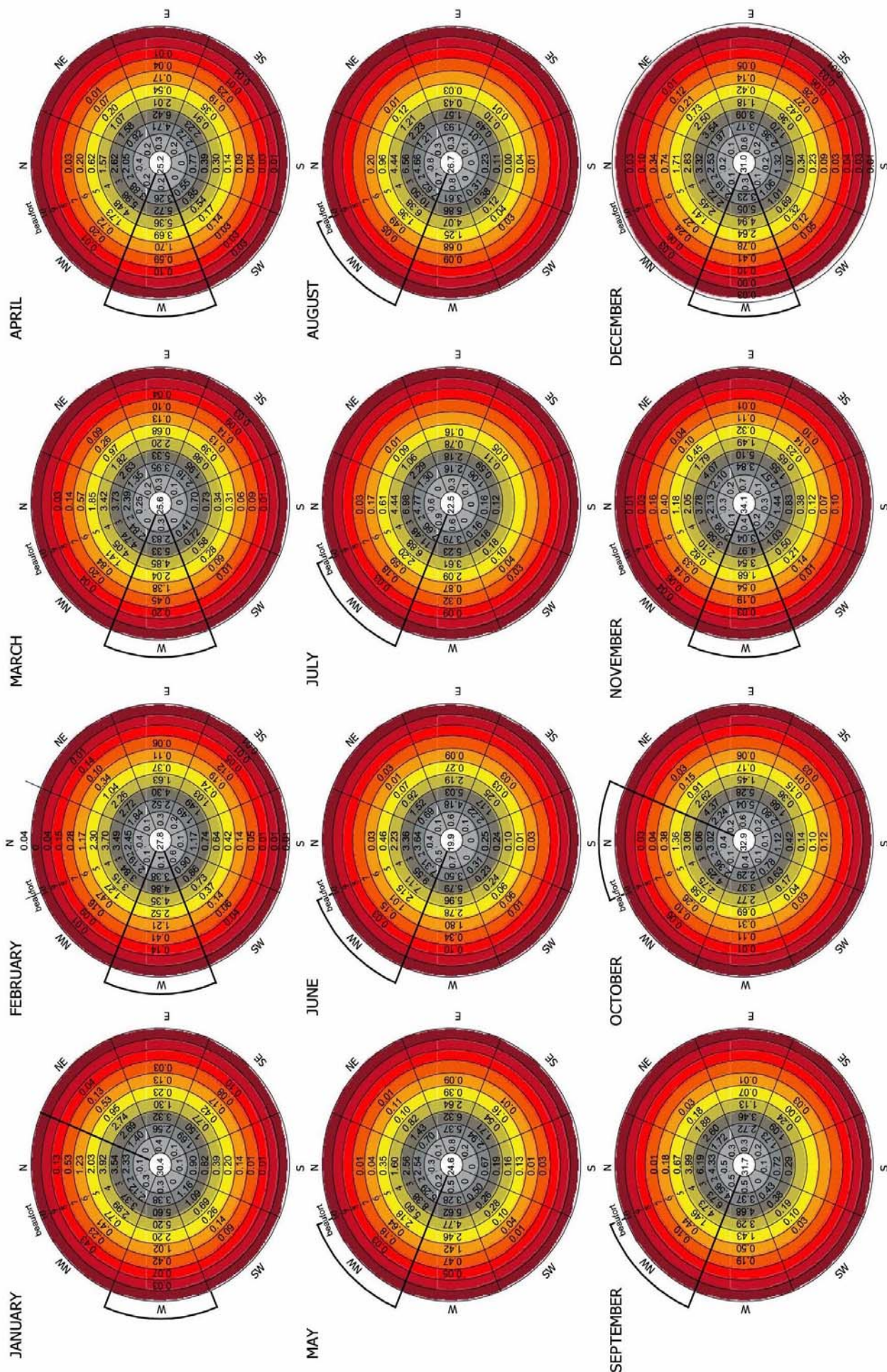
Εικόνα 11: Θερμοαραβδόγραμμα για το μετεωρολογικό σταθμό της Σούδας.



Εικόνα 12: Βροχομετρικό διάγραμμα για το σταθμό της Σούδας.

Τέλος στο τρίτο διάγραμμα παρουσιάζονται για κάθε μήνα οι συχνότητες εμφάνισης των ανέμων ανάλογα με τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου (σε μποφόρ). Η παρουσίαση γίνεται με τη χρήση των “advanced wind roses”, μέθοδος η οποία επινοήθηκε από την ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης που κατασκεύασε τα αντίστοιχα διαγράμματα [Λέκκας, Βουλγαράκης, Χατζημανωλάκη, Κουτσογιαννάκη, 2003]. Στα ροδογράμματα αυτά φαίνεται η συχνότητα % της κάθε διεύθυνσης ανέμου για όλες τις τιμές της ταχύτητάς του.

SOUDA (1958-1997)



advanced wind-rose

Εικόνα 13: Ροδογράμματα για το σταθμό της Σούδας

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούν να προκύψουν σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την κλιματολογία της περιοχής. Συγκεκριμένα, από το θερμοραβδόγραμμα, προκύπτει ότι το μέσο μηνιαίο θερμοκρασιακό εύρος, που ορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στην μέση ελάχιστη και την μέση μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας κάθε μήνα, κυμαίνεται από 5° έως 10° C. Η περιοχή με βάση αυτή τη διαπίστωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως Μεσογειακή παραθαλάσσια. Από την άλλη μεριά, η ελάχιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί είναι οι 0°C και η μέγιστη 44.5°C . Όσον αφορά την ελάχιστη, η τιμή είναι αρκετά φυσιολογική, αλλά η μέγιστη μπορεί να χαρακτηριστεί ως ακραία. Προκειμένου να σημειωθούν οι ακραίες αυτές μέγιστες τιμές απαιτείται και η τροφοδότηση του νησιού με νότιο γενικά ρεύμα, τόσο στην κατώτερη όσο και στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Επίσης, οι βόρειες περιοχές του νομού (στις οποίες συγκαταλέγεται και το Ακρωτήριο) επηρεάζονται και από την παρουσία του ορεινού όγκου των Λευκών Ορέων στο κεντρικό και νότιο μέρος του νομού, λόγω της καθοδικής κίνησης του αέρα στο υπήνεμο των ορέων (φαινόμενο Foehn).

Από τα βροχομετρικά διαγράμματα, προκύπτει ότι με την έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου, από Σεπτέμβριο, ξεκινούν ουσιαστικά και οι βροχοπτώσεις στην Κρήτη, όπου κορυφώνονται τον Δεκέμβριο-Ιανουάριο και στην συνέχεια σταδιακά μειώνονται μέχρι και τον Μάιο. Ο μήνας που παρουσιάζει το μέγιστο ύψος υετού, και στον μέσο όρο αλλά και στην μέγιστη τιμή, είναι ο Ιανουάριος. Το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής που έχει σημειωθεί τον Ιανουάριο στο σταθμό της Σούδας είναι 516.1 mm, ύψος αξιοσημείωτο αν λάβουμε υπόψη μας ότι υπάρχουν χρονιές με ολικό ετήσιο ύψος βροχής που κυμαίνεται σε αυτά τα επίπεδα. Το ελάχιστο ύψος υετού παρουσιάζεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οπότε επικρατεί πρακτικά ξηρασία.

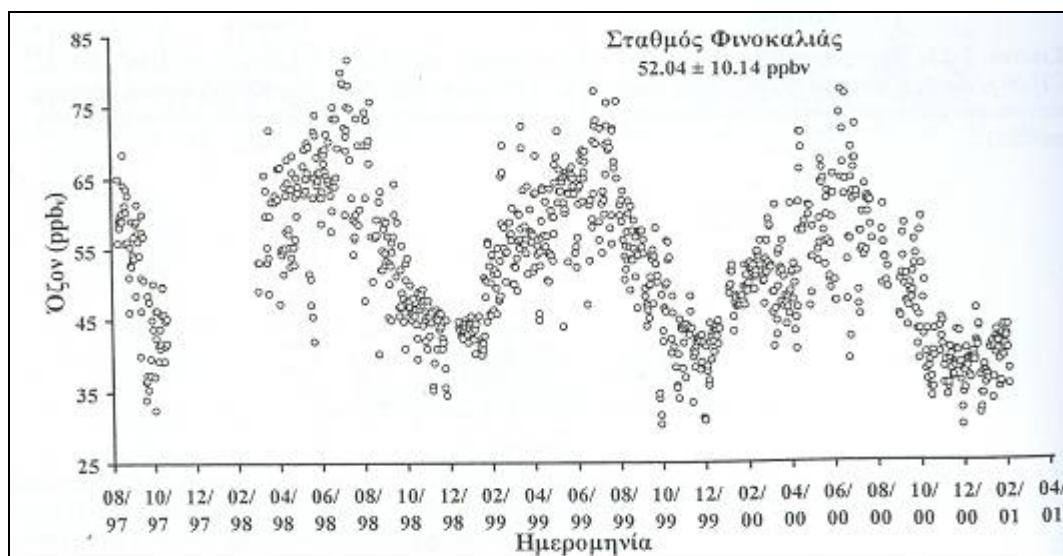
Τέλος από τα ανεμολογικά διαγράμματα προκύπτουν συμπεράσματα όσον αφορά τις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου ανά εποχή. Με την διέλευση των Υφέσεων την χειμερινή περίοδο παρατηρείται ότι επικρατέστερη διεύθυνση είναι η δυτική, ενώ εμφανίζεται μία αύξηση στα ποσοστά των ανέμων από Νότιες κατευθύνσεις. Αυτό οφείλεται στη γενικότερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας για την περίοδο αυτή, σε συνδυασμό με τη γεωγραφική θέση της Κρήτης και την μορφολογία του εδάφους. Τη θερινή περίοδο στο Αιγαίο επικρατούν τα Μελτέμια (Ετησίες) τα οποία πνέουν γενικά από Βόρειες διευθύνσεις. Στο σταθμό της Σούδας υπερέχουν οι Βορειοδυτικοί άνεμοι, κυρίως σε εντάσεις μέχρι 4 Bf και αυτό οφείλεται στον επιμήκη ορεινό όγκο που

βρίσκεται κατά μήκος του Ακρωτηρίου , αναγκάζοντας τον άνεμο να εισβάλλει στη περιοχή του σταθμού από Βορειοδυτικές διευθύνσεις. Αντίστοιχα την ίδια περίοδο η θαλάσσια αύρα επηρεάζει το σταθμό της Σούδας από Δυτικές – Βορειοδυτικές διευθύνσεις, λόγω της μορφολογίας του εδάφους και της απόστασης από τη θάλασσα , ανεβάζοντας έτσι σημαντικά τα ποσοστά των Δυτικών – Βορειοδυτικών ανέμων.

5.3 Μετρήσεις ρύπανσης που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή

Γενικά , όπως έχει προαναφερθεί, στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός σταθμών μετρήσεων που αφορούν την αέρια ρύπανση, συγκριτικά με την υπόλοιπη Ευρώπη. Ειδικότερα στην Κρήτη, δεν υπάρχει ουσιαστικά κάποιο δίκτυο σταθμών. Η πρώτη περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκαν τέτοιου είδους μετρήσεις είναι η περιοχή Φινοκαλιά (Kouvarakis et. al., 2002). Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πολυτεχνείου είναι ο δεύτερος σταθμός ο οποίος λειτουργεί συστηματικά. Τα υπόλοιπα διαθέσιμα δεδομένα για την Κρήτη δεν είναι συνεχή και πραγματοποιήθηκαν περιστασιακά κατά τη διάρκεια κάποιων ερευνητικών πειραμάτων.

Η Φινοκαλιά (35° 19' N, 25° 40' E, 150 m asl), είναι μία απομακρυσμένη (remote) περιοχή του νομού Λασιθίου, στην οποία υπάρχει ο σταθμός μέτρησης αερίων ρύπων του Πανεπιστημίου Κρήτης (Τμήμα Χημείας). Οι μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος στην περιοχή, πραγματοποιούνται εδώ και 6.5 χρόνια (από το Σεπτέμβριο του 1997). Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα οι τιμές του όζοντος για την περίοδο 9/1997 έως 2/2001.



Εικόνα 14: Οι μετρήσεις όζοντος στο σταθμό της Φινοκαλιάς

Η μέση τιμή των ημερήσιων μέσων όρων του όζοντος κατά τη διάρκεια όλων των μετρήσεων ήταν 52.0 ± 10.1 ppb_v. Η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε ήταν τα 29.9 ppb_v (23/12/2000) και μέγιστη τα 81.7 ppb_v (5/8/1998). Οι τιμές αυτές -όπως και οι τιμές για την περιοχή του Ακρωτηρίου που θα παρουσιασθούν παρακάτω- είναι συχνά αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπουν τα θεσπισμένα όρια από την Ευρωπαϊκή ένωση (55 ppb_v για οκτάωρη έκθεση).

Επίσης, μετρήσεις όζοντος έχουν πραγματοποιηθεί και στα πλαίσια του Προγράμματος PAUR II στην περιοχή Πρασσές (35° 22' N, 23° 51'E, 1020m asl) και στην περιοχή Νοπίγεια (35° 32'N, 23° 47'E, 30m asl) του νομού Χανίων. Στον Πρασσέ, για το διάστημα 11/5/99 έως 29/5/99 ο μέσος όρος συγκεντρώσεων όζοντος ήταν 58.2 ± 7.2 ppb_v O₃ (Kounarakis et al., 2002). Στα Νοπίγεια για το διάστημα 6/5/99 έως 2/6/99 η μέση τιμή ήταν 55.7 ± 8.3 ppb_v O₃ (Rappengluck, προσωπική επικοινωνία).

Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, εκτός από το Εργαστήριο Ατμοσφαιρικών Αιωρούμενων Σωματιδίων (στο οποίο υπάγεται και ο Σταθμός Αέρας Ρύπανσης) του Πολυτεχνείου Κρήτης, η πιο σημαντική δουλειά τα τελευταία χρόνια, έχει πραγματοποιηθεί από το Πανεπιστήμιο Κρήτης (Mihalopoulos et. al., 1997). Πραγματοποιήθηκε συλλογή δειγμάτων σωματιδιακής φάσης από το 10/1996 έως τον 9/1999. Το κάθε δείγμα αναλύθηκε ως προς τα κύρια συστατικά του. Από τα δείγματα υπολογίστηκε και η μέση συνολική μάζα των σωματιδίων (TSP), η οποία βρέθηκε ίση με 34.9 ± 16.2 μg/ m³. Επίσης, μετρήσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων πραγματοποιήθηκαν και στην περιοχή Νοπίγεια του νομού Χανίων, στα πλαίσια του προγράμματος PAUR II. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η εικόνα 15, όπου φαίνεται το μέσο ημερήσιο οπτικό βάθος των σωματιδίων στην περιοχή, από τις 4 έως τις 20 Μαΐου του 1999 (Βουλγαράκης, 2002).



Εικόνα 15: Οπτικό βάθος σωματιδίων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του PAUR II στα Χανιά.

6. ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΡΓΑΝΑ

6.1 Όργανο μέτρησης συγκέντρωσης όζοντος

Οι μετρήσεις του όζοντος έγιναν με τον αναλυτή όζοντος «Model 8810 Ozone Analyzer» που διαθέτει το τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης (Monitor Labs. INC, 1986).



Εικόνα 16: Το όργανο Model 8810 Ozone Analyzer.

Το όργανο είναι συνδεδεμένο με υπολογιστή και παρέχει την δυνατότητα απευθείας μετάδοσης των δεδομένων που λαμβάνει για το όζον ανά 1h, 5 min και 1 min. Στη

μελέτη αυτή χρησιμοποιούνται δεδομένα που προέκυψαν από μετρήσεις 9 περίπου μηνών και συγκεκριμένα κατά το διάστημα 1 Δεκεμβρίου 2001 έως και 31 Μαΐου 2004.

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 ppm (parts per million) ή σε μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο, διορθωμένες στην κανονική θερμοκρασία και πίεση. Ο τυχόν «θόρυβος» που παρουσιάζεται στα σήματα μπορεί να φιλτραριστεί με δύο τρόπους. Ένα ψηφιακό φίλτρο δίνει τον μέσο όρο από μετρήσεις που προκύπτουν από διαφορετικά δείγματα (1 έως 15 δείγματα). Επίσης το όργανο παρέχει την δυνατότητα απόδοσης του μέσου όρου που προκύπτει από μετρήσεις που καταγράφονται για το χρονικό διάστημα των 30 ή 60 min. 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.

Ο υπολογισμός του όζοντος γίνεται σε μία ποσότητα αέριου δείγματος που λαμβάνει το όργανο από το εξωτερικό περιβάλλον, μετρώντας την UV (υπεριώδη) ακτινοβολία που έχει απορροφηθεί. Αυτό πραγματοποιείται έχοντας βαθμονομηθεί με ένα πρότυπο δείγμα όπου η ποσότητα O_3 είναι μηδενική και η απορρόφηση I_0 . Στη συνέχεια μετράται η απορρόφηση της UV ακτινοβολίας στο δείγμα που περιέχει όζον και προσδιορίζεται η εξερχόμενη ένταση I . Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του όζοντος από το όργανο, χρησιμοποιείται η εξίσωση απορρόφησης του Beer-Lambert:

$$I = I_0 \cdot \exp\{-a \cdot l \cdot C \cdot (273/T) \cdot (P/760)\} \quad (9)$$

Η συγκέντρωση του O_3 που μετρά το όργανο εκφράζεται σε ppm και δίνεται από τον τύπο:

$$C = (-1/a \cdot l) \cdot \ln[(I/I_0)] \cdot (T/273) \cdot (760/P) \cdot 10^6 \text{ ppm} \quad (10)$$

όπου :

I : η εξερχόμενη ένταση

I_0 : η εισερχόμενη ένταση

a : συντελεστής αναλογίας

L: μήκος διανυόμενης διαδρομής

C: συγκέντρωση

T: Θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin

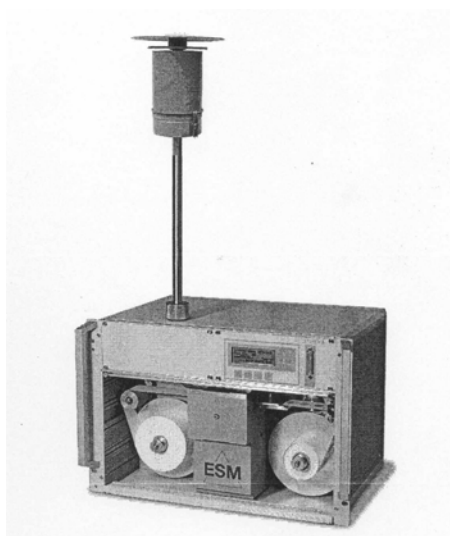
P:πίεση (torr)

Ο συντελεστής μετατροπής από ppm σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (για θερμοκρασία 273^0 K και πίεση 760 torr) είναι 2140.

Για την μέτρηση του O_3 χρησιμοποιείται λάμπα υδραργύρου, χαμηλής πίεσης. Ο ανιχνευτής, λειτουργεί στη περιοχή απορρόφησης του O_3 , ενώ το τελικό αποτέλεσμα λαμβάνεται σχεδόν εξολοκλήρου στα 254 nm όπου έχουμε την μέγιστη απορρόφηση O_3 .

6.2 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων

6.2.1 Γενικά



Οι μετρήσεις που αφορούν τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων έγιναν με το όργανο **DUST MONITOR FH 62 I – R** (ESM Andersen Instruments GmbH, 2003; Οικονομόπουλος, 2003). Το όργανο είναι διαρκώς συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός data logger. Τα προγράμματα Combilog και Compgraph, δίνουν τη δυνατότητα της ανά πάσα στιγμή ανάγνωσης της μέτρησης σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και την παρουσίαση συνόλου αποθηκευμένων μετρήσεων με δυνατότητα επεξεργασίας. Η ακρίβεια

μέτρησης που παρέχεται είναι μεγάλη και η ένδειξη της συγκέντρωσης γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχει δυνατότητα μέτρησης διαφορετικού μεγέθους σωματιδίων και η ένδειξη του μετρητή δεν εξαρτάται από το σχήμα και τη χημική σύσταση των σωματιδίων. Ανάλυση της χημικής σύστασης μπορεί να γίνει στη συνέχεια αφού η μάζα των σωματιδίων έχει συγκεντρωθεί στην ταινία του FH 62 I-R.

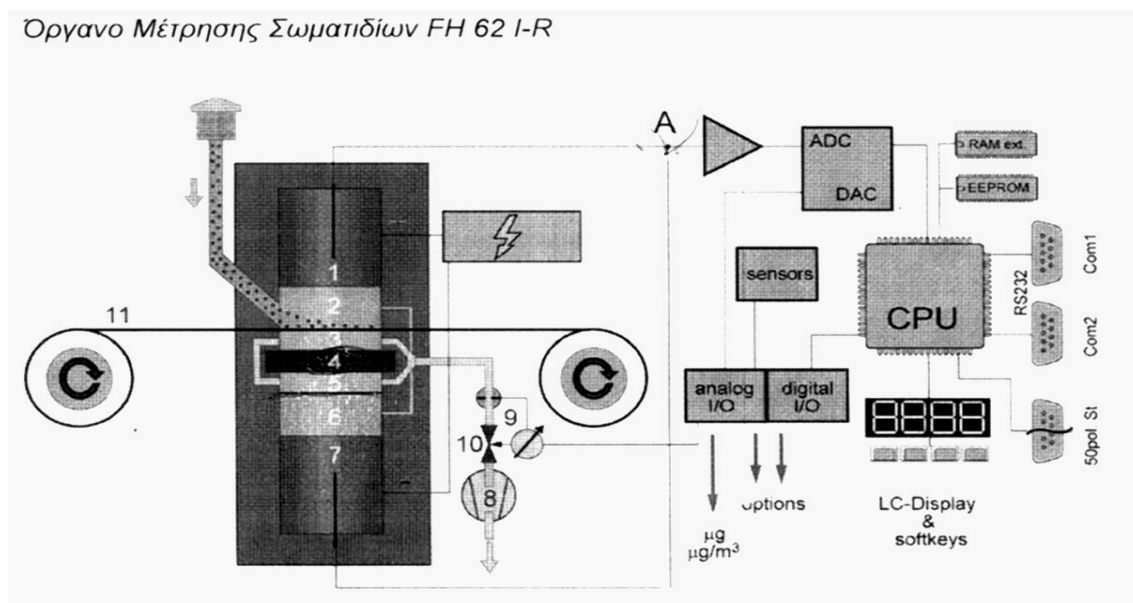
Το όργανο μέτρησης σωματιδίων FH 62 I-R είναι σχεδιασμένο για συνεχείς μετρήσεις

εκπομπών σε δίκτυα παρακολούθησης ποιότητας αέρα και για χρήση στη βιομηχανική ασφάλεια. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των αιωρούμενων σωματιδίων σε συνεχή λειτουργία. Οι δυνατές εφαρμογές είναι μέτρηση ολικών αιωρούμενων σωματιδίων TSP (Total Suspended Particulate) και μέτρηση διαφορετικών κλασμάτων σωματιδίων με ειδικούς διαχωριστές (συλλέκτες PM_{10} ή $\text{PM}_{2.5}$) για τη μέτρηση των εκπομπών σε πραγματικό χρόνο για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Μπορεί εξάλλου να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανική ασφάλεια. Όργανα αυτού του τύπου λειτουργούν σε πολλά δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα παγκόσμια.

Μια ολοκληρωμένη συσκευή FH 62 I-R, περιλαμβάνει: 1) την κεντρική μονάδα, 2) το σύστημα δειγματοληψίας, 3) τη φτερωτή περιστροφική αντλία, 4) τη μονάδα καταγραφής.

6.2.2 Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 17: Αρχή λειτουργίας του οργάνου 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 11 (5) και του θαλάμου αντιστάθμισης I. Το έλασμα αυτό έχει το ίδιο ειδικό βάρος με την ταινία του φίλτρου. Το όργανο χρησιμοποιεί τη ραδιομετρική αρχή της εξασθένισης 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.

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.

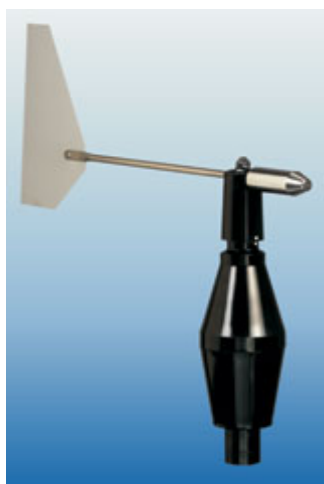
Το σήμα μέτρησης στην έξοδο Α ενισχύεται και φτάνει μέσω ενός αναλογικού/ψηφιακού μετατροπέα στην κεντρική υπολογιστική μονάδα. Από τη χρονική αύξηση της μάζας της σκόνης υπολογίζεται και δίνεται στην οθόνη μέτρησης η συγκέντρωση.

6.2.3 Συλλέκτες Δειγματοληψίας

Οι επιλεκτικοί ως προς το μέγεθος συλλέκτες καθορίζουν το μέγεθος των σωματιδίων που θα ληφθούν κατά τη δειγματοληψία. Πριν εκτεθεί το φίλτρο στο ρεύμα αέρα εισέρχεται αέρας μέσω των συλλεκτών αυτών, ο οποίος απομακρύνει όλα τα σωματίδια που η αεροδυναμική τους διάμετρος είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή. Οι συλλέκτες χαρακτηρίζονται από καμπύλες απόδοσης της δειγματοληψίας. Οι καμπύλες απόδοσης της δειγματοληψίας χαρακτηρίζονται από το μέγεθος απόρριψης του 50% όπου τα μισά σωματίδια αυτού του μεγέθους περνούν μέσα από το συλλέκτη και τα άλλα μισά αποτίθενται σε αυτόν. Οι συλλέκτες που χρησιμοποιεί το όργανο FH 62 I-R έχουν τέτοια μεγέθη ώστε να πληρούνται οι ανάγκες δειγματοληψίας που σχετίζεται με την ανθρώπινη υγεία. Όλοι οι συλλέκτες είναι σχεδιασμένοι για λειτουργία με παροχή αέρα 1 m³/h.

6.3 Όργανα μέτρησης μετεωρολογικών δεδομένων

6.3.1 Διεύθυνση Ανέμου



Οι μετρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου γίνονται με τη βοήθεια του οργάνου “Wind direction sensor type 4122” (βλ. & Theodor Friedrichs & CO). Το συγκεκριμένο όργανο είναι κατάλληλο τόσο για αμιγώς μετεωρολογικές μετρήσεις όσο και για μετρήσεις που αφορούν περιβαλλοντικές εφαρμογές. Η χρήση του είναι συχνή σε αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς, σε σταθμούς αέριας ρύπανσης, σε αεροδρόμια, σε βιομηχανικές περιοχές κλπ.

Το όργανο περιλαμβάνει έναν ανεμοδείκτη ο οποίος παραμένει συνεχώς παράλληλος προς την τοπική διεύθυνση του ανέμου. Το στέλεχος του ανεμοδείκτη μεταφέρει τη θέση

του σε μία γωνιακά κωδικοποιημένη μονάδα στη βάση του. Όταν ο ανεμοδείκτης κινείται, η γωνιακά κωδικοποιημένη μονάδα περιστρέφεται ώστε, ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου, να εμφανίζεται ένα αντίστοιχο ψηφιακό σήμα. Το εύρος μετρήσεων του οργάνου είναι από 0° έως 360° (στο Βορρά αντιστοιχούν οι 0° και στο Νοτιά οι 180°).

6.3.2 Ταχύτητα ανέμου



Οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου γίνονται με το όργανο “Wind speed sensor type 4034” (βλ. & Theodor Friedrichs & CO). Και αυτό είναι κατάλληλο τόσο για μετεωρολογικές όσο και για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Το όργανο είναι σχεδιασμένο πάνω στο πρότυπο ενός ανεμομέτρου με κύπελλα.

Αποτελείται από τρία κύπελλα κατασκευασμένα από πολυπροπυλένιο. Τα κύπελλα στηρίζονται σε άξονα, η βάση του οποίου είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο ώστε να αντανakλά το φως. Πάνω στη βάση αυτή, υπάρχουν 15 τομείς με μαύρο χρώμα σε μορφή πτερυγίων οι οποίοι απορροφούν το φως. Καθώς τα κύπελλα και το στέλεχός τους περιστρέφεται, δημιουργείται μία αλληλουχία από παλμούς ανάκλασης και απορρόφησης με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, σε ένα εύρος συχνοτήτων από 0 έως 600 Hz, αποδεικνύεται ότι 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 το κατώφλι λειτουργίας είναι τα 0.3 m/s.

6.3.3 Θερμοκρασία/ Υγρασία



Για τη λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας και υγρασίας γίνεται χρήση του οργάνου “Combined Temperature/ Humidity sensor in shelter 3030” (βλ. & Theodor Friedrichs & CO). Ο αισθητήρας υγρασίας είναι ένα capacitive measuring element και μπορεί να δώσει μετρήσεις από 0 έως 100%. Ο αισθητήρας της θερμοκρασίας αποτελείται από μία αντίσταση από πλατίνα Pt 100. Το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να μετρήσει είναι από -

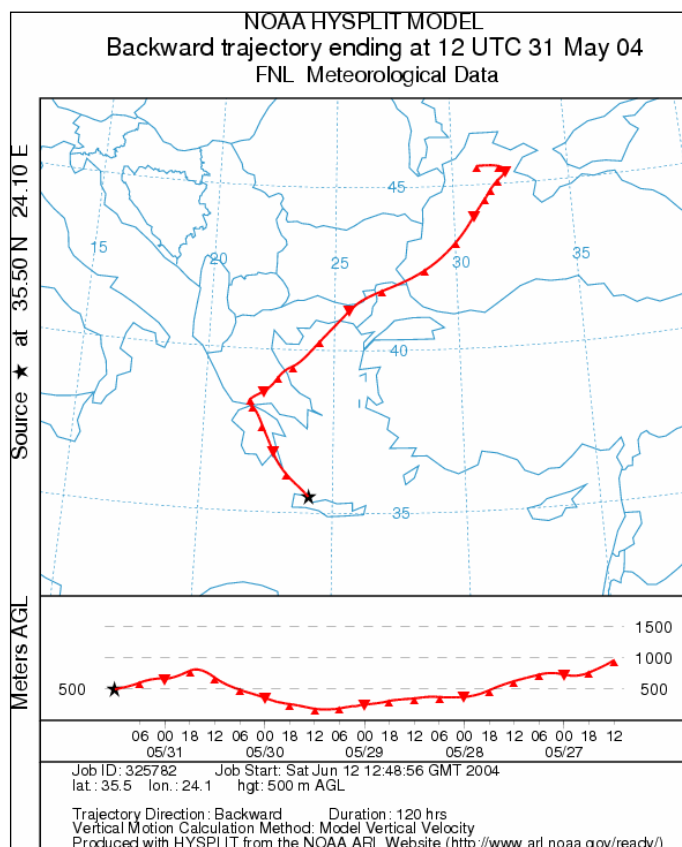
35°C έως +45°C. Οι αισθητήρες προστατεύονται με τη βοήθεια μίας μεμβράνης. Η θωράκιση από την ακτινοβολία γίνεται με τη χρήση ενός λευκού πλαστικού καλύμματος.

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

Όπως έχει προαναφερθεί, η μέθοδος η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της συσχέτισης των συγκεντρώσεων των ρύπων με την προέλευση των αερίων μαζών, είναι η ανάλυση των ρетроπορειών των αερίων μαζών (backward trajectory analysis). Οι ρетроπορείες υπολογίζονται με τη χρήση του μοντέλου HYSPLIT 4, το οποίο δημιουργήθηκε από το Air Resources Laboratory (ARL), του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) των ΗΠΑ. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι Λαγκρανζιανό και προσομοιώνει απλά την πορεία μίας αέριας μάζας, λαμβάνοντας υπόψη τη διασπορά, την εναπόθεση που λαμβάνει χώρα και το πεδίο των ανέμων.

Για την εμφάνιση της ρетроπορείας συμπληρώνεται μία φόρμα στην οποία ορίζεται καταρχήν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής που μας ενδιαφέρει. Στη συνέχεια ορίζεται η ημερομηνία, η ώρα της ημέρας και ο συνολικός χρόνος (run time) για τον οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τη ρетроπορεία. Σημαντικό επίσης είναι να οριστεί και το ύψος πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος στο οποίο μας ενδιαφέρει να δούμε την προέλευση της αέριας μάζας. Τέλος, μπορούν να ορισθούν διάφορες άλλες παράμετροι, οι οποίες έχουν να κάνουν κυρίως με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων (όπως τα χρονικά διαστήματα που σημειώνονται πάνω στο γράφημα της ρетроπορείας, οι μονάδες των μεγεθών, η ανάλυση κλπ.).

Τελικά, ο κάθε χάρτης ρетроπορείας απεικονίζει ένα εναέριο πλάνο της πορείας της αέριας μάζας μέχρι να φτάσει στην περιοχή ενδιαφέροντος και μία κατακόρυφη εικόνα της κίνησής του σε διαφορετικά ύψη. Ένας τέτοιος χάρτης για την περιοχή του Ακρωτηρίου στις 31/5/2004 φαίνεται στην εικόνα 18.



Εικόνα 18: Ρетроπορεία για τις 31 Μαΐου του 2004

Στην παρούσα εργασία, σαν δεδομένα εισόδου στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες 35.5 N, 24.1 E, η μεσημβρινή ώρα 12:00 για κάθε ημέρα, ο συνολικός χρόνος (run time) 120h (5 ημέρες, ώστε να προσεγγίζει το χρόνο ζωής των ρύπων και να έχουμε ρεαλιστικά αποτελέσματα) και το ύψος των 500m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Για την εμφάνιση της φόρμας που συμπληρώνεται για τον υπολογισμό των ρетроπορειών βλ. Παράρτημα 1.

Β' ΜΕΡΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

8. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Παρακάτω φαίνονται στοιχεία για τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν στο σταθμό τη χρονιά του 2003. Για λόγους οικονομίας χώρου, δεν παρατίθενται τα αναλυτικά μηνιαία και ημερήσια διαγράμματα –τα οποία έχουν κατασκευαστεί για όλους τους μήνες μετρήσεων- αλλά συνοπτικές χρονοσειρές που αφορούν μεγαλύτερες περιόδους όπως μηνιαίες τιμές. Σημειώνεται ότι οι διακοπές στην κανονική ροή των μετρήσεων οφείλονται κυρίως στο ότι μέσα στον Απρίλιο του 2003 παρουσιάστηκε πρόβλημα στο μετεωρολογικό ιστό, με αποτέλεσμα να τεθούν τα όργανά του εκτός λειτουργίας.

8.1 Θερμοκρασία

Η περιοχή της Κρήτης είναι μία περιοχή με καθαρά Μεσογειακό κλίμα. Έτσι, αυτό που αναμένεται είναι να υπάρχουν μικρές σχετικά με ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ημέρας και νύκτας καθώς και μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Επίσης, οι θερμοκρασίες στην περιοχή αναμένονται γενικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες για ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (εικόνα 19), φαίνεται η διακύμανση της θερμοκρασίας για όλο το διάστημα κατά το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 4/1/2003 οπότε και εγκαταστάθηκε το όργανο ‘Combined humidity/ temperature sensor 3030’ και ξεκίνησαν να λαμβάνονται δεδομένα με χρονικό διάστημα λεπτού μεταξύ τους (interval). Από τις 17/1 ορίσθηκε στο data logger σαν διάστημα το 5λεπτο, από τις 19/2 το ένα τέταρτο της ώρας και από τις 2/5 η μισή ώρα, ρύθμιση η οποία διατηρείται μέχρι και σήμερα. Οι τιμές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα χρονοσειρά είναι οι μέσες ωριαίες τιμές (hourly values).

Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από το διάγραμμα, η διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στο χρόνο είναι η αναμενόμενη, με αυξήσεις το καλοκαίρι και μειώσεις το χειμώνα, χωρίς όμως οι αντίστοιχοι μήνες να παρουσιάζουν μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές ως προς τις μέσες τιμές (μικρό εύρος θερμοκρασιακών διαφορών μέσα στο έτος όπως θα φανεί και παρακάτω).



Εικόνα 19: Χρονοσειρά ωριαίων θερμοκρασιών για την περίοδο 2003-04.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες αξιοσημείωτες εξάρσεις ψύχους και ζέστης, οι οποίες αποτελούν απόδειξη του ότι ο καιρός της περιοχής παρουσιάζει μία έντονη δυναμική, τόσο την ψυχρή όσο και τη θερμή περίοδο. Τον Ιανουάριο του 2003 καταρχήν, παρουσιάστηκαν αρκετά υψηλές θερμοκρασίες με μέγιστη αυτή των 21.9 βαθμών στις 10/1. Αντίθετα ο Φεβρουάριος και ο Μάρτιος χαρακτηρίστηκαν από ιδιαίτερα κρύες ημέρες. Χαρακτηριστικό ήταν το δεκαήμερο 18-28/2, οπότε η θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 10°C σε καμία από τις μετρήσεις και η περίοδος 22-25/3. Η 24/3 μάλιστα ήταν η πιο κρύα ημέρα του χειμώνα (μέση θερμοκρασία 5.31°C) πράγμα το οποίο σπάνια συμβαίνει τη συγκεκριμένη εποχή. Όπως θα διαπιστωθεί και στη συνέχεια, οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με εισροή κρύων αέριων μαζών από βόρειες διευθύνσεις.

Οι μήνες Φεβρουάριος και Μάρτιος ήταν και από τους πιο βροχερούς των τελευταίων ετών με πολλές συνεχείς ημέρες έντονων βροχοπτώσεων. Συχνή ήταν επίσης και η

εμφάνιση χαλαζόπτωσης ή σπανιότερα χιονόπτωσης τις ψυχρές περιόδους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Η υψηλότερη θερμοκρασία παρατηρήθηκε στις 5/7 και ήταν ίση με 36.8°C , τιμή σχετικά χαμηλή για απόλυτο μέγιστο καλοκαιριού (όπως φαίνεται στην εικόνα 11 της § 5.2 στην περιοχή έχουν παρατηρηθεί θερμοκρασίες έως και 44.5°C το 1973). Η διατήρηση αυτή των θερμοκρασιών σε μέτρια για την εποχή επίπεδα οφείλεται κυρίως το ότι η περιοχή το καλοκαίρι του 2003 δεν πλήχθηκε έντονα από νότιους θερμούς ανέμους (λίβες). Περισσότερες λεπτομέρειες επί τούτου θα παρουσιασθούν παρακάτω. Αντίθετα, την περίοδο 19-25/10 και στις 3/11 παρουσιάσθηκαν ιδιαίτερα υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες (32.5°C και 29.1°C αντίστοιχα).

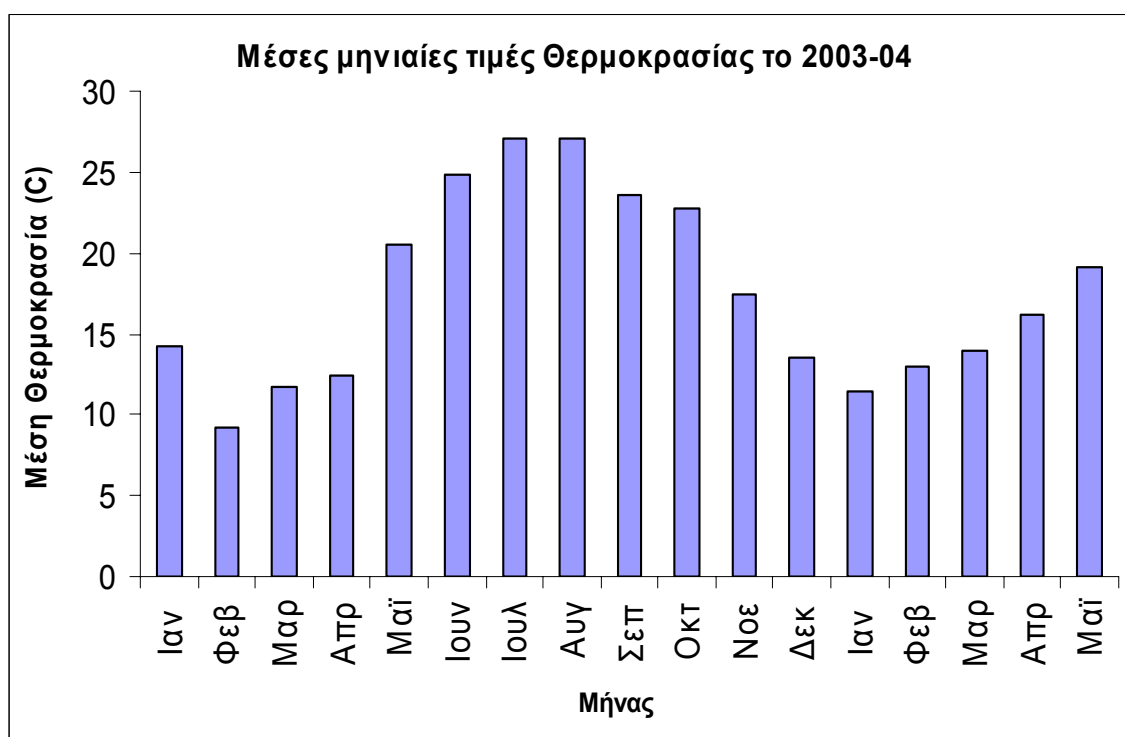
Το χειμώνα του 2003-04 (ο οποίος δεν ήταν ιδιαίτερα πλούσιος σε βροχοπτώσεις σύμφωνα με τα στοιχεία της E.M.Y.), συνέβησαν τρεις ιδιαίτερα αξιοσημείωτες κακοκαιρίες κατά τις οποίες η θερμοκρασία άγγιξε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές. Η πρώτη ήταν στις 17/12 οπότε η θερμοκρασία έπεσε στους 3.5 βαθμούς και η δεύτερη στις 25/1 στον 1 βαθμό. Η κακοκαιρία στις 25/1 μάλιστα χαρακτηρίστηκε από τους μετεωρολόγους σαν «μετεωρολογική βόμβα στο Αιγαίο», λόγω του ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες συνοδεύονταν από έντονες χιονοπτώσεις και θύελλα. Η πλέον αξιοσημείωτη περίπτωση όμως από πλευράς θερμοκρασιών και φαινομένων ήταν το διήμερο 13-14/2, κατά το οποίο εκτός από τις έντονες χιονοπτώσεις που σημειώθηκαν ακόμα και σε παραθαλάσσιες περιοχές (το χιόνι στην περιοχή του σταθμού έφτανε το 0.5 m), σημειώθηκε και θερμοκρασία 0°C χωρίς μάλιστα, λόγω βλάβης, να υπάρχουν δεδομένα για το βράδυ της 14/2 οπότε σημειώθηκε ισχυρός παγετός. Στο σταθμό της E.M.Y. στη Σούδα μάλιστα, σημειώθηκε θερμοκρασία -1°C το μεσημέρι της 13^{ης}, θερμοκρασία ρεκόρ των τελευταίων 45 χρόνων για όλους τους μήνες.

Είναι χαρακτηριστικό, ότι κάθε ελάχιστο θερμοκρασίας (όπως και κάθε μέγιστο) στο διάγραμμα παρουσιάζεται ιδιαίτερα οξύ, πράγμα το οποίο αποτελεί ένδειξη για το ότι ο καιρός στην περιοχή χαρακτηρίζεται από ξαφνικές μεταβολές με εισβολές ψυχρών ή θερμών αερίων μαζών οι οποίες όμως δεν είναι μεγάλης διάρκειας. Η συχνότητα αυτών των «αιχμών» είναι μεγάλη, παρόλα αυτά όμως ο μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων βρίσκεται σε πιο φυσιολογικές τιμές. Με βάση αυτό εξηγείται και το γεγονός ότι ενώ ο χειμώνας 2003-04 εμφάνισε ιδιαίτερα έντονες κακοκαιρίες με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκειά του από τις μετρήσεις μας

προκύπτει ίση με 12.67°C , ενώ με βάση τα στοιχεία της E.M.Y. η μέση θερμοκρασία για το χειμώνα στη Σούδα είναι αρκετά χαμηλότερη και ίση με 11.5°C .

Χαρακτηριστικό είναι για παράδειγμα και το μέγιστο που εμφανίστηκε λίγες ημέρες μετά από τη σφοδρή κακοκαιρία του Φεβρουαρίου, οπότε στις 27/2 η θερμοκρασία άγγιξε για μία μόνο ημέρα τους 28.4°C (μέγιστο Φεβ. Σούδας 1958-97: 30°C) λόγω της ξαφνικής εισβολής θερμών αερίων μαζών με προέλευση από το Νότο (Sahara event, βλ. Εικ. 45, § 11.2).

Στο διάγραμμα της εικόνας 20, υπάρχουν οι μέσες μηνιαίες τιμές του έτους 2003 και των πρώτων μηνών του 2004.



Εικόνα 20: Μέσες μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίας για την περίοδο μετρήσεων.

Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί ξανά, είναι η όχι μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στους μήνες της θερμής και της ψυχρής περιόδου. Γενικά η διαφορά των μέσων θερμοκρασιών μεταξύ των ψυχρών και των θερμών μηνών είναι 15.6°C ($11.5-27.1^{\circ}\text{C}$), κάτι που δικαιολογεί την κατάταξη του κλίματος της περιοχής στο Μεσογειακό Παραθαλάσσιο (το συγκεκριμένο συμπέρασμα είχε εξαχθεί για όλη την Κρήτη και από την εργασία «Κλιματολογικός χάρτης της Κρήτης», βλ. βιβλιογραφία). Οι αυξημένες

θερμοκρασίες της θερινής περιόδου, συνοδεύονται και από αυξημένα ποσοστά ηλιοφάνειας καθώς και από απουσία βροχοπτώσεων, παράμετροι που όπως θα δούμε παρακάτω επιδρούν σημαντικά στη διακύμανση των ρύπων της περιοχής.

Επιμέρους ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της χρονιάς του 2003 είναι η ασυνήθιστα υψηλή μέση θερμοκρασία του Ιανουαρίου (14.2 C), ενώ ο μέσος όρος των τελευταίων χρόνων κυμαίνεται γύρω στους 10.8 C για τον ίδιο μήνα (EMY). Χαρακτηριστικό είναι ότι ο Φεβρουάριος (9.22 C) αλλά και ο Μάρτιος (11.70 C) και ο Απρίλιος (12.39 C) εμφανίζουν μέσες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από αυτές του Ιανουαρίου. Οι μήνες του καλοκαιριού εμφανίζουν αναμενόμενες μέσες θερμοκρασίες. Αντίθετα οι μήνες Οκτώβριος και Νοέμβριος είναι πιο θερμοί από ότι συνήθως. Παρουσιάζουν μέσες τιμές 22.79 C και 17.46 C, ενώ οι μετρήσεις των τελευταίων δεκαετιών (1958-1997) έχουν μέσο όρο 19.2 και 15.6 αντίστοιχα (από το αρχείο της E.M.Y.). Το συμπέρασμα αυτό ενισχύει τη διαπίστωση ότι τα τελευταία χρόνια, ο χειμώνας μετατοπίζεται χρονικά προς την άνοιξη, ενώ το φθινόπωρο παρουσιάζεται ιδιαίτερα ήπιο και αρκετές φορές θερμό, με συχνά επεισόδια φωτοχημικής και σωματιδιακής ρύπανσης όπως θα δούμε παρακάτω. Για τους πρώτους μήνες του 2004 η διακύμανση των θερμοκρασιών είναι πιο ομαλή και αναμενόμενη.

8.2 Σχετική Υγρασία

Η υγρασία (water vapor) έχει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή όζοντος και επομένως τα επίπεδά της έχουν ιδιαίτερη σημασία να είναι γνωστά σε μία περιοχή όπου πραγματοποιούνται και μετρήσεις τροποσφαιρικού όζοντος. Παρακάτω (εικόνα 21) φαίνονται οι μέσες ωριαίες (hourly) τιμές της υγρασίας για την περίοδο μετρήσεων (1/2003 – 5/2004). Τα διαστήματα ανάκτησης των δεδομένων από το όργανο (interval) είναι τα ίδια με αυτά της θερμοκρασίας, δηλαδή διαστήματα μισής ώρας. Το πρώτο πράγμα που μπορεί κάποιος να διαπιστώσει από αυτό το διάγραμμα είναι ότι η διακύμανση των τιμών είναι ιδιαίτερα έντονη όλες τις περιόδους. Αυτές οι διακυμάνσεις επηρεάζονται κυρίως από την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, καθώς και από τη θερμοκρασία, παράμετροι που ούτως ή άλλως αλληλεξαρτώνται.

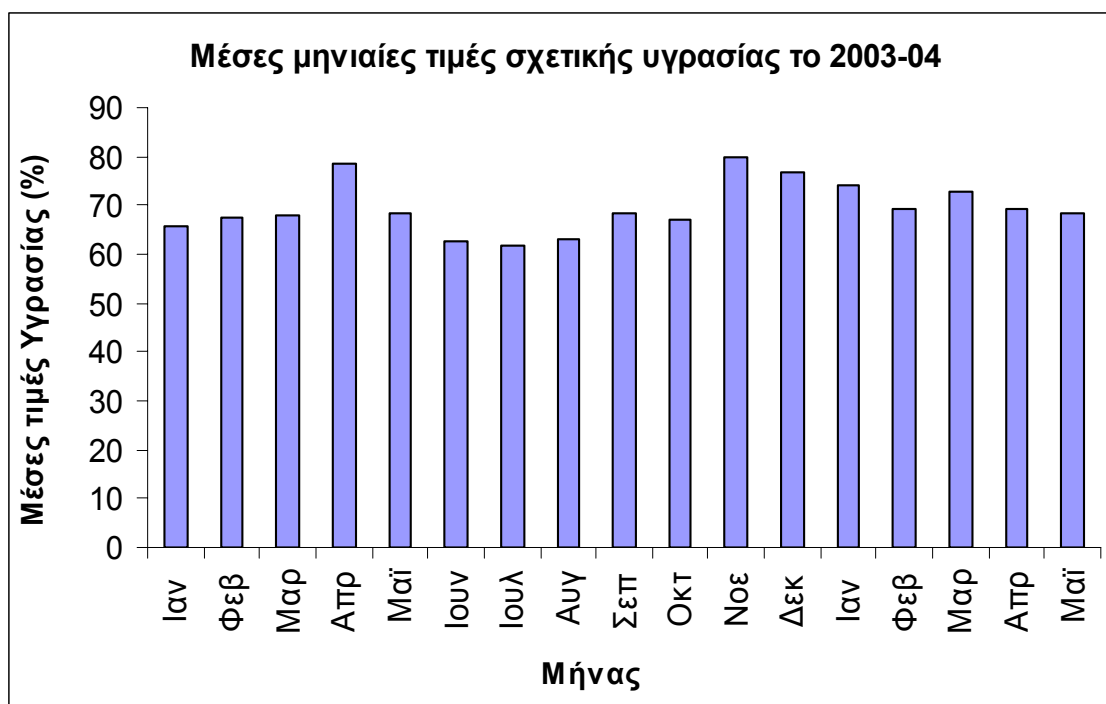
Όπως προαναφέρθηκε οι μετρήσεις σχετικής υγρασίας αναμένονται υψηλές από τη στιγμή που η περιοχή βρίσκεται κοντά στη θάλασσα (βλ. Ahrens, 1994). Όντως οι

περιπτώσεις κατά τις οποίες οι τιμές βρίσκονται μεταξύ 90 και 100 % είναι πολλές, ενώ και 100% ένδειξη υγρασίας δεν είναι σπάνια στην περιοχή. Όπως είναι εύκολο να παρατηρήσει κάποιος, η συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων είναι μεγαλύτερες από 40 %. Γενικά οι μέγιστες ωριαίες τιμές εμφανίζονται τόσο κατά τους θερμούς μήνες όσο και κατά τους ψυχρούς, με μία τάση γενικής αύξησης το χειμώνα οπότε σημειώνεται και το υψηλότερο ποσοστό της ετήσιας βροχόπτωσης. Οι ελάχιστες τιμές που παρατηρούνται στο διάγραμμα (5/7/03: 26.5, 31/8/03: 22.5, 24/10/03: 28%, 27/2/04: 24%, 27/3/04: 28.5%, 13/4/04: 20.5%, 5/5/04: 33.5%) είναι άμεσα συνδεδεμένες με υψηλές θερμοκρασίες και μάλιστα με νότιους ανέμους (επεισόδια Σαχάρας, βλ. §11.2).



Εικόνα 21: Χρονοσειρά ωριαίων τιμών σχετικής υγρασίας για την περίοδο 2003-04.

Με βάση τις μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας καταρτίστηκε το ακόλουθο διάγραμμα (εικόνα 22):



Εικόνα 22: Μέσες μηνιαίες τιμές υγρασίας για την περίοδο μετρήσεων.

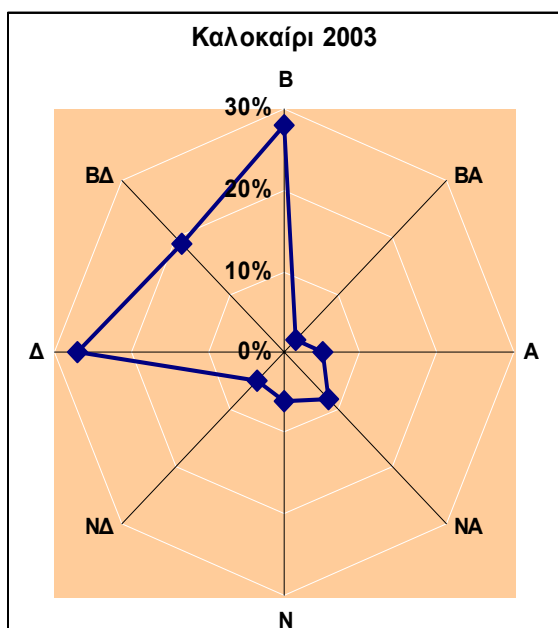
Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, όλοι οι μήνες παρουσιάζουν αρκετά υψηλά ποσοστά υγρασίας. Οι ψυχροί μήνες όπως αναμένεται παρόλα αυτά είναι σχετικά πιο υγροί, ενώ οι θερινοί λιγότερο (με ελάχιστο τον Ιούλιο 61.7 %). Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή σχετικής υγρασίας είναι αυτή του Νοεμβρίου του 2003 με τιμή 80%. Πολύ υψηλά ποσοστά παρουσιάζουν και οι μήνες της Άνοιξης.

Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί, ότι οι τιμές υγρασίας είναι μεγαλύτερες γενικά κατά τις νυκτερινές ώρες, οπότε η θερμοκρασία και ο άνεμος υποχωρούν και ευνοείται η αύξηση της ποσότητας του H_2O στην ατμόσφαιρα.

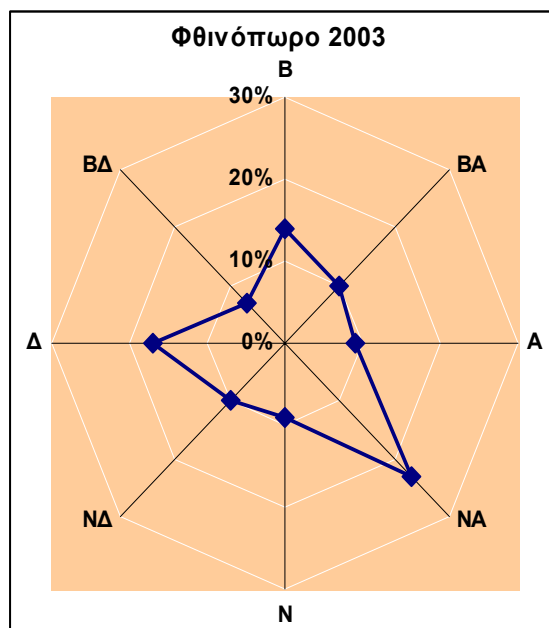
8.3 Κατεύθυνση του ανέμου

Οι μετρήσεις της κατεύθυνσης του ανέμου ξεκίνησαν στις 15 Απριλίου του 2003. Οι τιμές ξεκινούν από 0 μοίρες στις οποίες αντιστοιχεί ο Βορράς και εξελίσσονται δεξιόστροφα. Τα δεδομένα ελήφθησαν με χρονικό διάστημα (interval) μισής ώρας μεταξύ των μετρήσεων.

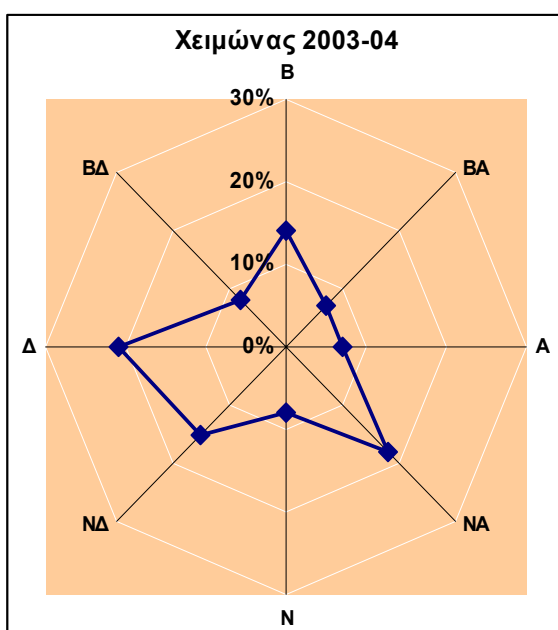
Για την παρουσίαση της κατεύθυνσης του ανέμου, χρησιμοποιήθηκαν ροδογράμματα τα οποία αφορούν την κάθε εποχή ξεχωριστά.



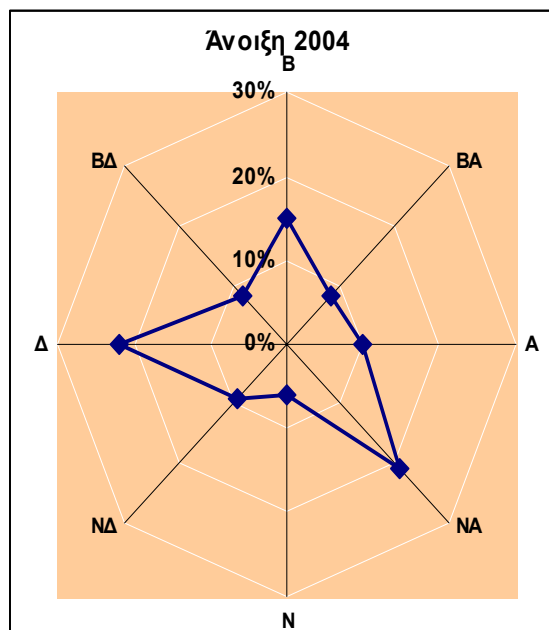
Εικόνα 23: Ροδόγραμμα Καλοκαιριού.



Εικόνα 24: Ροδόγραμμα Φθινοπώρου.



Εικόνα 25: Ροδόγραμμα Χειμώνα.



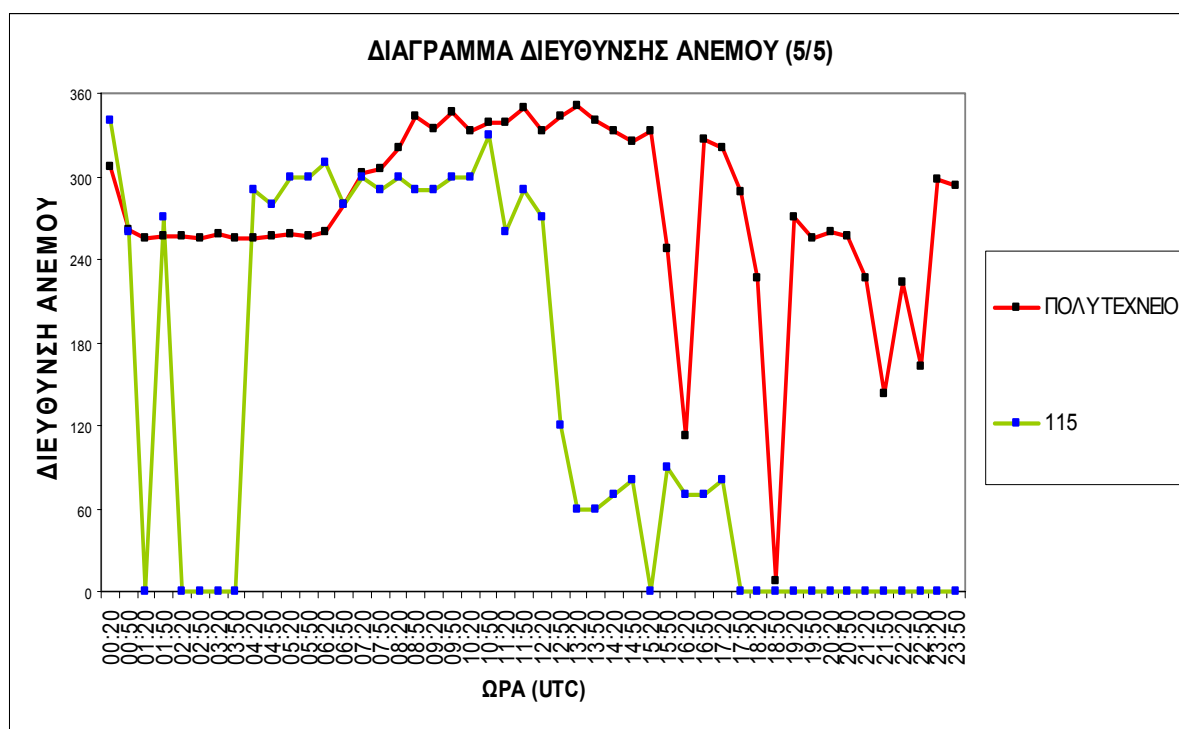
Εικόνα 26: Ροδόγραμμα Άνοιξης.

Αυτό που προκύπτει για το καλοκαίρι του 2003, είναι η επικράτηση σε μεγάλο ποσοστό ανέμων από βόρειες και δυτικές διευθύνσεις (συνολικό ποσοστό: 76%). Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο για την περιοχή, στην οποία τους θερινούς μήνες επικρατούν οι ετησίες (μελτέμια) που όπως έχει προαναφερθεί πνέουν από βόρειες γενικά διευθύνσεις. Αντίθετα οι νοτίων διευθύνσεων άνεμοι είναι λιγότερο συχνοί αυτή την εποχή, η εμφάνισή τους όμως συνοδεύεται από υψηλές θερμοκρασίες και αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης σωματιδίων (5/7, 31/8).

Από την άλλη, το Φθινόπωρο τα ποσοστά των βόρειων ανέμων υποχωρούν, ενώ παρατηρείται ενίσχυση όλων των άλλων διευθύνσεων και κυρίως των νοτιοανατολικών. Το ίδιο συμβαίνει και κατά τις υπόλοιπες εποχές του έτους που γενικά εμφανίζονται πιο «ισορροπημένες» όσον αφορά τα ποσοστά των ανέμων στις διάφορες κατευθύνσεις. Είναι χαρακτηριστικό, ότι οι νότιοι άνεμοι εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε σχετικά χαμηλά ποσοστά, ενώ οι βόρειοι και ειδικά οι δυτικοί έχουν πάντα υψηλό ποσοστό εμφάνισης με μεγαλύτερη έξαρση το καλοκαίρι.

Με βάση τα αποτελέσματά μας, η κατεύθυνση με το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης για όλο το χρόνο είναι η δυτική (22%) και με το μικρότερο η βορειοανατολική και η νότια (7%). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις ακρότατες τιμές για τη Σούδα (Ε.Μ.Υ) συμφωνούν ως προς τους δυτικούς (17.5%) και τους νότιους (1.7%), αλλά διαφοροποιούνται ως προς τους βορειοανατολικούς (6.5%).

Αντίστοιχα διαγράμματα υπάρχουν για όλους τους υπό μελέτη μήνες. Στην εικόνα 27 φαίνεται η διακύμανση της κατεύθυνσης για μία μέρα τόσο στο Πολυτεχνείο όσο και στην 115 Πτέρυγα Μάχης. Όπως γίνεται αντιληπτό υπάρχει κάποια αισθητή διαφορά μεταξύ των σταθμών.



Εικόνα 27: Σύγκριση τιμών Διεύθυνσης του ανέμου για την περιοχή του Ακρωτηρίου και της Σούδας (115).

Στα ροδογράμματα, αυτό που κάνει έντονη εντύπωση σε σχέση με την εμπειρία μας από το πεδίο των ανέμων στην ευρύτερη περιοχή και με τα δεδομένα της Ε.Μ.Υ. για τη Σούδα, είναι η ιδιαίτερα συχνή εμφάνιση των νοτιοανατολικών ανέμων στην περιοχή του Πολυτεχνείου. Σύμφωνα με την Ε.Μ.Υ., οι νοτιοανατολικοί άνεμοι έχουν μέσο ποσοστό εμφάνισης μέσα στο χρόνο 4.19% (1958-1993), ενώ τα αποτελέσματα του Πολυτεχνείου δίνουν μέσο όρο γύρω στο 18%.

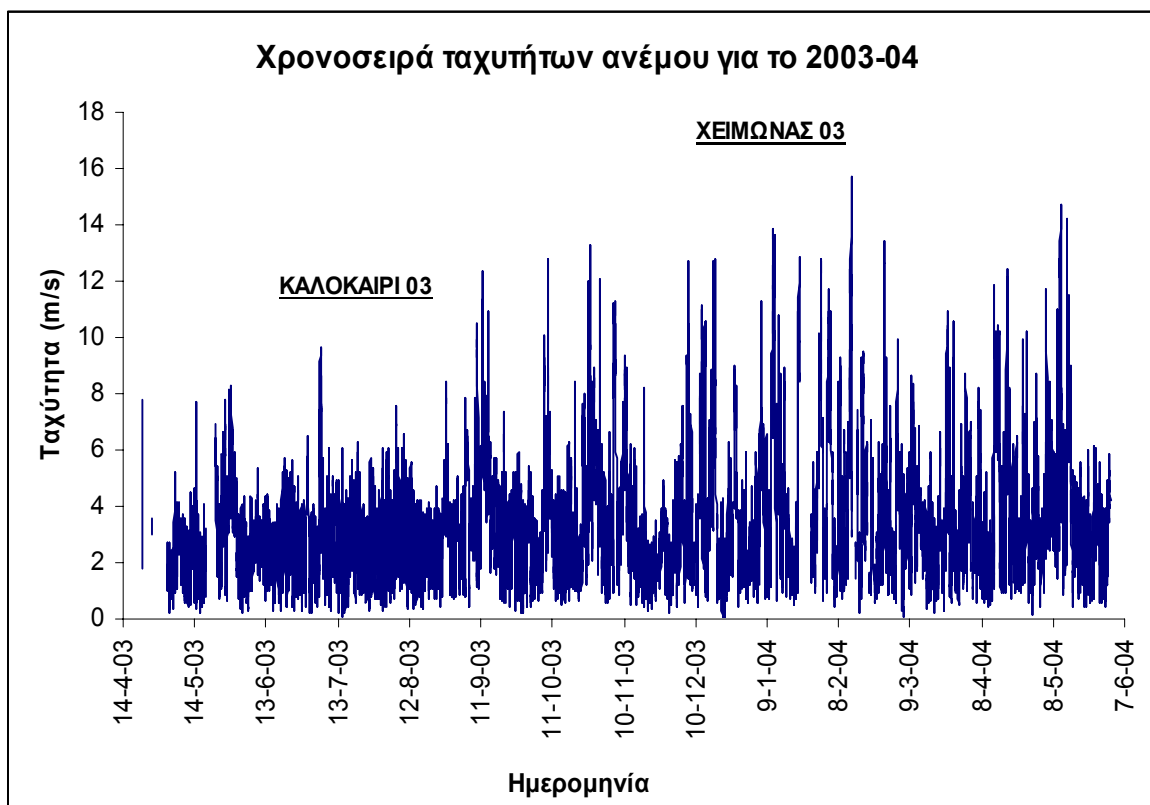
Οι κάποιες διαφορές μεταξύ των σταθμών, οφείλονται πιθανότατα στις έντονες επιδράσεις που δέχεται ο άνεμος από την τοπογραφία της περιοχής, σε σχέση με τις υπόλοιπες μετεωρολογικές παραμέτρους. Έτσι, ενώ οι δύο σταθμοί είναι κοντά, παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Θα μπορούσε για παράδειγμα κάποιος να υποθέσει ότι η συχνή εμφάνιση νοτιοανατολικών ανέμων στο Πολυτεχνείο, οφείλεται στην ύπαρξη του κτιρίου του τμήματος Μηχ.Ο.Π. νότια του σταθμού, το οποίο ενδέχεται να εκτρέπει τη ροή του νότιου ανέμου σε νοτιοανατολικό. Οι δε βορειοανατολικοί άνεμοι πιθανόν να εμφανίζονται σπανιότερα λόγω της ύπαρξης της λοφογραμμής του Ακρωτηρίου προς αυτή την κατεύθυνση, που ενδέχεται να επίσης εκτρέπει τη ροή του βορειοανατολικού ανέμου.

Θα πρέπει τέλος να σημειωθεί, ότι στις μετρήσεις της Σούδας λαμβάνεται υπόψη και το ποσοστό της άπνοιας, το οποίο είναι αρκετά μεγάλο (28.7%) και έχει σαν αποτέλεσμα τη συνολική μείωση όλων των ποσοστών, ενώ στο Πολυτεχνείο όλες οι μετρήσεις αντιστοιχούν σε κάποια κατεύθυνση.

Γενικά, η ανάλυση του πεδίου των ανέμων δεν είναι πρώτιστης σημασίας πόνημα για τη μελέτη των ρύπων στη συγκεκριμένη περιοχή, καθώς από τη στιγμή που δεν υπάρχουν σημαντικές πηγές ρύπανσης στην περιοχή, η μεταφορά σε τοπική κλίμακα δεν είναι τόσο ουσιαστική. Πιο ουσιαστικά συμπεράσματα θα προκύψουν από την ανάλυση των ρетроπορειών των αερίων μαζών (backward trajectories) που θα γίνει στη συνέχεια.

8.4 Ταχύτητα του ανέμου

Στην εικόνα 28, φαίνονται οι μέσες ωριαίες (hourly) τιμές της ταχύτητας ανέμου για την περίοδο 2003-04. Οι μετρήσεις ξεκινούν τον Απρίλιο (15/4) οπότε και εγκαταστάθηκε το όργανο λαμβάνοντας δεδομένα κάθε 30 λεπτά.

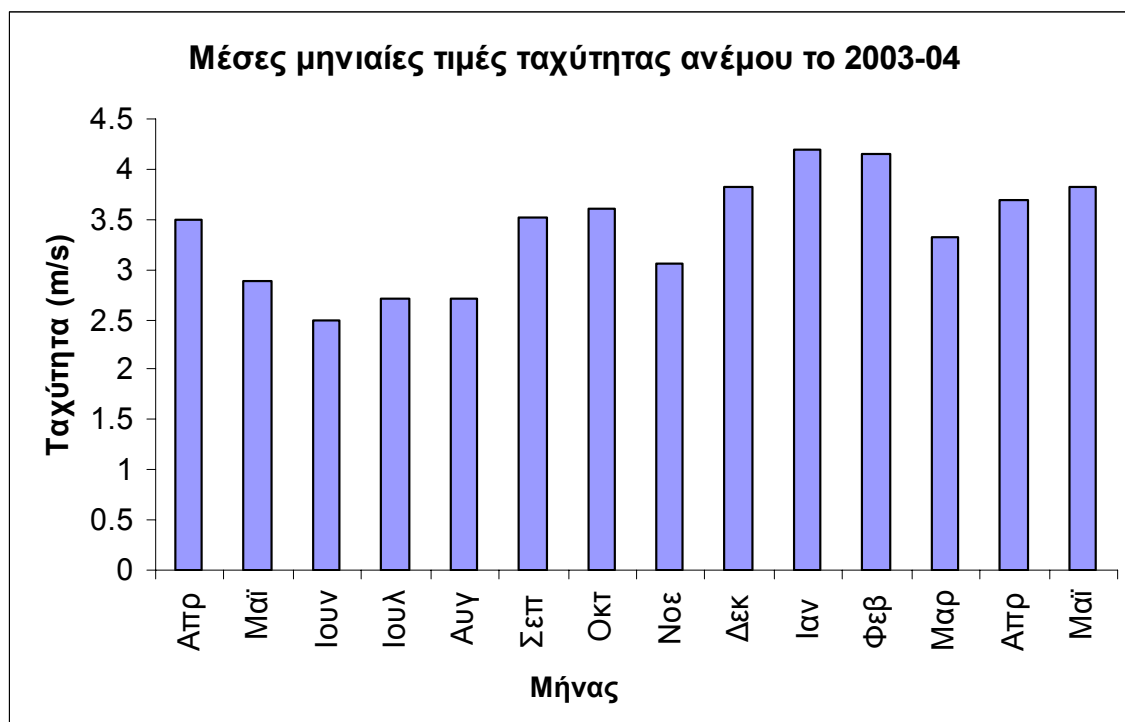


Εικόνα 28: Χρονοσειρά ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο μετρήσεων.

Όπως φαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, οι άνεμοι διατηρούνται σχετικά έντονοι κυρίως λόγω της γειτνίασης της περιοχής με τη θάλασσα. Τα οξύτερα μέγιστα εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς, τους φθινοπωρινούς και τους ανοιξιάτικους μήνες. Δε λείπουν όμως κάποιες σημαντικές εξάρσεις και κατά τους θερινούς μήνες (5/7: 9.6 m/s). Η απόλυτα μέγιστη τιμή όλης της περιόδου (15.7 m/s), εμφανίζεται στις 13/2/2004, κατά τη διάρκεια της έντονης κακοκαιρίας του Φεβρουαρίου που έχει προαναφερθεί (§ 8.1). Με προσεκτική μελέτη των δεδομένων που υπάρχουν, μπορεί κάποιος να διαπιστώσει ότι ένα μεγάλο μέρος των υψηλών τιμών ταχύτητας του ανέμου εμφανίζονται όταν οι άνεμοι πνέουν από δυτικές διευθύνσεις.

Από τη μελέτη επίσης των δεδομένων, προκύπτει ότι γενικά ο άνεμος έχει μεγαλύτερες ταχύτητες κατά τη διάρκεια της ημέρας και μικρότερες τη νύχτα, πράγμα λογικό, αν κάποιος αναλογιστεί ότι λόγω έντονης ακτινοβολίας, την ημέρα η ατμόσφαιρα «φέρει» περισσότερη ενέργεια.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές φαίνονται στην εικόνα 29.



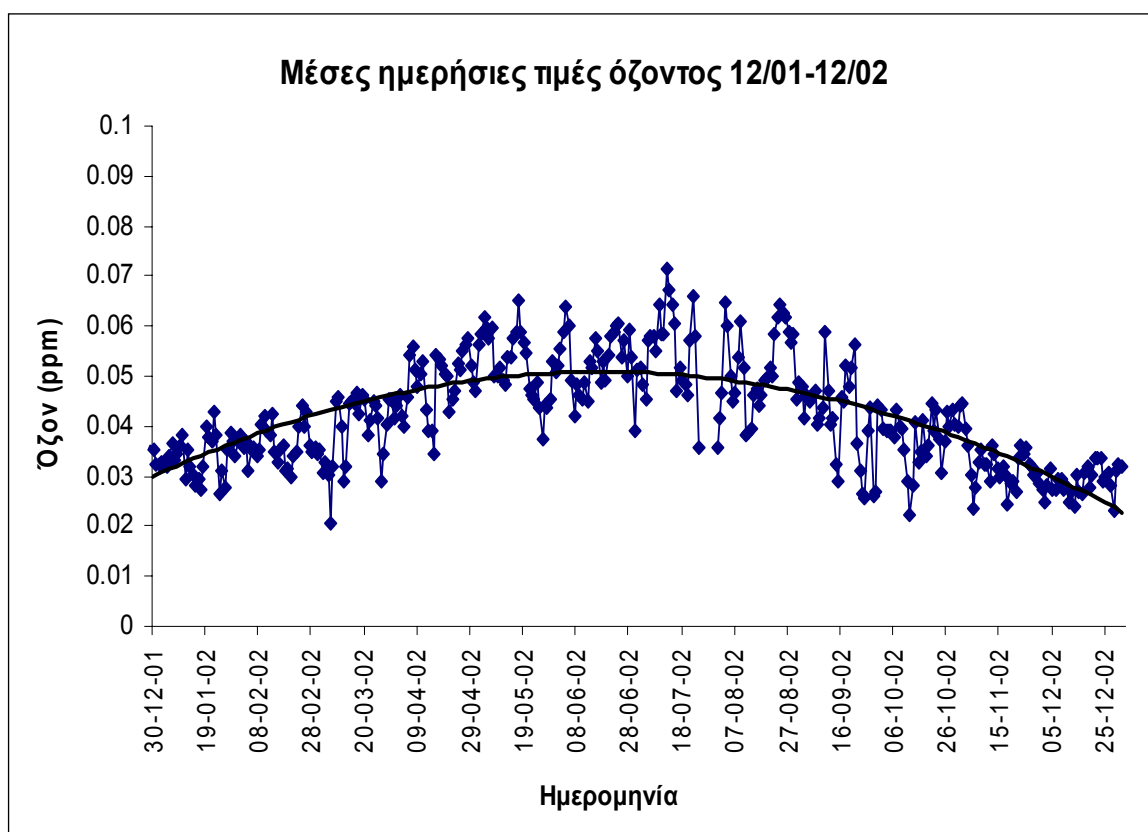
Εικόνα 29: Μέσες μηνιαίες τιμές ταχύτητας ανέμου για την περίοδο μετρήσεων.

Ο μήνας με τη μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέμου είναι ο Ιανουάριος (4.19 m/s), ενώ ακολουθεί ο Φεβρουάριος (4.16 m/s). Όπως γίνεται φανερό, οι θερινοί μήνες δεν εμφανίζουν πολύ χαμηλότερους μέσους όρους σε σχέση με τους υπόλοιπους, καθώς τα εποχικά μελτέμια συντηρούν την ένταση του ανέμου σχετικά μεγάλη και κατά τους μήνες αυτούς. Ο Ιούνιος παρόλα αυτά είναι ο μήνας με τις μικρότερες ταχύτητες (μέσος όρος 2.48 m/s), πράγμα που εξηγείται με βάση το ότι τα μελτέμια ξεκινούν λίγο αργότερα.

9. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ

9.1 Εποχιακή διακύμανση όζοντος

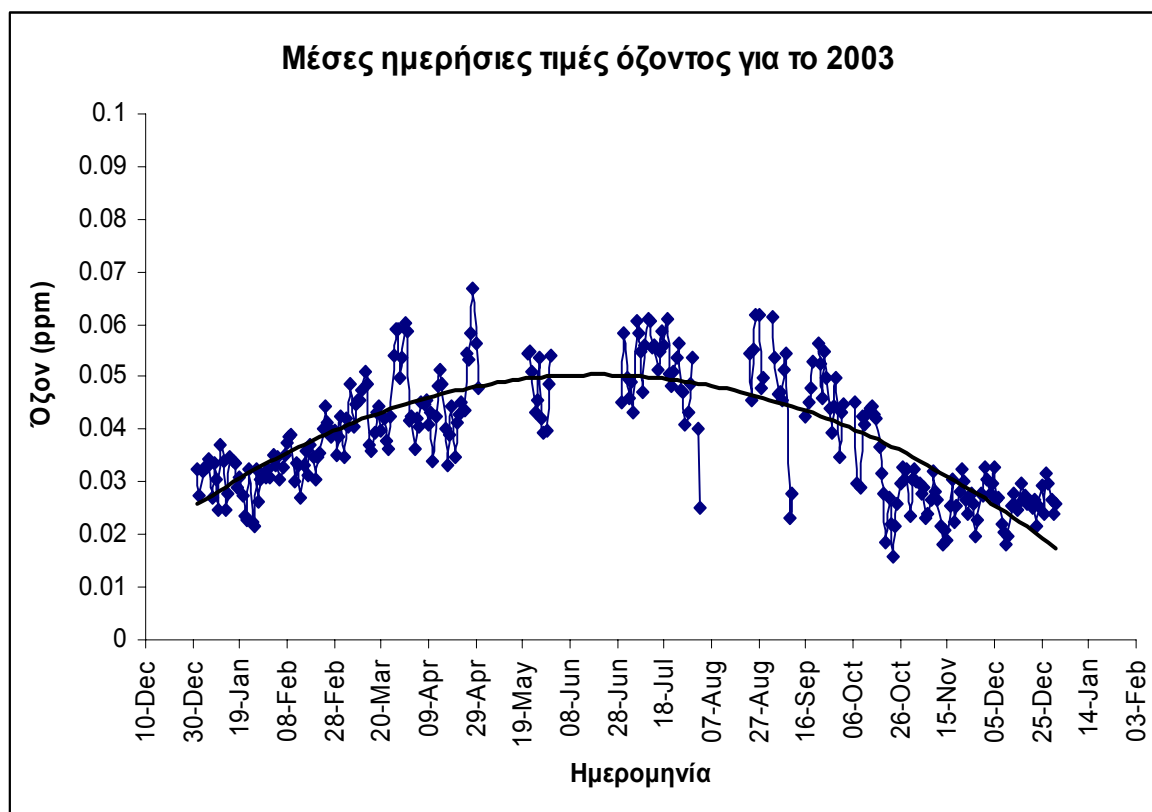
Το οζονόμετρο είναι το πρώτο από τα όργανα που εγκαταστάθηκε στο σταθμό αέριας ρύπανσης. Οι πρώτες μετρήσεις που είναι διαθέσιμες είναι του Δεκεμβρίου του 2001. Από τότε μέχρι και την παρούσα φάση υπάρχουν συνεχή δεδομένα, με κάποιες διακοπές που οφείλονται κυρίως σε βλάβες του οργάνου ή σε διακοπές ρεύματος στην περιοχή. Οι τιμές όζοντος λαμβάνονται με διάστημα (interval) μίας ώρας μεταξύ τους και με βάση τις τιμές αυτές, υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές. Στην εικόνα 30 παρουσιάζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές για την περίοδο 12/2001-12/2002.



Εικόνα 30: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2002.

Η μέγιστη ημερήσια τιμή τροποσφαιρικού όζοντος ($0.071 \text{ ppm} = 71 \text{ ppb}$) για την περίοδο αυτή εμφανίστηκε στις 12/7, πράγμα αναμενόμενο αφού γενικά το όζον είναι ιδιαίτερα αυξημένο αυτή την εποχή λόγω έντονης φωτοχημικής δραστηριότητας. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα υψηλή για μία περιοχή στην οποία η πρωτογενής παραγωγή ρύπων είναι

περιορισμένη. Από την άλλη μεριά, η μικρότερη μέτρηση ($0.021 \text{ ppm} = 21 \text{ ppb}$) σημειώθηκε στις 7/3. Αυτό που επίσης μπορεί να γίνει αντιληπτό για τη χρονιά αυτή με τη βοήθεια της βοηθητικής καμπύλης του διαγράμματος, είναι το ότι το όζον παρουσιάζει μία φυσιολογική διακύμανση μέσα στο έτος, με αυξημένες τιμές τη θερμή και μειωμένες την ψυχρή περίοδο. Το διάγραμμα που ακολουθεί είναι το αντίστοιχο για τη χρονιά του 2003.



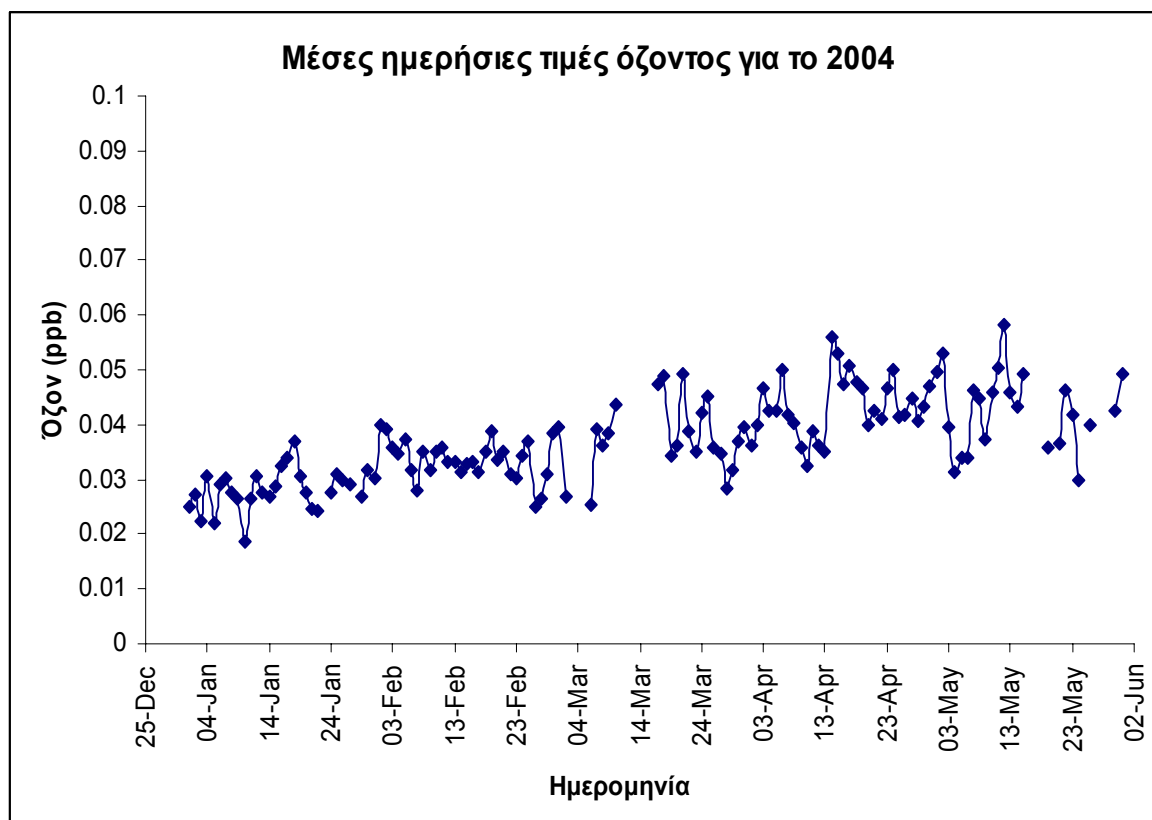
Εικόνα 31: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2003.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η μέγιστη τιμή όζοντος ($0.067 \text{ ppm} = 67 \text{ ppb}$) εμφανίζεται στις 28/4. Σημειώνεται πάντως ότι λείπουν αρκετές ημέρες από το καλοκαίρι, οι οποίες ενδεχομένως να ήταν μεγαλύτερες. Η χαμηλότερη τιμή ($0.016 \text{ ppm} = 16 \text{ ppb}$) είναι στις 23/10, ενώ υπάρχουν αρκετές ημέρες μέσα στο χειμώνα με συγκεντρώσεις γύρω στα 0.020 ppm . Αυτό που φαίνεται ασυνήθιστο στο συγκεκριμένο διάγραμμα είναι η εμφάνιση αρκετά χαμηλών τιμών και μέσα στη θερμή περίοδο (2/8: 25 ppb , 9/9 23 ppb). Οι τιμές αυτές ενδέχεται να οφείλονται σε τεχνικά προβλήματα που προκάλεσαν λανθασμένες μετρήσεις (με προσεκτική παρατήρηση στο διάγραμμα

φαίνεται ότι μετά από τις εν λόγω ημερομηνίες οι μετρήσεις προσωρινά διακόπηκαν, πράγμα που ίσως ενισχύει αυτή την άποψη).

Σε γενικές γραμμές πάντως, η συγκέντρωση του όζοντος μέσα στη χρονιά ακολουθεί την αναμενόμενη πορεία, αλλά με κάποιες πιο έντονες διακυμάνσεις. Είναι αξιοσημείωτη για παράδειγμα η κατακόρυφη πτώση στις τιμές των συγκεντρώσεων μεταξύ της 16^{ης} και της 20^{ης} του Οκτώβρη, από 43 ppb σε 18 ppb, πράγμα που όπως θα φανεί σε ακόλουθο τμήμα της εργασίας (§11.1) οφείλεται στην εισβολή αερίων μαζών φτωχών σε όζον από την Αφρική, από τις 17/10 και μετά.

Τέλος, παρακάτω φαίνεται και η ημερήσια διακύμανση για τους 5 πρώτους μήνες του 2004.

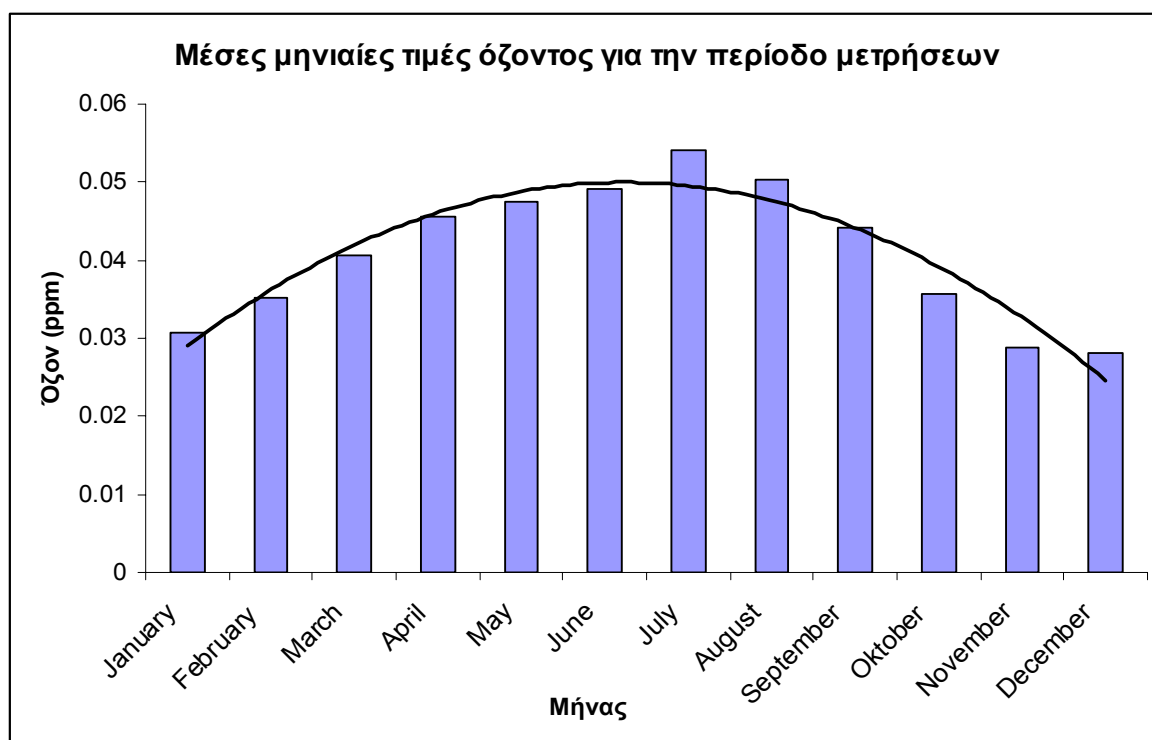


Εικόνα 32: Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος για το 2004.

Η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης όζοντος για τις διαθέσιμες μετρήσεις του 2004 σημειώθηκε τις 12/5 και ήταν ίση με 0.058 ppm ή 58 ppb. Από την άλλη μεριά, η ελάχιστη ήταν τις 10/1 (0.019 ppm).

Γενικότερα, η μέση τιμή όζοντος για το 2002 ήταν 0.042 ppm, ενώ για το 2003 0.038 ppm. Πρέπει τις ξανά να τονισθεί ότι για το 2003 υπήρχε σημαντική απώλεια μετρήσεων τον Ιούνιο και τον Αύγουστο, γεγονός που ασφαλώς αλλοιώνει το αποτέλεσμα. Τέλος, για τις μέχρι τώρα τιμές του 2004 ο μέσος όρος είναι 0.037 ppm.

Το ραβδόγραμμα που ακολουθεί (εικόνα 33), περιλαμβάνει τις μέσες τιμές τις συγκέντρωσης όζοντος για όλους τις μήνες του έτους, έχοντας χρησιμοποιήσει τις διαθέσιμες μετρήσεις και από τις 3 χρονιές.



Εικόνα 33: Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος για το σύνολο των μετρήσεων.

Απ' ότι μπορούμε να συμπεράνουμε οι τιμές εμφανίζονται ιδιαίτερα αυξημένες τους θερινούς μήνες με μέγιστο τον Ιούλιο (0.054 ppm). Αυτό δικαιολογείται απόλυτα από την ιδιαίτερα έντονη φωτοχημική δραστηριότητα που υπάρχει κατά τους θερινούς μήνες, η οποία ως γνωστόν ευνοεί την παραγωγή τροποσφαιρικού όζοντος μέσω της σειράς αντιδράσεων 3 & 4 (σελ. 7).

Επίσης, το καλοκαίρι όπως προαναφέρθηκε η προέλευση των ανέμων είναι από Βόρειες και από Βόρειο-Δυτικές κυρίως διευθύνσεις με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες να προέρχονται κυρίως από την Κεντρική και τη Δυτική Ευρώπη. Από τα μεγαλύτερα

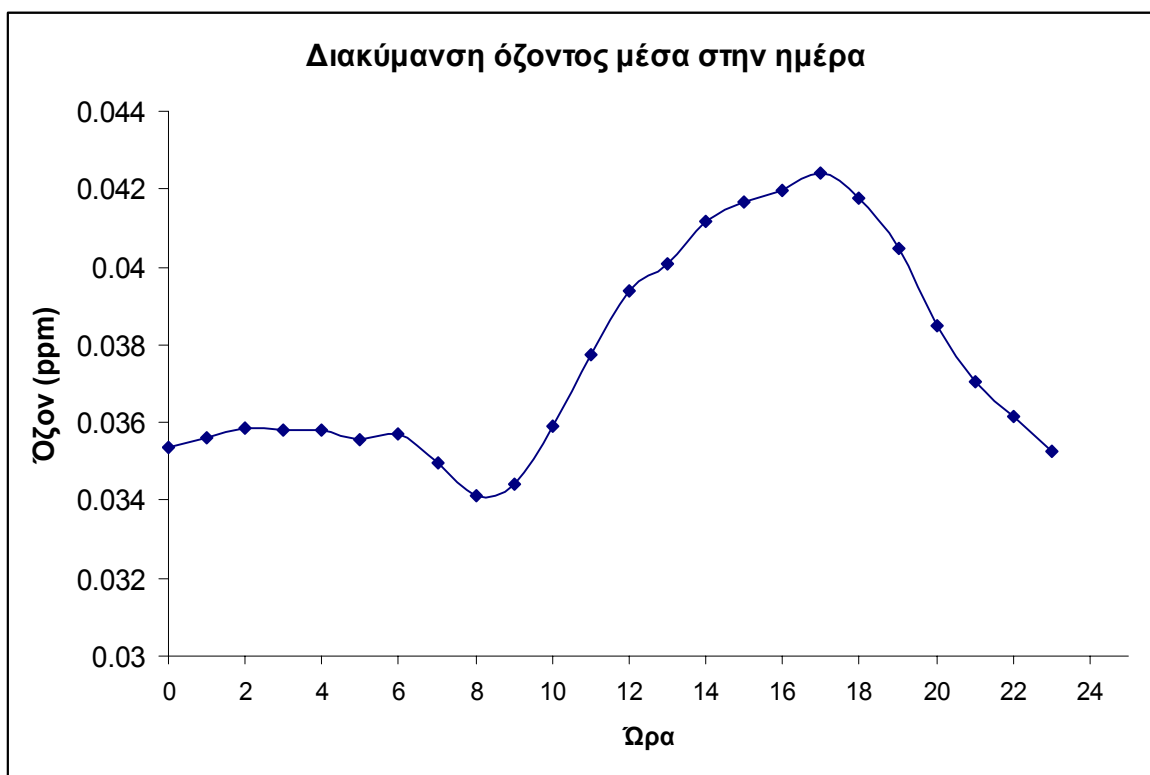
γεωγραφικά πλάτη και ειδικά από αυτές τις περιοχές προέρχονται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος, τόσο λόγω αυξημένης παραγωγής ρύπων όσο και λόγω των μετεωρολογικών συνθηκών σε αυτές τις περιοχές. Επομένως και η προέλευση των αερίων μαζών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ευνοεί την υψηλή συγκέντρωση στις περιοχές μας.

Το χειμώνα από την άλλη, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και η ηλιοφάνεια μικρή οπότε δεν ευνοείται η παραγωγή όζοντος. Οι άνεμοι πνέουν συχνά και από Νότιες ή Δυτικές διευθύνσεις, όπου βρίσκεται από τη μία η Αφρική και από την άλλη η Μεσόγειος, περιοχές στις οποίες οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος είναι σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Οι πρόδρομες ενώσεις υφίστανται επίσης απόπλυση από τη βροχή η οποία το χειμώνα στην περιοχή είναι σε σχετικά υψηλά επίπεδα.

9.2 Ημερήσια διακύμανση

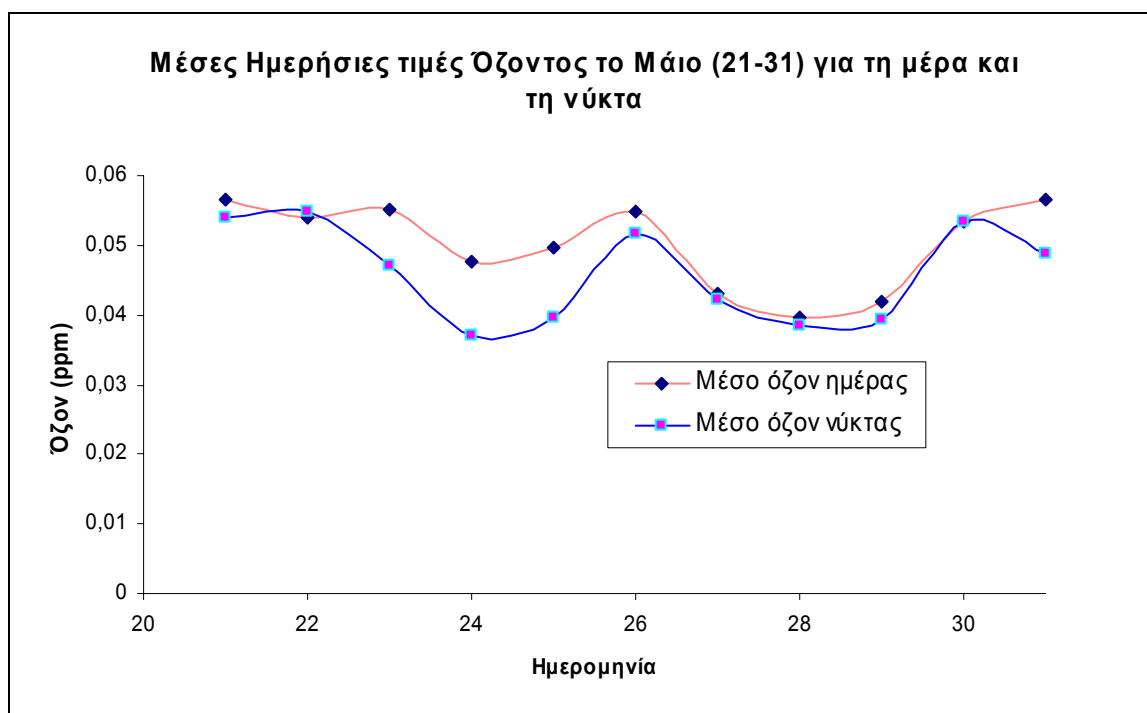
Το παρακάτω διάγραμμα (εικόνα 34) κατασκευάστηκε με βάση τις μέσες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος για κάθε ώρα της ημέρας, χρησιμοποιώντας όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις για το 2003 και 2004. Ο σκοπός για τον οποίο φτιάχτηκε ένα τέτοιο διάγραμμα, είναι η μελέτη της αντιπροσωπευτική πορείας του όζοντος μέσα στην ημέρα, με τη χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων δεδομένων.

Από το διάγραμμα, παρατηρούμε καταρχάς την αύξηση που παρουσιάζει η συγκέντρωση του O_3 την ημέρα και η μείωση που παρουσιάζει τη νύχτα. Η μέγιστη συγκέντρωση (γύρω στο 0.042 ppm) παρουσιάζεται νωρίς το απόγευμα (17:00), οπότε έχει δράσει η φωτοχημική παραγωγή O_3 του μεσημεριού. Οι νυχτερινές τιμές είναι αισθητά χαμηλότερες (γύρω στα 0.036 ppm), όμως το απόλυτο μέγιστο εμφανίζεται το πρωί (στις 8:00 πμ, 0.034 ppm). Στους παραθαλάσσιους σταθμούς με σχετικά μικρή απόσταση από κάποιο αστικό κέντρο, η μείωση αυτή είναι δικαιολογημένη. Η πρωινή κυκλοφορία των οχημάτων έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή NO_x . Αν ο άνεμος είναι ευνοϊκός και τα NO_x μεταφερθούν στην περιοχή των μετρήσεων, θα παρατηρηθεί πρόσκαιρη μείωση στη συγκέντρωση του O_3 λόγω καταστροφής του από το NO (Κουβαράκης, 2002). Επειδή μάλιστα οι άνεμοι ΝΔ κατεύθυνσης είναι από τους επικρατέστερους στην περιοχή και η πόλη των Χανίων βρίσκεται νότιοδυτικά του Πολυτεχνείου Κρήτης, η μεταφορά των NO_x είναι αναμενόμενη, με συνεπακόλουθο τη μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος.



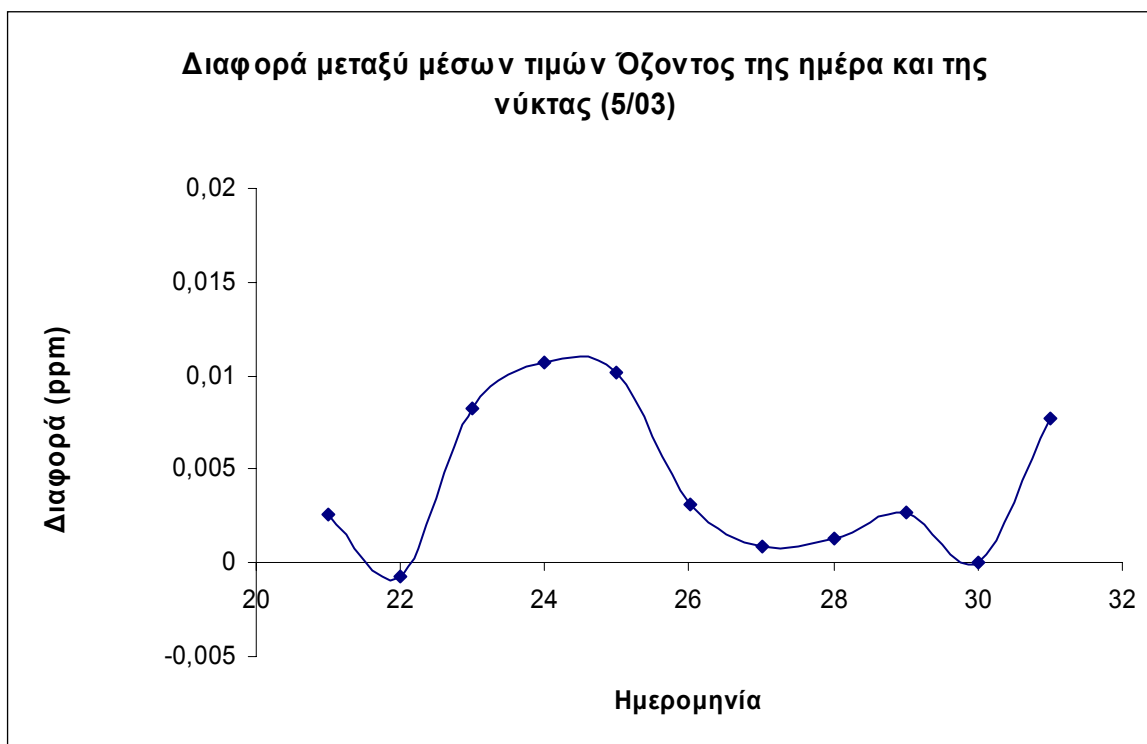
Εικόνα 34: Μέσες τιμές όζοντος για τις διάφορες ώρες της ημέρας (2003-04).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ακόμη δύο διαγράμματα για να γίνει σαφής η μεταβολή της συγκέντρωσης του όζοντος από τη μέρα στη νύχτα. Αυτό που παριστάνεται στην εικόνα 35 είναι οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις όζοντος τις νυκτερινές ώρες και τις ώρες της ημέρας για κάποιες ημέρες του Μαΐου του 2003 (21/5 - 31/5). Διαπιστώνεται ότι σχεδόν για όλες τις ημερομηνίες, η τιμή του όζοντος είναι αρκετά μικρότερη κατά τις ώρες της νύκτας. Η μόνη ημερομηνία για την οποία συμβαίνει το αντίθετο είναι η 22/5. Οι λόγοι για τους οποίους έχουμε αυτή τη διαφοροποίηση δε μπορούν να διευκρινιστούν απόλυτα, παρόλα αυτά με τη χρήση των ρετροπορειών υπάρχει μία ένδειξη για το ότι η προέλευση των αερίων μαζών μετά τις 8 μμ ήταν από μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη που όμως θα αναλυθεί περισσότερο σε επόμενο τμήμα τη εργασίας. Τη νύχτα, όπως έχει προαναφερθεί, (§2.2) η ηλιακή δραστηριότητα είναι ανύπαρκτη και η μεταφορά από μεγαλύτερα ύψη διακόπτεται λόγω της νυκτερινής θερμοκρασιακής αναστροφής. Από την άλλη μεριά, τη νύχτα αυξάνεται ο ρυθμός ξηρής εναπόθεσης του όζοντος (λιγότερο όμως σε παραθαλάσσιες περιοχές) και σε συνδυασμό με την ομογενή αντίδραση αέριας φάσης όζοντος με NO (βλ. Berkowitz et. al., 2001), το όζον αυτές τις ώρες μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 35: Σύγκριση τιμών όζοντος ημέρας και νύκτας.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται η διαφορά των τιμών ημέρας και νύκτας για τις ίδιες ημέρες η οποία ως επί το πλείστον προκύπτει θετική.

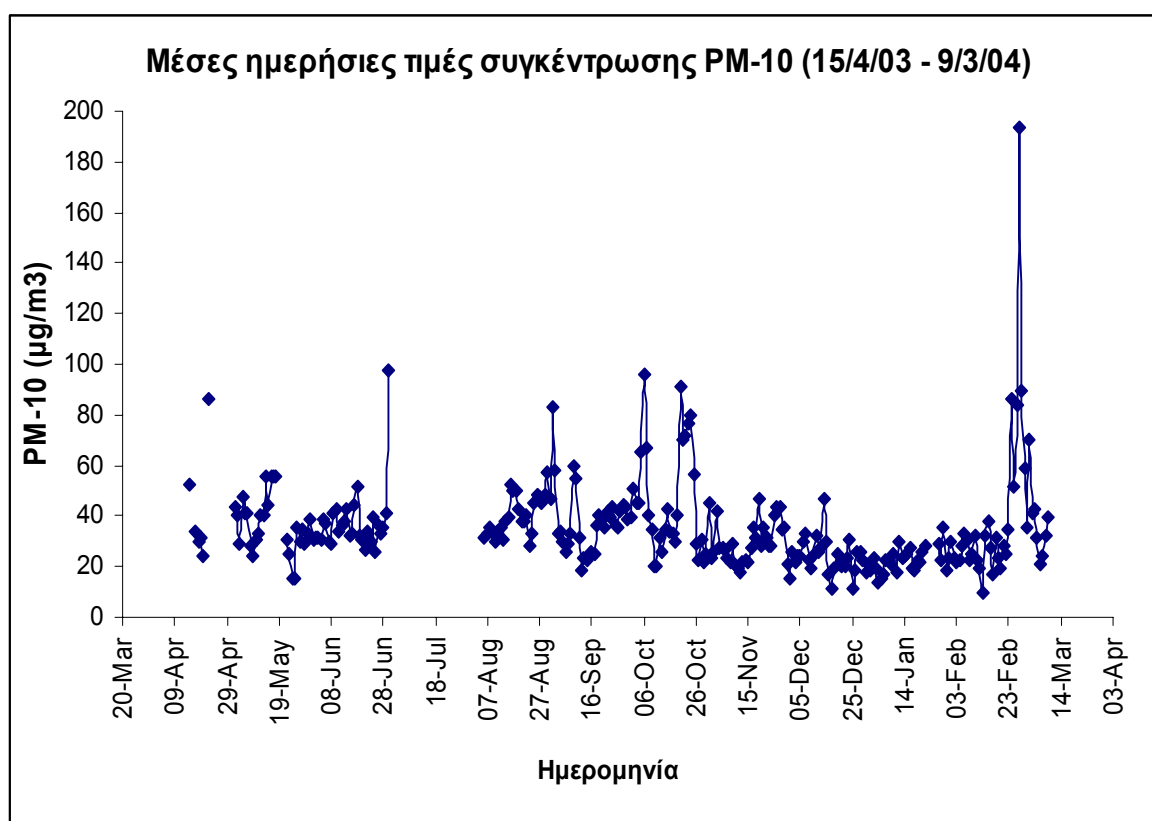


Εικόνα 36: Διαφορά τιμών ημέρας και νύκτας.

10. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

10.1 Παρουσίαση μετρήσεων PM_{10}

Το όργανο για τη μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων της περιοχής εγκαταστάθηκε στα μέσα Απριλίου του 2003 (15/4). Και για τα σωματίδια λοιπόν έχουν ληφθεί δεδομένα για την ίδια περίοδο που ελήφθησαν για την τη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Παρακάτω φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές για όλη την περίοδο μετρήσεων μέχρι και το Μάρτιο του 2004. Το χρονικό διάστημα (interval) που έχει χρησιμοποιηθεί μεταξύ των μετρήσεων είναι τα 30 λεπτά. Τα δεδομένα παρουσιάζουν ορισμένα κενά, οφειλόμενα κυρίως σε πρόβλημα της αντλίας του οργάνου ειδικά την περίοδο του καλοκαιριού του 2003.



Εικόνα 37: Μέσες ημερήσιες τιμές σωματιδίων για την περίοδο μετρήσεων.

Η μέση τιμή που προκύπτει για τη συγκέντρωση των PM_{10} στην περιοχή από δεδομένα σχεδόν ενός χρόνου είναι $35.1 \mu g/m^3$ τιμή αρκετά αυξημένη για περιοχή χωρίς μεγάλο ποσοστό τοπικής ρύπανσης. Το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων σωματιδίων στο Ακρωτήριο και γενικά σε μη αστικές περιοχές της Κρήτης είναι σκόνη (coarse particles)

που είτε παράγεται τοπικά, είτε μεταφέρεται από την Αφρικανική ήπειρο. Το κύριο σώμα των μετρήσεων βρίσκεται στα 35 περίπου $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, μέσα στη χρονιά υπάρχουν διάφορες εξάρσεις κατά τις οποίες – τη θερμή περίοδο ως επί το πλείστον- η συγκέντρωση των PM_{10} έφθασε τα 80-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το χειμώνα οι τιμές των PM_{10} είναι πιο χαμηλές και γενικά λιγότερο έντονα διακυμαινόμενες. Στην εκπνοή του όμως (27/2), συνέβη ένα επεισόδιο σκόνης από τη Σαχάρα (Sahara dust event), με αποτέλεσμα η μέση τιμή της συγκέντρωσης για εκείνη τη μέρα να φτάσει τα 193.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μάλιστα για κάποιες ώρες από τις 21:00 μέχρι τις 24:00, οι συγκεντρώσεις ξεπέρασαν τα 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με τη μέγιστη στις 23:00 τα 528 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ τιμή ιδιαίτερα ασυνήθιστη ακόμα και σε μία τυπική περίπτωση επεισοδίου σκόνης από τη Σαχάρα (Rodriguez et. al, 2001). Η ελάχιστη τιμή εμφανίζεται στις 13/2 (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), οπότε σημειώθηκε έντονη κακοκαιρία (βλ. § 8.1).

Όπως επίσης φαίνεται από την εικόνα 37, οι ημέρες που παρουσιάζουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} είναι μεμονωμένες, πράγμα που σημαίνει ότι τα επεισόδια υψηλής συγκέντρωσης ξεκινούν αιφνίδια και σταματούν επίσης γρήγορα. Όπως θα φανεί και παρακάτω, οι ιδιαίτερα αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις οφείλονται σε εισβολές αερίων μαζών από την Αφρική στον αέρα της Κρήτης, συμβάντα που εκ φύσεως διαρκούν λίγο (συνήθως 1 έως 3 ημέρες).

Στην εικόνα 38 φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της συγκέντρωσης PM_{10} . Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι με εξαίρεση τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όλοι οι μήνες παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} . Οι μέγιστες μάλιστα προέκυψαν για τον Οκτώβριο (45.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και για το Φεβρουάριο (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Κατά τη διάρκεια και των δύο αυτών μηνών, παρουσιάστηκαν έντονα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα. Ειδικά ο Φεβρουάριος είναι μήνας ο οποίος αναμένεται αρκετά πιο «καθαρός» από σωματίδια, το επεισόδιο όμως που συνέβη στο τέλος του ανέβασε ιδιαίτερα το μέσο όρο.

Κάνει επίσης εντύπωση ότι δεν παρατηρούνται οι μέγιστες συγκεντρώσεις το καλοκαίρι, κάτι που οφείλεται στην απουσία –κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου καλοκαιριού- επεισοδίων σκόνης, και γενικά ημερών με καύσωνα και δυσφορία λόγω της επικράτησης

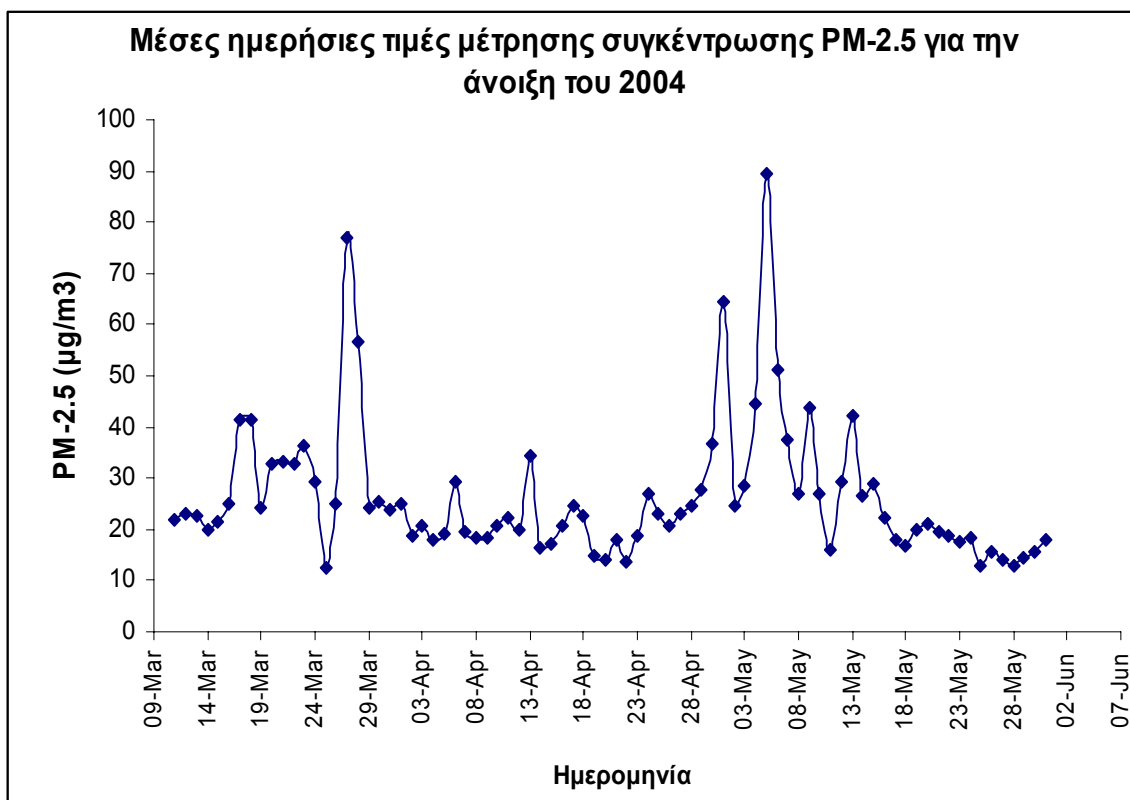
των μελετημών. Σημειώνεται πάντως ξανά ότι δεν υπάρχουν μετρήσεις για τον Ιούλιο, οι οποίες ίσως να διαφοροποιούσαν τα αποτελέσματα.



Εικόνα 38: Μέσες μηνιαίες τιμές PM₁₀.

10.2 Παρουσίαση μετρήσεων PM_{2.5}

Από τις 10/3/2004 στις 9:30 πμ αντικαταστάθηκε στο όργανο μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων η κεφαλή μέτρησης PM₁₀ με την κεφαλή μέτρησης PM_{2.5}, για τη λήψη ενδεικτικών δεδομένων μικρότερης διαμέτρου σωματιδιακής ύλης για κάποιο χρονικό διάστημα. Οι τιμές που προέκυψαν μέχρι και τις 31/5 φαίνονται στην εικόνα 39.



Εικόνα 39: Μέσες ημερήσιες τιμές $PM_{2.5}$.

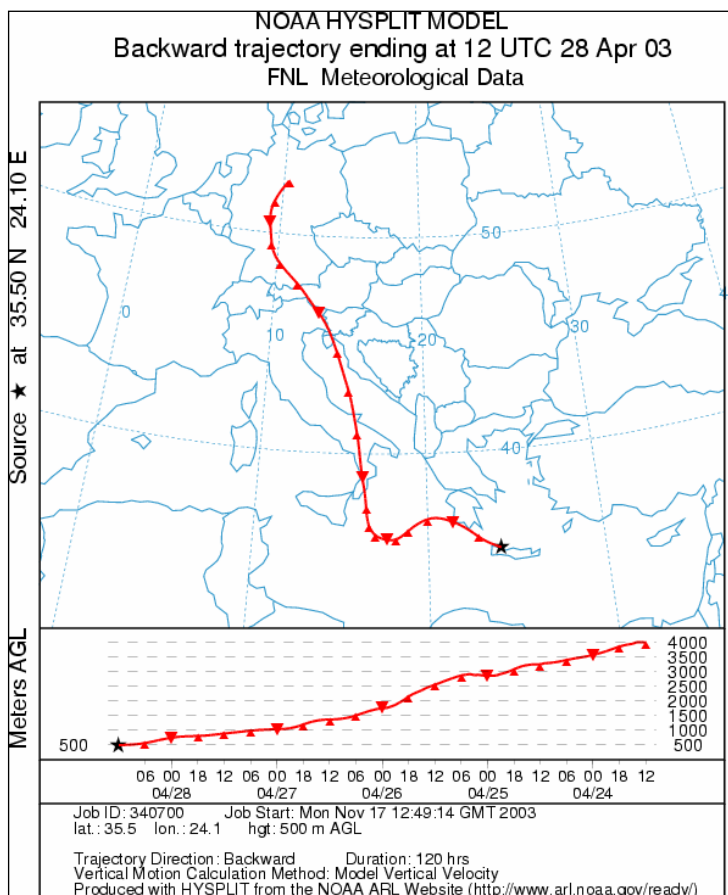
Η μέση τιμή που προκύπτει από τις μετρήσεις της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ για την άνοιξη του 2004 είναι $26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, η οποία είναι αρκετά υψηλή. Τα $PM_{2.5}$ όπως είναι φυσικό, παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις από τα PM_{10} , αφού αποτελούν μικρότερο σύνολο του φάσματος μεγεθών σωματιδίων. Υπάρχουν όμως τρεις περιπτώσεις ημερών κατά τις οποίες οι τιμές συγκέντρωσης έφτασαν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Έτσι, στις 27/3, η μέση συγκέντρωση ήταν $77.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, στις 1/5 ήταν $64.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στις 5/5 ήταν $89.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Το τελευταίο από τα επεισόδια ήταν ιδιαίτερα έντονο, με πολύ μεγάλη μείωση της ορατότητας και έντονη ξηρή και σε μικρότερο ποσοστό υγρή εναπόθεση. Χαρακτηριστικό είναι ότι στις 9:00 το πρωί η συγκέντρωση έφτασε στα $454 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και ότι για το βράδυ που η ένταση του φαινομένου αυξήθηκε ιδιαίτερα, η τελευταία μέτρηση που υπάρχει είναι για τις 19:30 ($285 \mu\text{g}/\text{m}^3$), διότι στη συνέχεια το όργανο σταμάτησε να δίνει τιμές μέχρι τις 2:00 πμ.

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

11.1 Εξήγηση των συγκεντρώσεων όζοντος

Όπως έχει προαναφερθεί, η προέλευση των αερίων μαζών είναι μαζί με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα όζοντος σε μία περιοχή (Katsoulis, 1999). Μάλιστα, σε μία περιοχή όπως η Κρήτη, όπου οι επιδράσεις στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της από άλλες περιοχές είναι έντονες και τα επίπεδα τοπικά παραγόμενης ρύπανσης είναι χαμηλά, ο συγκεκριμένος παράγοντας αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία. Τα περιβάλλοντα στα οποίες οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις είναι η ηπειρωτική Ευρώπη και επίσης σε αρκετά μεγάλο βαθμό οι πιο γειτονικές περιοχές της Αθήνας και των παραλίων της Μικράς Ασίας. Έτσι, οι αέριες μάζες που προέρχονται από τις διευθύνσεις B/ΒΔ/ΒΑ είναι αρκετά καθοριστικές στην αύξηση των επιπέδων όζοντος στην Κρήτη. Αντίθετα, η περιοχή της Αφρικής δεν παρουσιάζει αυξημένα επίπεδα σε αυτές με αποτέλεσμα ο αέρας που προέρχεται από αυτές (από N/NA/ΝΔ διευθύνσεις) να μην προκαλεί υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος στην περιοχή μας. Επίσης, ως προς την περιεκτικότητα σε πρόδρομες ενώσεις του όζοντος, φτωχό σαν περιβάλλον είναι και το θαλάσσιο. Επειδή όμως το περιβάλλον γύρω από την Κρήτη είναι γενικά θαλάσσιο, δύσκολα μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για την επίδραση της διαφορετικής προέλευσης ως προς αυτόν τον παράγοντα. Μοναδική ίσως περίπτωση που μπορούν να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα είναι όταν η ρετροπορεία βρίσκεται αποκλειστικά πάνω από θαλάσσιο περιβάλλον (Κουβαράκης, 2002).

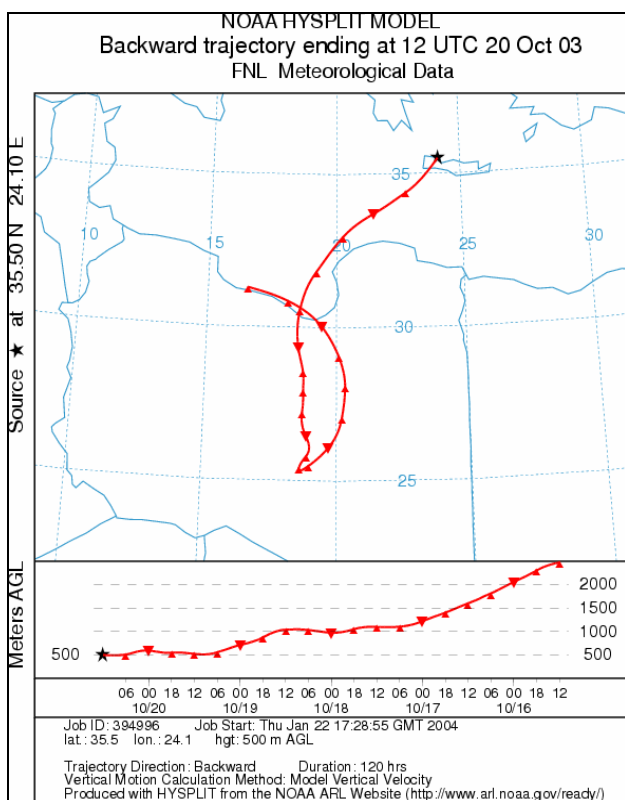
Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις όπου οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι άμεσα εξαρτώμενες από την προέλευση των αερίων μαζών (για λεπτομέρειες όσον αφορά τη χρήση του μοντέλου και τις ρυθμίσεις βλ. το τμήμα 7 της παρούσας εργασίας). Όπως προαναφέρθηκε, στις 28/4/03 παρατηρήθηκε η υψηλότερη συγκέντρωση τροποσφαιρικού όζοντος για το 2003 (0.067 ppm). Στην εικόνα 40, φαίνεται η ρετροπορεία για την ημέρα αυτή. Όπως μπορεί να φανεί, οι αέριες μάζες τη συγκεκριμένη ημέρα προέρχονται από την κεντρική Ευρώπη, επομένως δικαιολογείται σε μεγάλο βαθμό η υψηλή συγκέντρωση όζοντος.



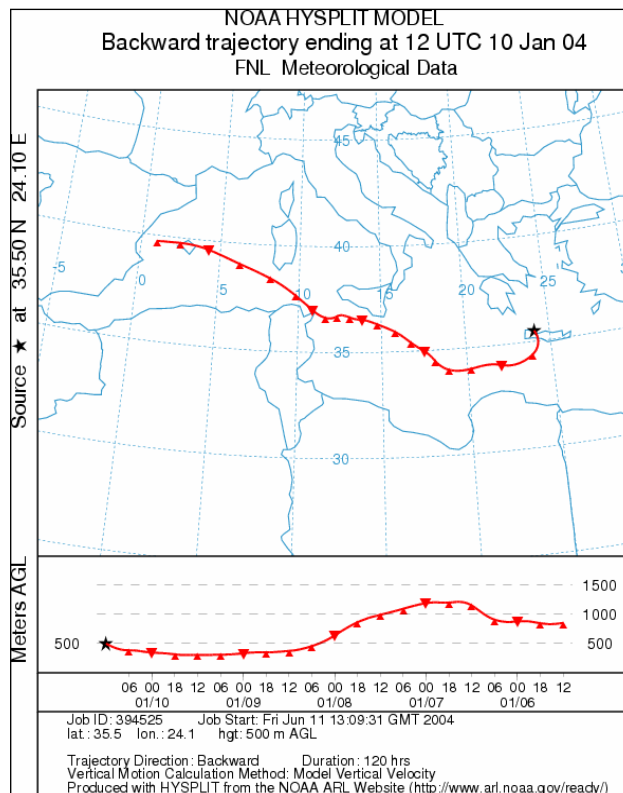
Εικόνα 40: Ρетроπορεία για τις 28/4/03.

Επίσης, στις 20/10/03 σημειώθηκε μία από τις χαμηλότερες τιμές όζοντος (0.018 ppm) για το 2003 και στις 10/1/04 η χαμηλότερη μέχρι τα Μάιο τιμή για το 2004 (0.019 ppm). Οι ρетроπορείες που προέκυψαν για τις προαναφερθείσες ημερομηνίες φαίνονται στις εικόνες 41 και 42. Όπως φαίνεται, στις 20/10 οι αέριες μάζες είχαν προέλευση από τη Λιβύη, όπου οι ερημικές εκτάσεις ως γνωστόν είναι εκτεταμένες (Σαχάρα) και οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος βρίσκονται σε ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις.

Από την άλλη μεριά, στη δεύτερη περίπτωση (10/1), οι αέριες μάζες πριν φτάσουν στην περιοχή του Ακρωτηρίου είχαν ακολουθήσει μία πορεία που βρισκόταν αποκλειστικά πάνω από θαλάσσιο περιβάλλον. Όπως προαναφέρθηκε, ο αέρας σε θαλάσσιο περιβάλλον είναι φτωχός σε πρόδρομες ενώσεις του όζοντος και η τόσο μακράς διάρκειας παραμονή αερίων μαζών σε τέτοιες περιοχές προκαλεί μείωση των συγκεντρώσεων όζοντος στην περιοχή μας.



Εικόνα 41: Ρетроπορεία για τις 20/10/03.



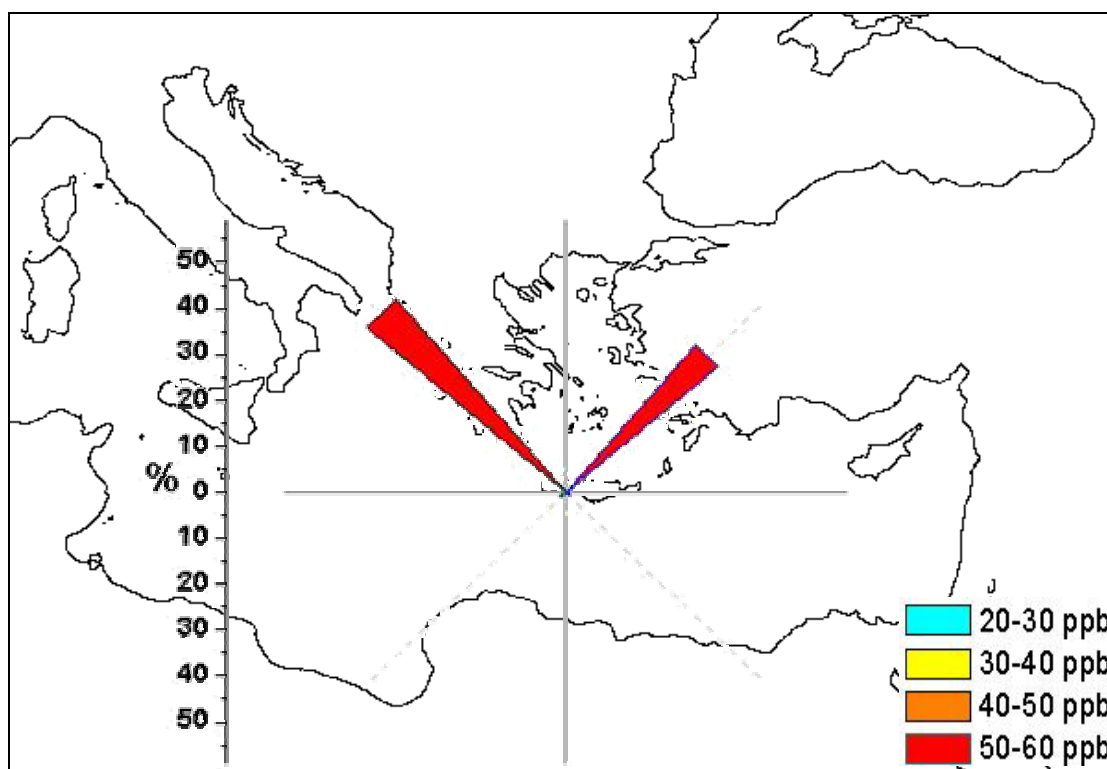
Εικόνα 42: Ρетроπορεία για τις 10/1/04.

Για να εξαχθούν πιο γενικά συμπεράσματα όσον αφορά την προέλευση των αερίων μαζών και τη επίδρασή τους στα επίπεδα ρύπανσης, κατασκευάστηκαν χάρτες στους οποίους φαίνεται η πληροφορία τόσο της επικρατέστερης προέλευσης των ρетроπορειών, όσο και του επιπέδου ρύπανσης που προέρχεται από κάθε προέλευση για κάθε εποχή ξεχωριστά (βλ. & Gunaydin, 2003).

Πιο συγκεκριμένα, ο εναέριος χώρος της υπό μελέτης περιοχής, χωρίστηκε σε τέσσερις βασικούς τομείς (sectors) προέλευσης: Έναν προς τα βορειοδυτικά, έναν προς τα βορειοανατολικά, έναν προς τα νοτιοανατολικά και έναν προς τα νοτιοδυτικά. Από την άλλη, η ρетроπορεία της κάθε ημέρας χωρίστηκε σε 5 τμήματα (segments) όσες είναι και οι ημέρες για τις οποίες έχει γίνει run στο μοντέλο. Το κάθε ένα από τα τμήματα αντιστοιχίστηκε στον τομέα προέλευσης στον οποίο ανήκει. Τελικά, αθροίζοντας το συνολικό αριθμό των τμημάτων που ανήκουν σε κάθε τομέα, προέκυψε η συχνότητα προέλευσης του αέρα από κάθε τομέα για κάθε εποχή. Επιπλέον, εξήχθη ο μέσος όρος των τιμών όζοντος για όλες τις ημέρες που ανήκουν στον κάθε τομέα, ώστε να είναι γνωστό το επίπεδο ρύπανσης από κάθε προέλευση.

Τελικά, με κέντρο την περιοχή των Χανίων, δημιουργήθηκαν ράβδοι οι οποίες έχουν μήκος ανάλογο του ποσοστού % εμφάνισης του κάθε τομέα και χρώμα εξαρτώμενο από το επίπεδο της ρύπανσης για κάθε περίπτωση. Σημειώνουμε ότι για τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, από όλες τις χρονιές πλην αυτών που έχουν απορριφθεί. Ακολουθεί ο χάρτης για τους καλοκαιρινούς μήνες.

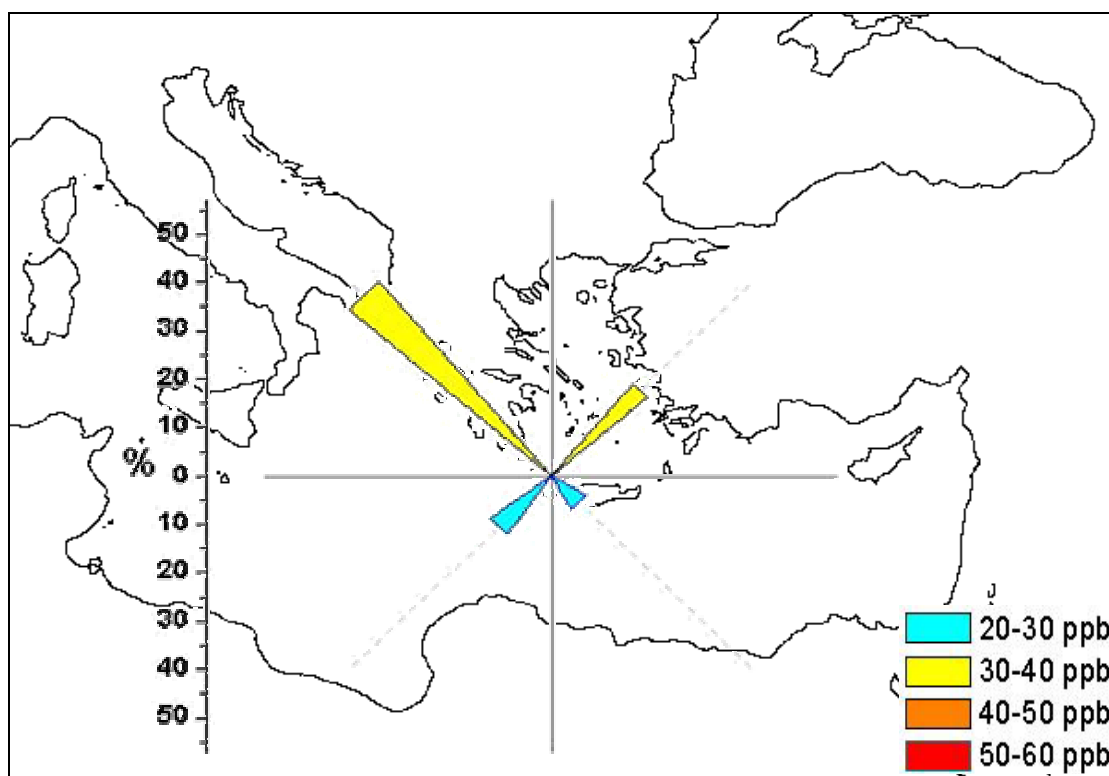
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ



Εικόνα 43: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το καλοκαίρι.

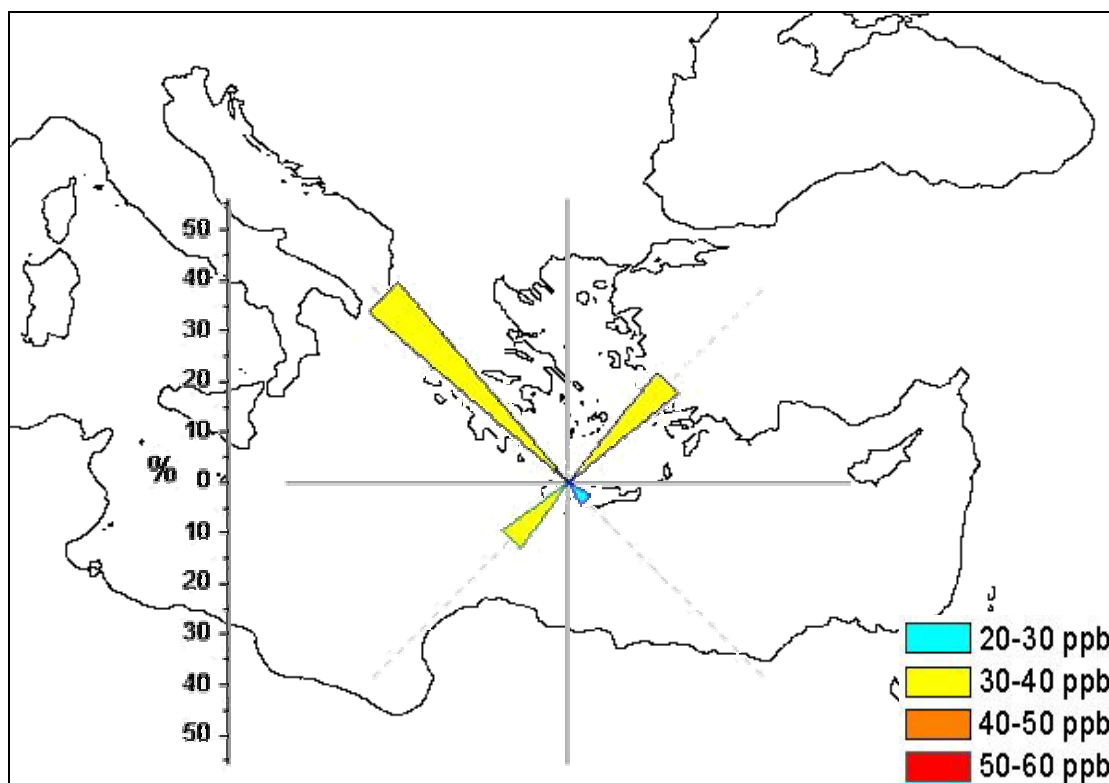
Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, το καλοκαίρι υπάρχει μία σχεδόν καθολική επικράτηση των βόρειας προέλευσης αερίων μαζών, κάτι που συμφωνεί και με τα αποτελέσματα των ροδογραμμάτων του τμήματος 8.3 της παρούσας εργασίας. Τα ποσοστά του ΒΔ και του ΒΑ τομέα είναι 55% και 42 % αντίστοιχα, ενώ του ΝΑ και του ΝΔ 0.8% και 1.5% αντίστοιχα. 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 0.050 και 0.056 ppm 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 νότιες προελεύσεις, τα επίπεδα όζοντος είναι πολύ χαμηλά. Ακολουθούν οι χάρτες για τις υπόλοιπες εποχές.

ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ



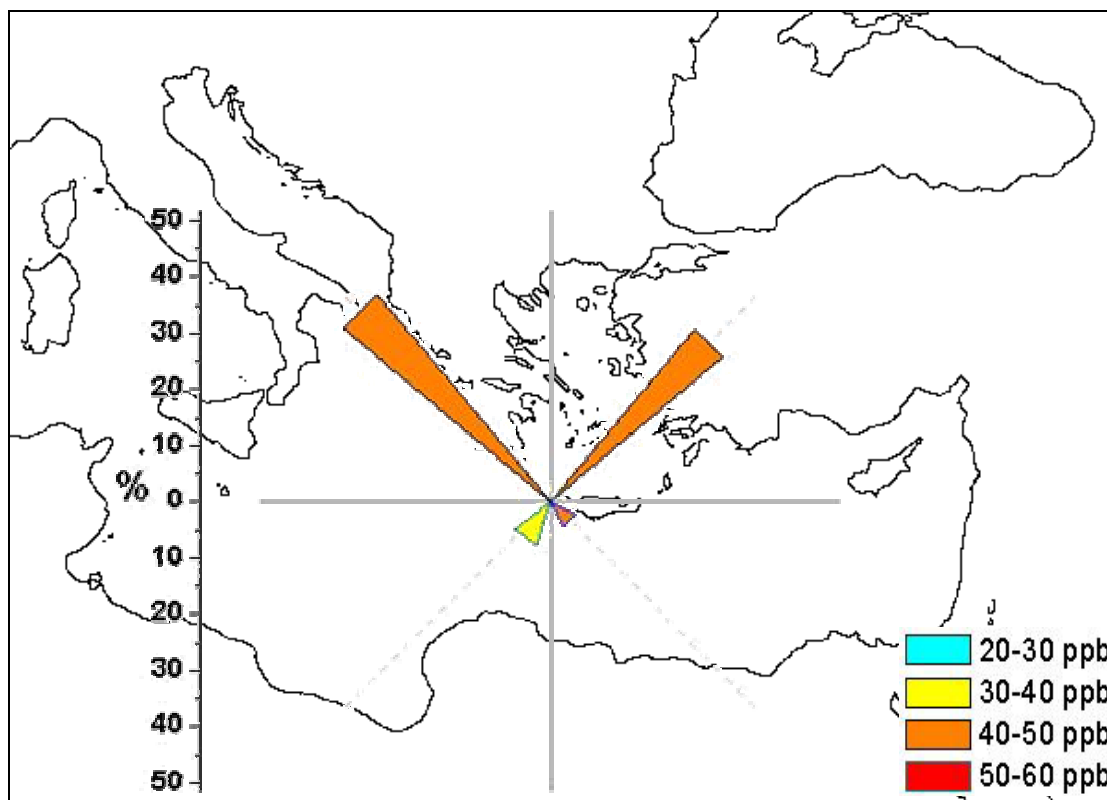
Εικόνα 44: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το Φθινόπωρο.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ



Εικόνα 45: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για το Χειμώνα.

ΑΝΟΙΞΗ



Εικόνα 46: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων όζοντος για την Άνοιξη.

Το φθινόπωρο και ο χειμώνας εμφανίζονται πιο μετριασμένα, όσον αφορά τόσο τα επίπεδα ρύπανσης όσο και την αποκλειστικότητα των βορείων προελεύσεων. Έτσι, για το φθινόπωρο οι ΒΔ και οι ΒΑ προελεύσεις εμφανίζονται με ποσοστό 53% και 25% και οι ΝΑ και ΝΔ με 8% και 15% αντίστοιχα. Τα επίπεδα όζοντος είναι για τις ΒΔ και ΒΑ 0.038 και 0.037 ppm, ενώ για τις ΝΑ και ΝΔ είναι 0.026 και 0.029 ppm αντίστοιχα. Παρατηρείται δηλαδή μείωση των γενικών επιπέδων όζοντος λόγω μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και ακόμη μεγαλύτερη μείωση όταν οι αέριες μάζες προέρχονται από τους νότιους τομείς. Για το χειμώνα τα ποσοστά και οι μέσες τιμές όζοντος είναι ΒΔ: 32%-0.033 ppm, ΒΑ: 28%-0.030 ppm, ΝΑ: 5%-0.028 ppm και ΝΔ: 16%-0.030 ppm.

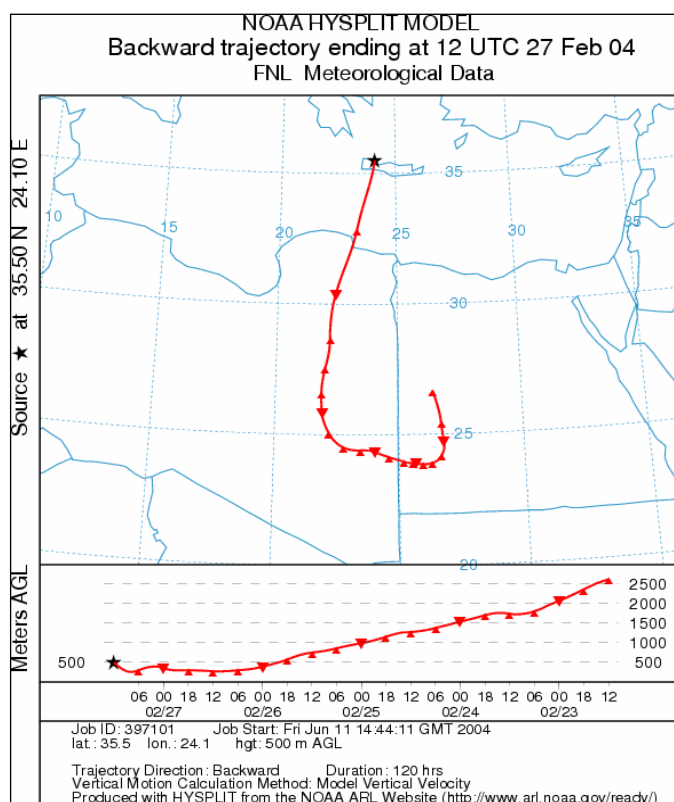
Τέλος την άνοιξη, παρατηρείται αύξηση των επιπέδων όζοντος και εκ νέου μείωση των νοτιών προελεύσεων. Τα ποσοστά και οι μέσες τιμές όζοντος είναι τα εξής: ΒΔ: 48%-0.045 ppm, ΒΑ: 40%-0.046 ppm, ΝΑ: 5%-0.041 ppm και ΝΔ: 8%-0.035 ppm.

Εν τέλει, αυτό που παρατηρούμε 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 προς την

Κρήτη. Από την άλλη τα διαγράμματα δείχνουν για άλλη μία φορά την εποχιακή διακύμανση του όζοντος. Σημαντική επίσης είναι και η παρατήρηση ότι οι βόρειες προελεύσεις συμβάλλουν κατά πολύ περισσότερο από ότι οι νότιες στη διαμόρφωση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της Κρήτης (81% περίπου).

11.2 Εξήγηση των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων

Η επίδραση της προέλευσης των αερίων μαζών στα επίπεδα σωματιδιακή ρύπανσης στην περιοχή, είναι σχεδόν αντίθετη από αυτήν για το όζον. Οι προερχόμενες από τους βόρειους τομείς αέριες μάζες δεν φέρουν υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακών ρύπων εκτός από τα θαλάσσια αεροζόλ, των οποίων όμως η επίδραση στη συνολική μάζα των σωματιδίων δεν είναι τόσο μεγάλη όσο άλλων μορφών τους. Για παράδειγμα η σκόνη, η οποία προέρχεται κυρίως από το νότο, αυξάνει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων. Παρακάτω φαίνεται μία περίπτωση ημέρας κατά την οποία η συγκέντρωση των PM_{10} ήταν ιδιαίτερα αυξημένη.

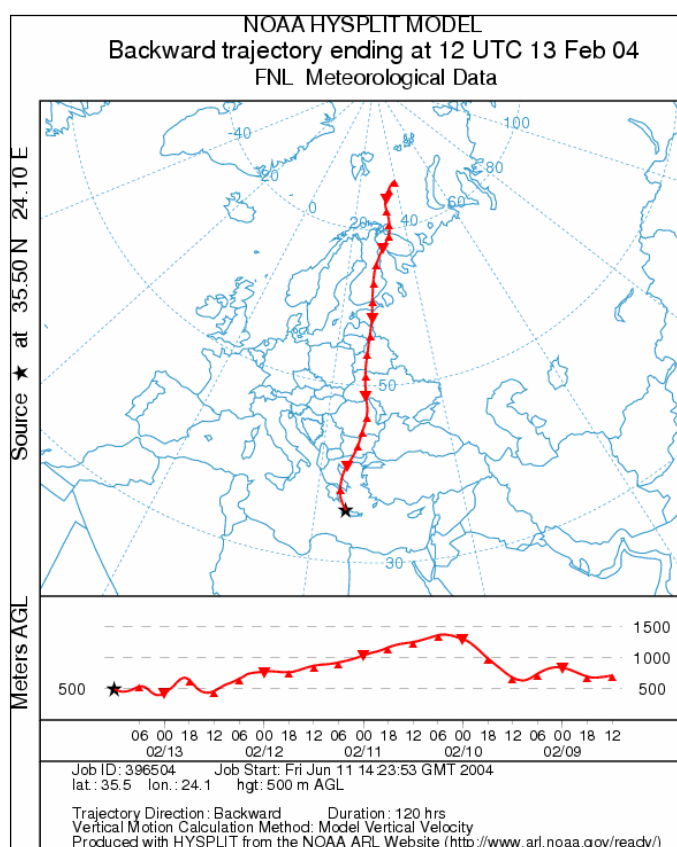


Εικόνα 47: Ρετροπορεία για τις 27/2/04.

Στις 27/2/04 λοιπόν, οπότε όπως προαναφέρθηκε σημειώθηκε ένα πολύ έντονο επεισόδιο σκόνης από της Σαχάρα (μέση συγκέντρωση PM_{10} $193.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, μέγιστη $528 \mu\text{g}/\text{m}^3$), οι

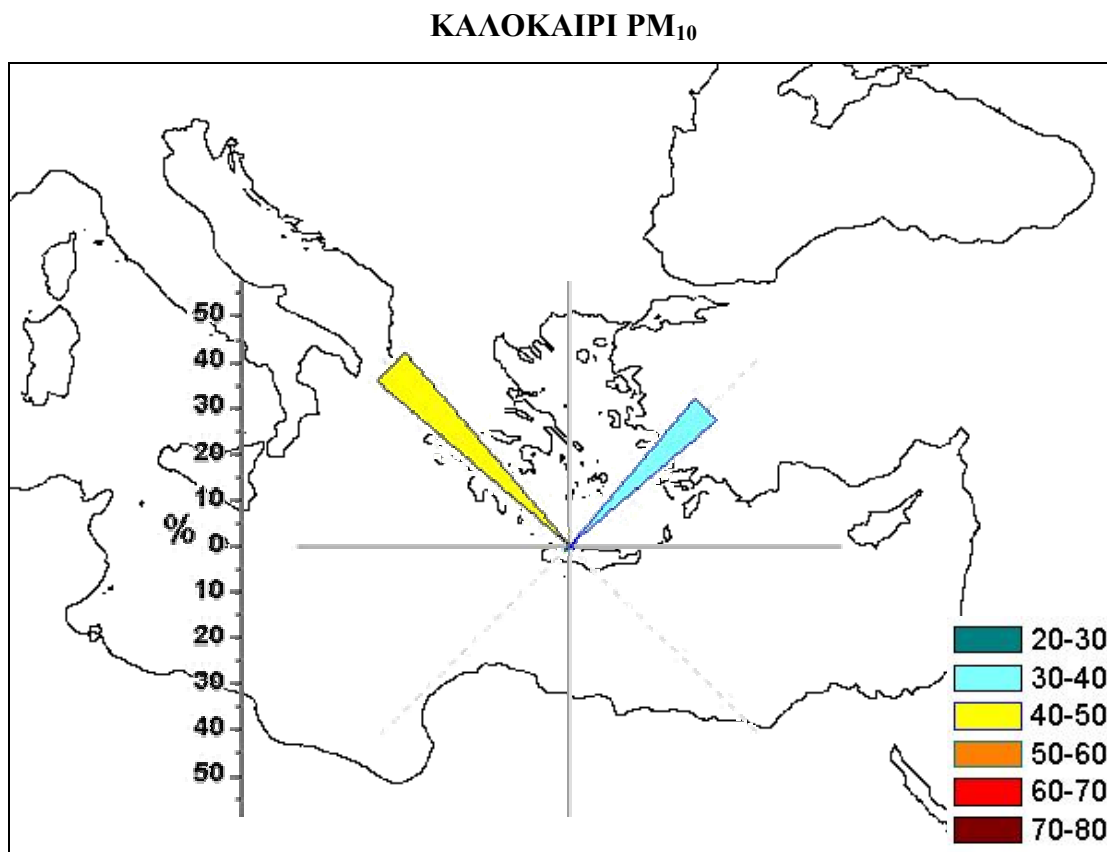
αέριες μάζες είχαν προέλευση από την «καρδιά» της Αφρικανικής ερήμου (Λιβύη και Αίγυπτος). Μάλιστα, οι αέριες μάζες βρισκόντουσαν ήδη πάνω από την Αφρικανική ήπειρο μόλις μία ημέρα πριν φτάσουν στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της Κρήτης, πράγμα που σημαίνει ότι τα σωματίδια δεν είχαν προλάβει να εναποτεθούν σε μεγάλο βαθμό στη θάλασσα. Ο άνεμος δηλαδή ήταν αρκετά ισχυρός ώστε να μεταφέρει τον αέρα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Από την άλλη μεριά, στις 13/2/04, ημέρα έντονου ψύχους και κακοκαιρίας στην περιοχή της Κρήτης (βλ. § 8.1), παρατηρήθηκε η πιο χαμηλή συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων από όλες τις ημέρες μετρήσεων (μέση $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ελάχιστη $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Την ημέρα αυτή φυσικά, παρουσιάστηκαν χαμηλές τιμές και λόγω της απόπλυσης από τη χιονόπτωση, σημαντικότερο όμως για τη διαμόρφωση της ακρότατης τιμής ήταν το γεγονός ότι η προέλευση των αερίων μαζών τη συγκεκριμένη ημέρα ήταν από περιοχές με πολύ χαμηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης.



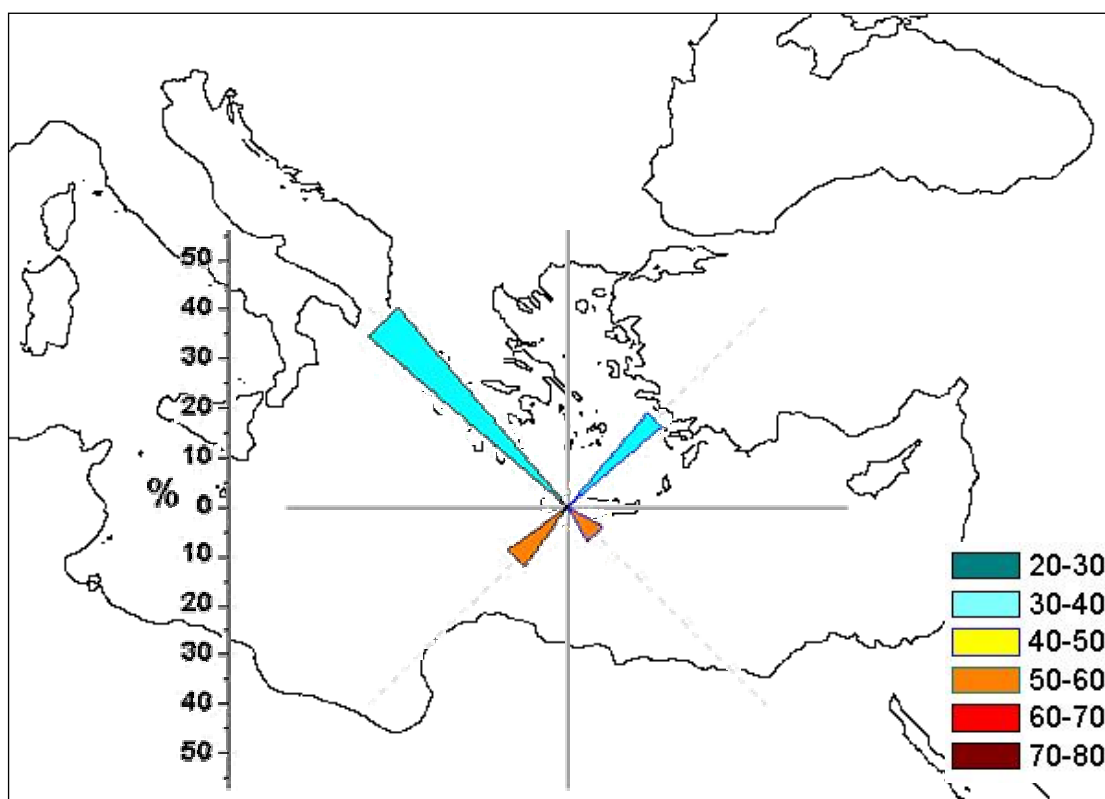
Εικόνα 48: Ρетроπορεία για τις 13/2/04.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν οι στατιστικοί χάρτες προέλευσης των αερίων μαζών και των επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης όπως έγινε και για την περίπτωση του όζοντος. Ο χάρτης που προέκυψε για το καλοκαίρι φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 49: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM₁₀ για το Καλοκαίρι.

Όπως προαναφέρθηκε, η συχνότητα εμφάνισης των ΝΑ-ΝΔ τομέων στην προέλευση των αερίων μαζών το καλοκαίρι είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να έχουμε ικανοποιητική παράσταση στο χάρτη (οι συχνότητες έχουν αναφερθεί στην § 11.1). Έτσι λοιπόν παρατηρείται ότι γενικά τα επίπεδα ρύπανσης από σωματίδια τη συγκεκριμένη εποχή είναι χαμηλά με μέσες τιμές $42.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $35.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για ΒΔ και ΒΑ προελεύσεις αντίστοιχα. Το Φθινόπωρο όπως φαίνεται στην εικόνα 50 τα επίπεδα σωματιδίων με προέλευση από τους βόρειους τομείς είναι ακόμα χαμηλότερα (ΒΔ: $34.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΒΑ: $31.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενισχύεται όμως η συχνότητα των νότιων τομέων, με εμφάνιση υψηλότερων συγκεντρώσεων PM₁₀ (ΝΑ: $55.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΔ: $55.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

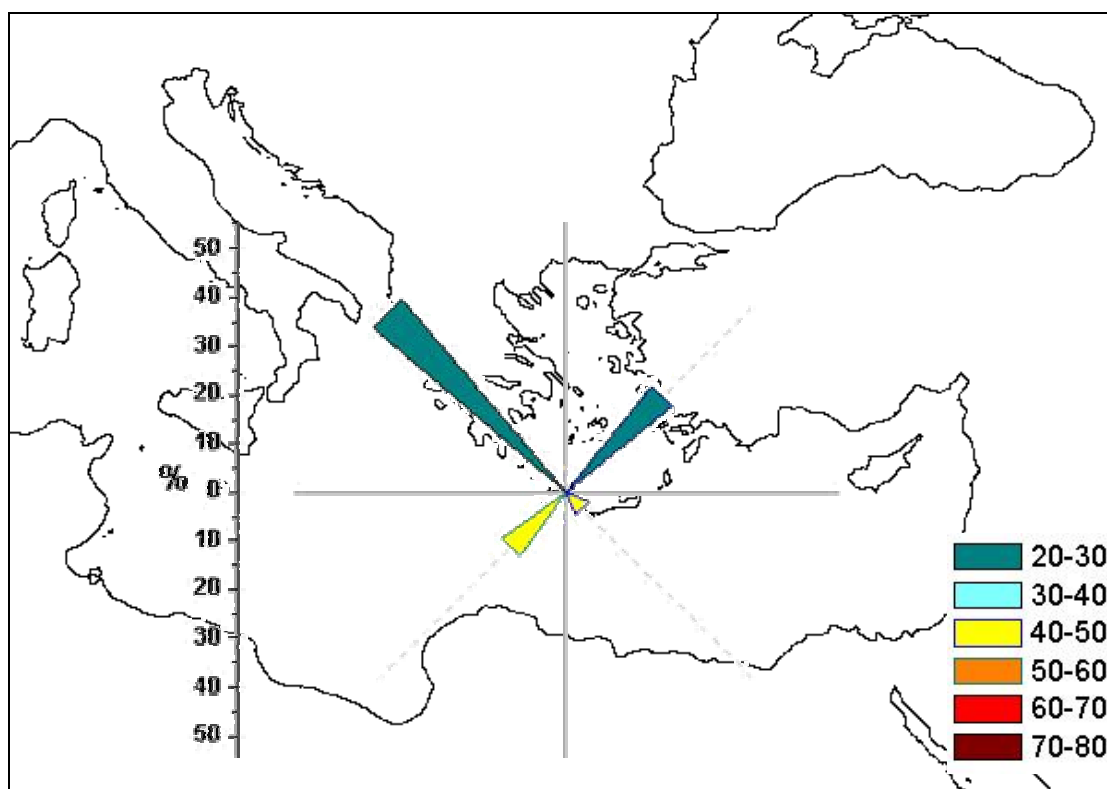
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ PM_{10} 

Εικόνα 50: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για το Φθινόπωρο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες για το χειμώνα και την άνοιξη. Οι δύο αυτοί χάρτες είναι αρκετά διαφορετικοί μεταξύ τους όσον αφορά τα επίπεδα ρύπανσης. Συγκεκριμένα, το χειμώνα οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων είναι χαμηλές για τις βόρειες προελεύσεις (ΒΔ: $23.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΒΑ: $25.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και σχετικά υψηλότερες για τις νότιες (ΝΑ: $43.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΔ: $42.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

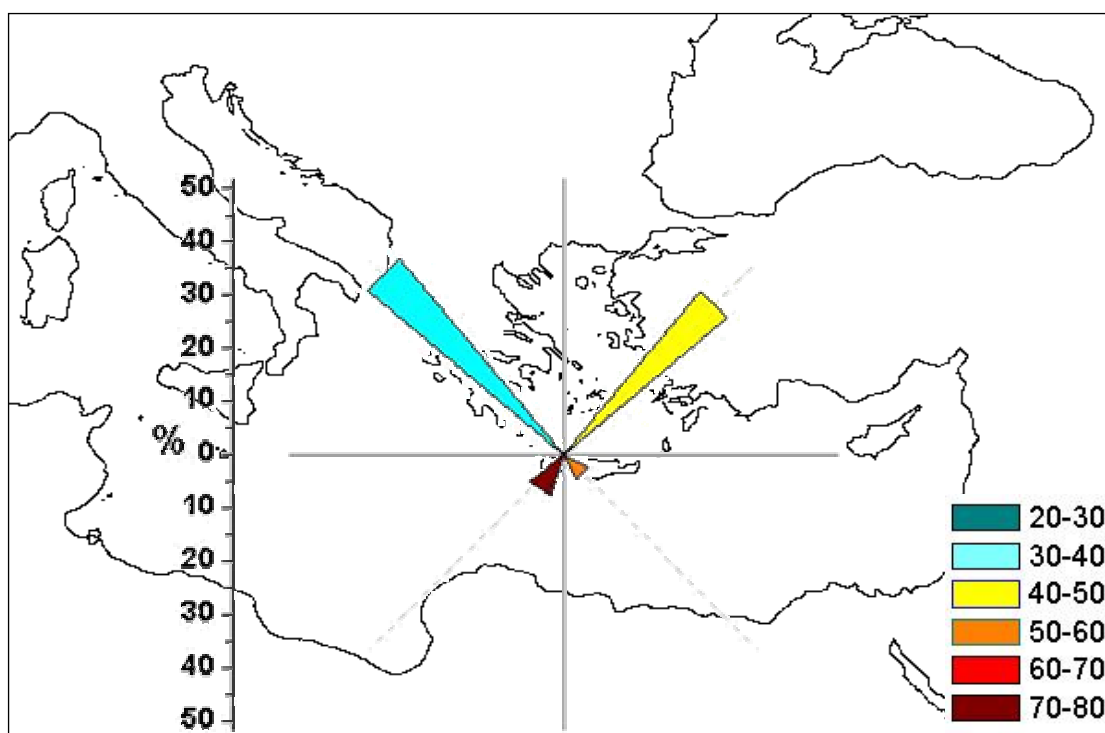
Την άνοιξη όμως, η αύξηση των επιπέδων ρύπανσης από σωματίδια είναι αρκετά μεγάλη σε όλους τους τομείς προέλευσης. Έτσι, εκτός από τους νότιους τομείς-ειδικά το ΝΔ-για τους οποίους οι τιμές είναι πολύ υψηλές (ΝΑ: $55.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΝΔ: $70.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και για τους βόρειους έχουμε αρκετά υψηλές τιμές (ΒΔ: $31.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ΒΑ: $48.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Η αύξηση αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στη μείωση της υγρής εναπόθεσης των σωματιδίων από την άνοιξη στο χειμώνα, λόγω περιορισμού των βροχοπτώσεων.

ΧΕΙΜΩΝΑΣ PM_{10}



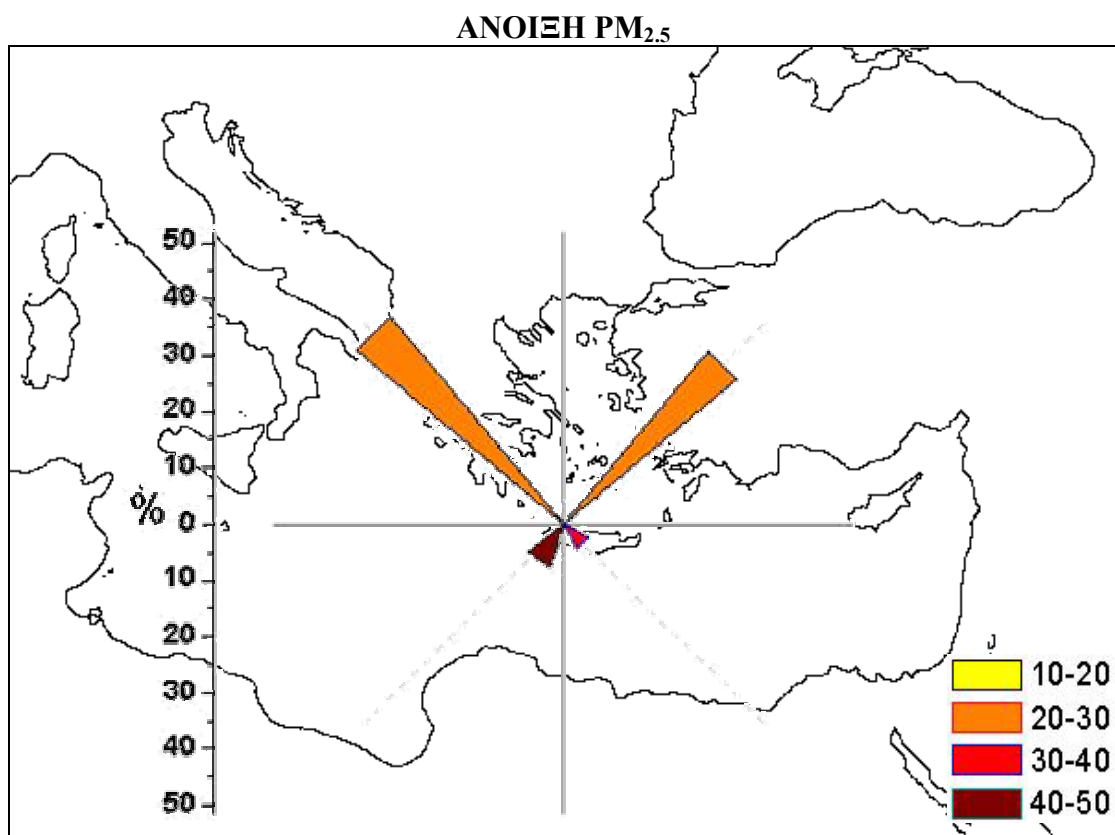
Εικόνα 51: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για το Χειμώνα.

ΑΝΟΙΞΗ PM_{10}



Εικόνα 52: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων PM_{10} για την Άνοιξη.

Τέλος, φτιάχτηκε αντίστοιχος χάρτης και για τις τιμές των $PM_{2.5}$ οι οποίες αφορούν την άνοιξη του 2004.



Εικόνα 53: Χάρτης προέλευσης αερίων μαζών και επιπέδων $PM_{2.5}$ την άνοιξη του 2004

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τα $PM_{2.5}$ είναι περίπου ίδια με αυτά που αφορούν τα PM_{10} . Έτσι, οι νότιοι τομείς παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες μέσες τιμές συγκεντρώσεων (ΝΑ: $32.3 \mu g/m^3$, ΝΔ: $40.1 \mu g/m^3$), ενώ δεν είναι χαμηλές και οι συγκεντρώσεις για το βόρειο τομέα (ΒΔ: $24.0 \mu g/m^3$, ΒΑ: $21.6 \mu g/m^3$).

12. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

12.1 Γραμμικές συσχετίσεις

Το ζήτημα της συσχέτισης των παραμέτρων ρύπανσης με τις μετεωρολογικές παραμέτρους είναι ένα ζήτημα με δύσκολη διευθέτηση. Μάλιστα σε μία περιοχή με τόσο έντονη δυναμική στην ατμόσφαιρά της και τόσο πολλές παραμέτρους να την επηρεάζουν, θεωρείται δύσκολη η έστω και ικανοποιητική συσχέτιση των δεδομένων, όταν μάλιστα αυτά δεν είναι πάρα πολλά σε αριθμό. Γι' αυτό και στην παρούσα ανάλυση δεν θεωρείται σαν αυτοσκοπός η εξεύρεση πολύ ικανοποιητικών συσχετίσεων, αλλά η διερεύνηση της παρουσίας τυχούσας μικρής η μεγαλύτερης συσχέτισης, ή ακόμα και της απουσίας της.

Σε πρώτη φάση, γίνεται συσχέτιση των δεδομένων με τη συνάρτηση συσχέτισης του προγράμματος Excel (corel). Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όλες οι ωριαίες τιμές. Η συνάρτηση που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τον υπολογισμό του βαθμού συσχέτισης είναι η ακόλουθη (σχέσεις 11-13):

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x * \sigma_y} \quad (11)$$

$$\text{όπου} \quad -1 \leq \rho_{xy} \leq 1 \quad (12)$$

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (13)$$

Τελικά, οι συσχετίσεις που προέκυψαν είναι αυτές που φαίνονται στο πίνακα 2. Από τα δεδομένα, δεν χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της κατεύθυνσης του ανέμου, διότι η συσχέτιση των επιπέδων ρύπανσης με την προέλευση των αερίων μαζών έγινε καλύτερα με τη βοήθεια των ρετροπορειών (backward trajectories).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΒΑΘΜΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ
Θερμοκρασία - Υγρασία	-0.392622243
Θερμοκρασία - Ταχύτητα	-0.139101627
PM - Θερμοκρασία	0.33430855
Όζον - Θερμοκρασία	0.343074009
Υγρασία - Ταχύτητα	0.029093169
PM - Υγρασία	-0.153483972
Όζον - Υγρασία	-0.269125955
PM - Ταχύτητα	-0.04770755
Όζον - Ταχύτητα	0.035578114
Όζον - PM	-0.045696855

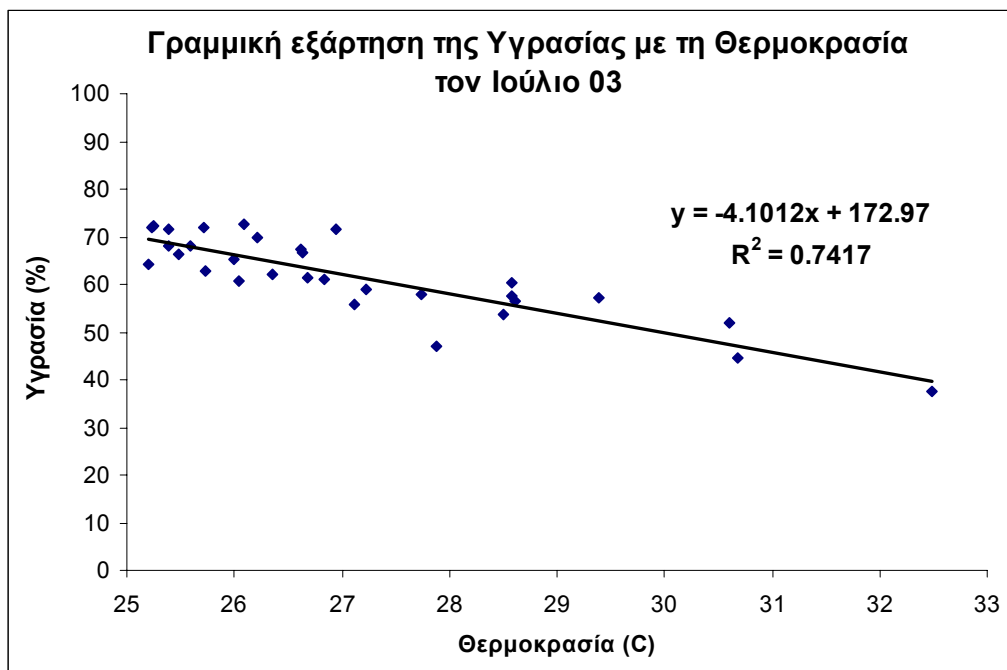
Πίνακας 2: Βαθμοί συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων (όλες οι ωριαίες τιμές)

Αν θεωρήσουμε σαν υποτυπώδη συσχέτιση, αυτή για την οποία ο βαθμός προκύπτει τουλάχιστον 0.1, μπορούμε να πούμε ότι η υγρασία με τη θερμοκρασία, η θερμοκρασία με την ταχύτητα του ανέμου, τα αιωρούμενα σωματίδια με την υγρασία και το όζον με την υγρασία, συσχετίζονται αρνητικά. Από την άλλη, θετική συσχέτιση παρουσιάζουν τα αιωρούμενα σωματίδια με τη θερμοκρασία, καθώς και το όζον με τη θερμοκρασία.

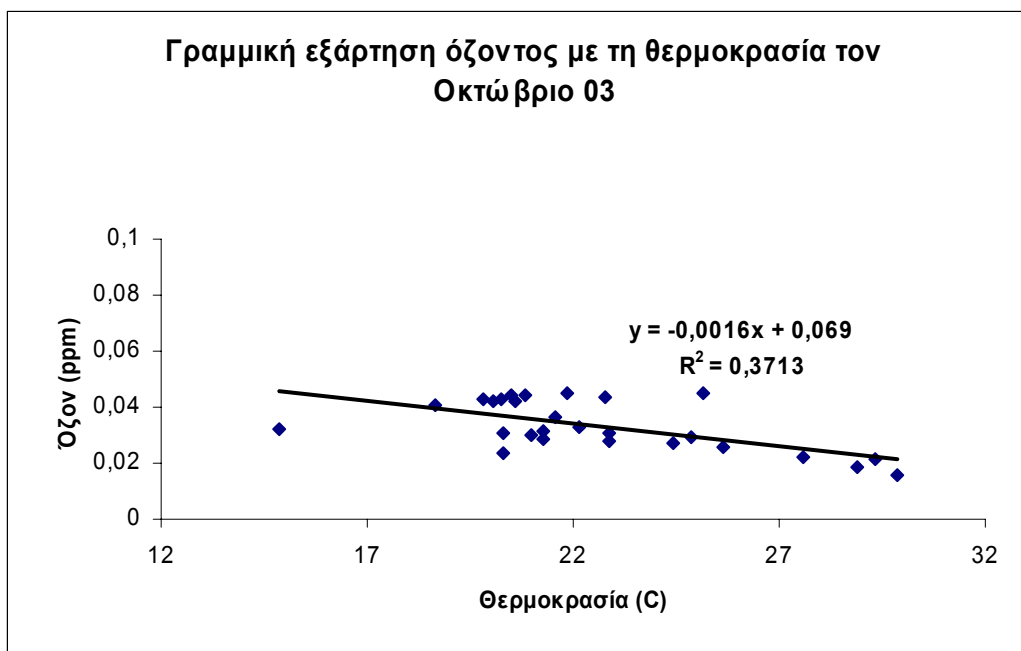
Στη συνέχεια επιχειρήθηκε η μελέτη των γραμμικών συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων, με τη βοήθεια των γραφικών παραστάσεων και την προσθήκη γραμμών τάσης με επίδειξη του R^2 για αυτές. Τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν με τη χρήση μέσων ημερήσιων τιμών των παραμέτρων και για ένα μήνα κάθε φορά. Από το σύνολο των διαγραμμάτων για όλους τους μήνες και για όλες τις παραμέτρους, επιλέχθηκαν για παρουσίαση οι παράμετροι που παρουσιάζουν κάποια σημαντική φυσική και στατιστική συσχέτιση και οι μήνες για τους οποίους το R^2 είναι μέγιστο.

Η επιλεκτική αυτή παρουσίαση γραμμικών συσχετίσεων περιορίζει τη γενικότητα των συμπερασμάτων. Είναι χρήσιμη όμως, ώστε να διαπιστωθεί ότι οι παράμετροι που γνωρίζουμε από την εμπειρία μας ότι παρουσιάζουν κάποια συσχέτιση, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να παρουσιάσουν συµµεταβολή που περιγράφεται γραμμικά.

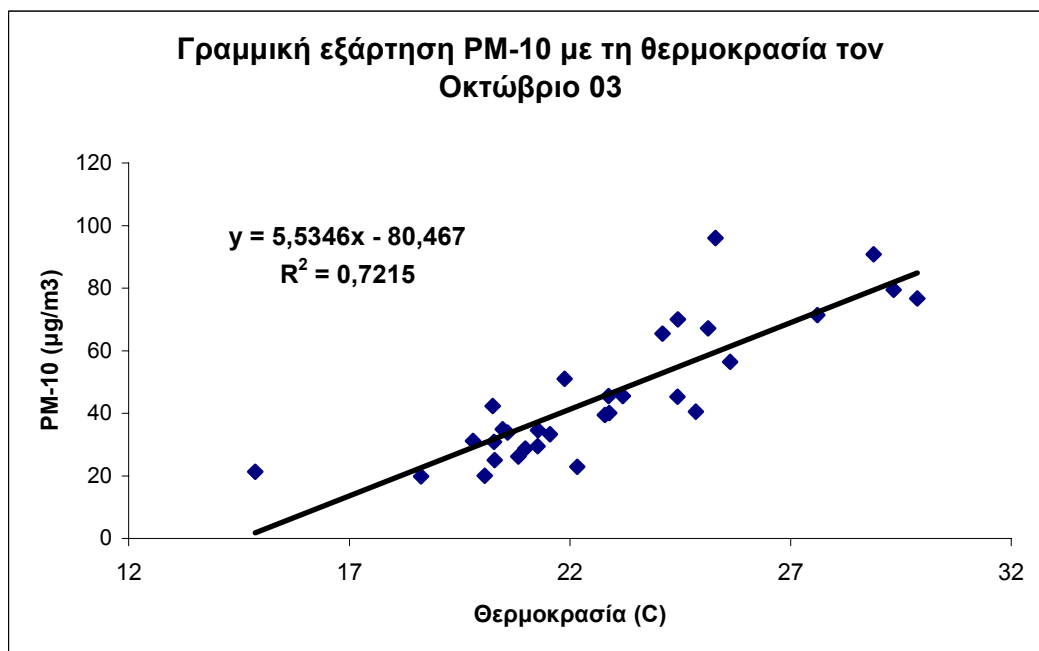
Στις εικόνες 54-58 φαίνονται οι γραμμικές συσχετίσεις.



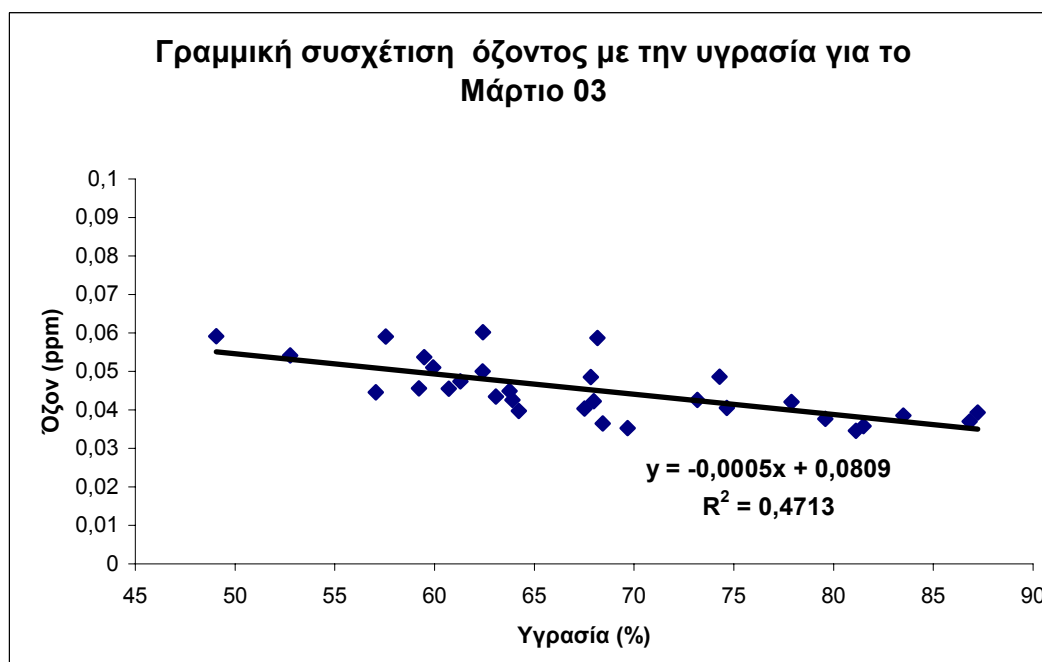
Εικόνα 54: Γραμμική εξάρτηση υγρασίας με τη θερμοκρασία τον Ιούλιο 2003.



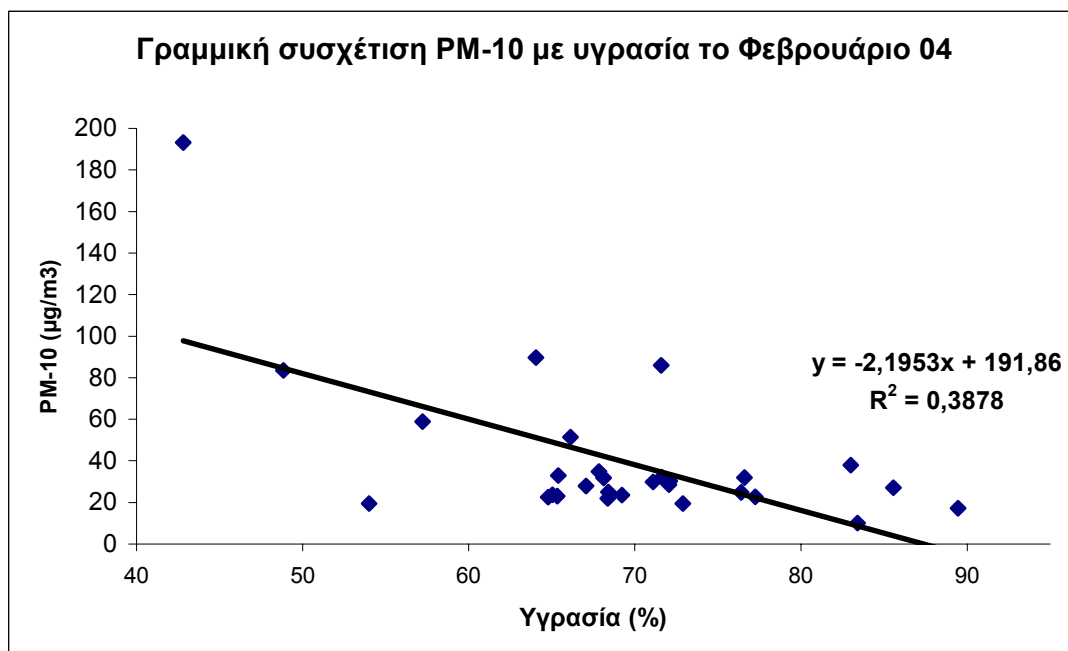
Εικόνα 55: Γραμμική εξάρτηση όζοντος με τη θερμοκρασία τον Οκτώβριο 2003.



Εικόνα 56: Γραμμική συσχέτιση PM₁₀ και θερμοκρασίας τον Οκτώβριο 2003.



Εικόνα 57: Γραμμική συσχέτιση όζοντος και υγρασίας το Μάρτιο του 2003.



Εικόνα 58: Γραμμική συσχέτιση PM-10 με την υγρασία τον 2/04.

Μόνο στα διαγράμματα των εικόνων 54 και 56 εμφανίζεται τέτοια συσχέτιση (αρκούντως μεγάλο R^2) ώστε να θεωρηθούν οι γραμμικές σχέσεις αξιόπιστες για την περιγραφή της συµμεταβολής των παραµέτρων. Παρόλα αυτά, µπορούµε να πούµε ότι σε όλες τις περιπτώσεις µπορεί να διαπιστωθεί µία τάση εξάρτησης των µεγεθών που επιπλέον µπορεί να εξηγηθεί και θεωρητικά. Έτσι, η θερμοκρασία με την υγρασία παρουσιάζουν µία αρνητική συσχέτιση, διαπίστωση λογική. Η υγρασία προκύπτει φθίνουσα συνάρτηση της θερμοκρασίας, αφού τις θερμές ηµέρες η ατµόσφαιρα είναι ξηρή, από τη στιγμή που είναι πιο δύσκολο να κορεστεί από υδρατμούς (Σαχσαµάνογλου, 1998). Το όζον µειώνεται µε τη θερμοκρασία, πράγµα που εξηγείται µε βάση το γεγονός ότι τόσο οι ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας όσο και τα υψηλότερα επίπεδα όζοντος παρατηρούνται σε ηµέρες µε βόρεια πνοή ανέµου (βλ. § 11.1) οπότε και χαμηλότερες θερμοκρασίες (βλ. § 9.1). Τα PM_{10} έχουν θετική συσχέτιση µε τη θερμοκρασία, αφού επίσης τα µέγιστά τους προκύπτουν για τις θερμές ηµέρες του µήνα.

Επίσης τα PM_{10} συσχετίζονται αρνητικά µε την υγρασία αφού τις ηµέρες που οι συγκεντρώσεις των PM_{10} είναι αυξηµένες (θερµές κυρίως µέρες), η υγρασία παρουσιάζει κάµψη ως προς τις τιμές της και αντίστροφα. Τέλος, επειδή οι τιμές του όζοντος είναι γενικά αυξηµένες τις ηµέρες µε βόρειους ανέµους και άρα χαμηλότερες θερμοκρασίες, και επειδή η θερμοκρασία µε την υγρασία συσχετίζονται αρνητικά, παρουσιάζεται αρνητική συσχέτιση όζοντος και υγρασίας.

12.2 Ανάλυση MDS (Non-metric Multi Dimensional Scaling)

Η ανάλυση MDS χρησιμοποιείται για το σχηματισμό ομάδων μεταξύ δειγμάτων τα οποία παρουσιάζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά ως προς τις μεταβλητές οι οποίες τα περιγράφουν. Εξετάζεται δηλαδή ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ των δειγμάτων, λαμβάνοντας υπόψη όχι μία μεταβλητή κάθε φορά, αλλά όλες τις μεταβλητές για τις οποίες έχουμε τιμές. Η χρήση της είναι εκτενής σε επιστήμες όπως η βιολογία-οικολογία, αλλά στη συνέχεια θα φανεί πως μπορεί να δώσει παραστατικά τις συσχετίσεις ανάμεσα στα δεδομένα ρύπανσης και μετεωρολογίας.

Στην περίπτωση μας ως δείγματα χρησιμοποιήθηκαν οι διαφορετικές ημερομηνίες από την περίοδο 15/4/03-10/3/04 για τις οποίες υπάρχουν μετρήσεις για όλες τις παραμέτρους. Απορρίφθηκαν δηλαδή οι ημερομηνίες για τις οποίες έλειπε κάποια μέτρηση. Για την ανάλυσή τους ως προς την ομοιότητα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PRIMER v5 (βλ. Clarke, 2001). Τα δεδομένα τοποθετήθηκαν σε απλό δισδιάστατο πίνακα από τον οποίο κατασκευάστηκε η μήτρα ομοιότητας χρησιμοποιώντας σαν δείκτη ομοιότητας (ή πιο σωστά ανομοιότητας) το δείκτη Bray-Curtis. Ο δείκτης ανομοιότητας περιγράφεται μαθηματικά από τη σχέση (14):

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} + x_{ik})} \quad (14)$$

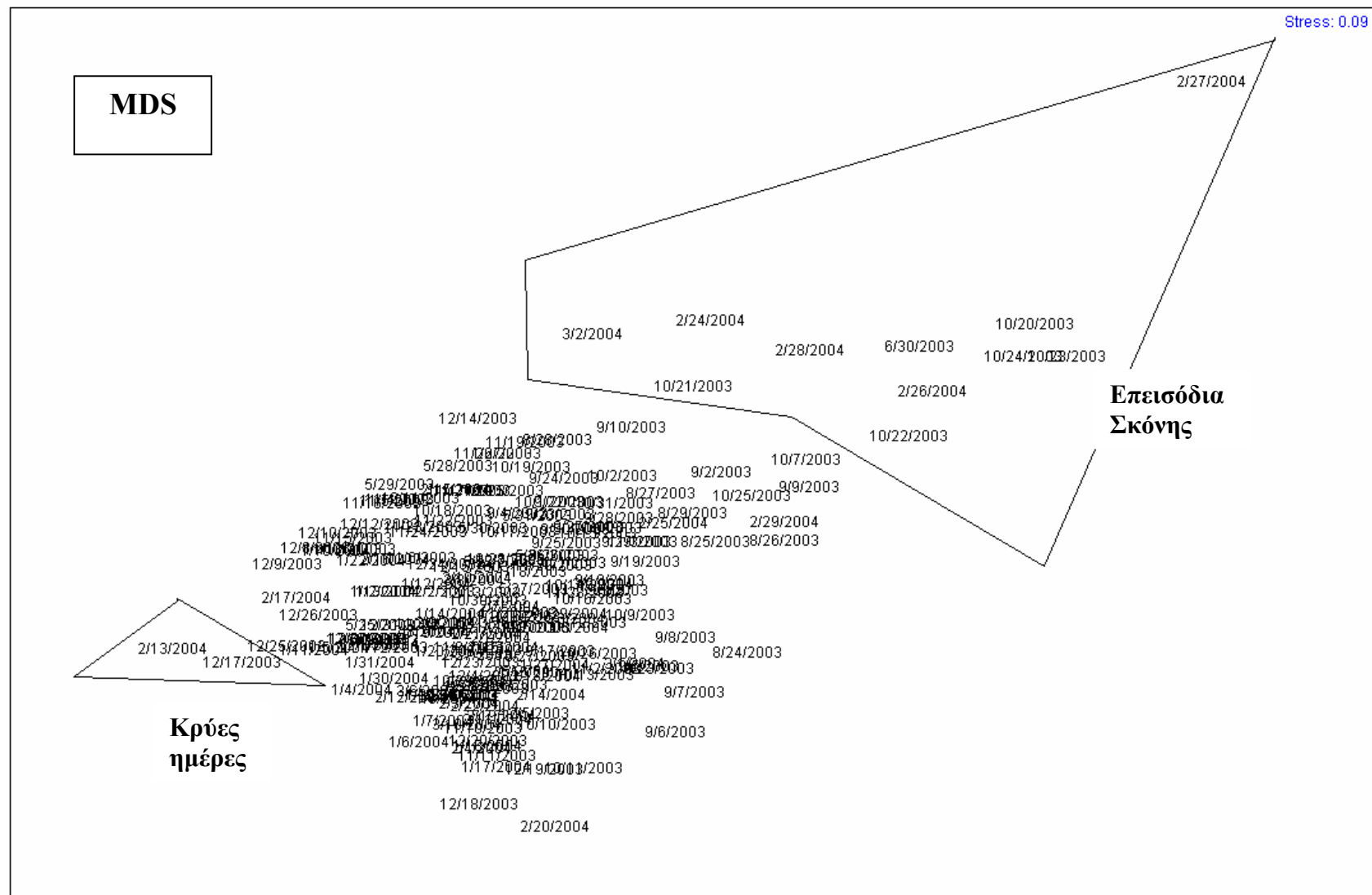
Το i είναι οι διαφορετικές παράμετροι του set δεδομένων μας. Δηλαδή στην περίπτωση μας είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η κατεύθυνση του ανέμου, η συγκέντρωση του όζοντος και η συγκέντρωση των PM_{10} . Η κατεύθυνση του ανέμου δεν συμπεριλήφθηκε ως τιμή σε μοίρες, αφού δεν έχουμε κάποια γραμμική σχέση μεταξύ των μοιρών και του μεγέθους το οποίο περιγράφεται κάτι το οποίο θα αλλοιώσει την πιστότητα των αποτελεσμάτων. Έγινε για αυτό το λόγο αντικατάστασή τους με τις τιμές 1 και 2, όπου το 1 αντιστοιχεί σε βόρειες διευθύνσεις ανέμου (270° - 90°) και το 2 σε νότιες (90° - 270°).

Οι δείκτες j και k αντιπροσωπεύουν τα διαφορετικά δείγματα, δηλαδή τις διαφορετικές ημέρες. Στον αριθμητή λοιπόν, υπολογίζεται, το άθροισμα των απολύτων τιμών των διαφορών μεταξύ όλων των ζευγών μέσων ημερήσιων τιμών για κάθε παράμετρο. Ο αριθμός αυτός (δείκτης Manhattan), κανονικοποιείται και προκύπτει ο δείκτης ανομοιότητας Bray-Curtis. Ο δείκτης μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι 1. Για $B=0$, τα δείγματα είναι όμοια και για $B=1$ είναι ανόμοια (βλ. & Krebs, 1999).

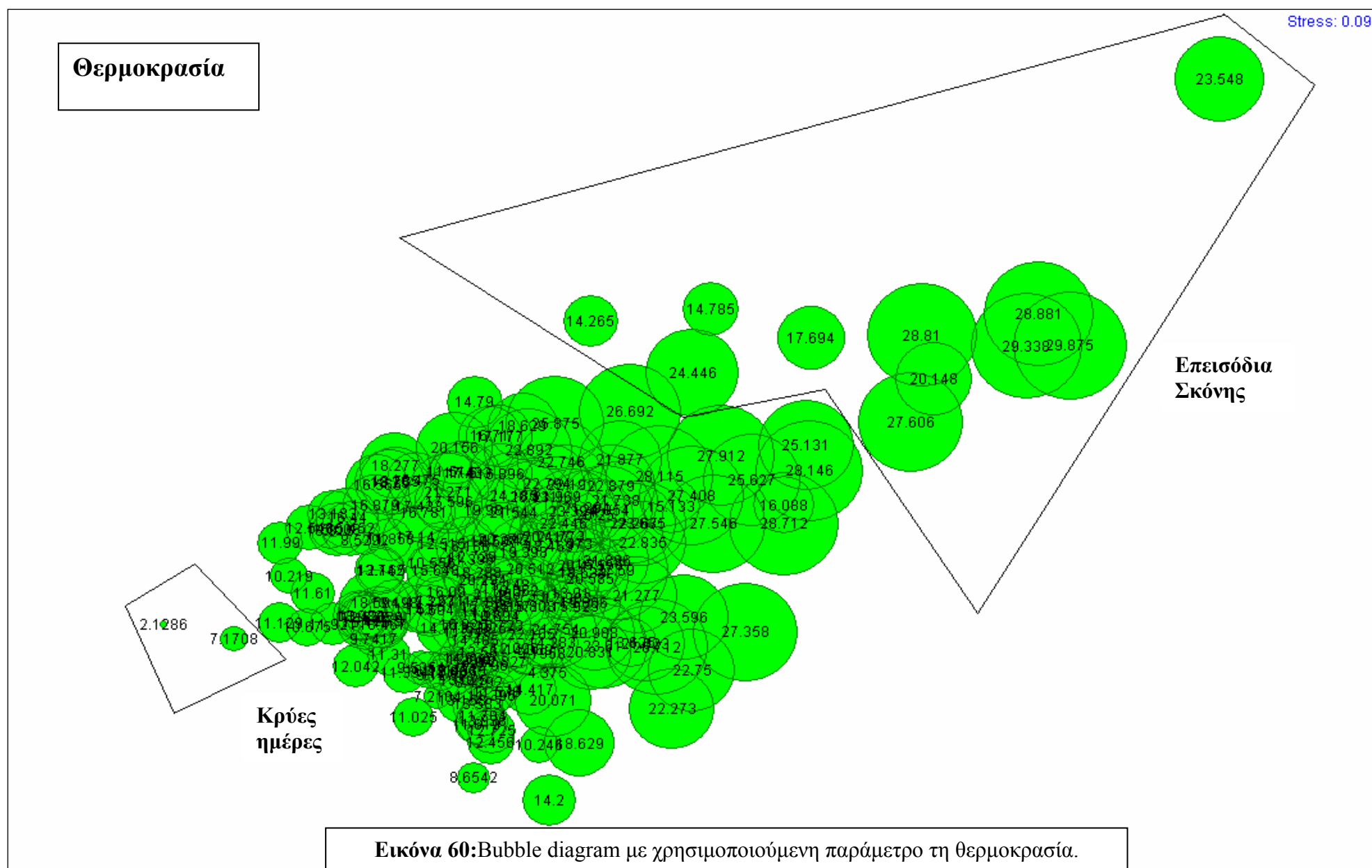
Στη συνέχεια, στη μήτρα ομοιότητας εφαρμόζεται ο αλγόριθμος της ανάλυσης MDS (για πληροφορίες σχετικά με τον αλγόριθμο, βλ. Παράρτημα 2 & Clarke, 1994). Με τη χρήση αυτής της ανάλυσης, προκύπτει το γράφημα MDS. Σε αυτό, φαίνονται οι διάφορες ημέρες μετρήσεων τοποθετημένες σε διάφορα σημεία στις δύο διαστάσεις, ανάλογα με την ομοιότητά τους. Οι ημέρες οι οποίες είναι συγκεντρωμένες και δημιουργούν μία ομάδα, θα είναι ημέρες με κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Από την άλλη, οι ημέρες που βρίσκονται αποσπασμένες από όλες τις υπόλοιπες, θα είναι ημέρες με πολύ ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

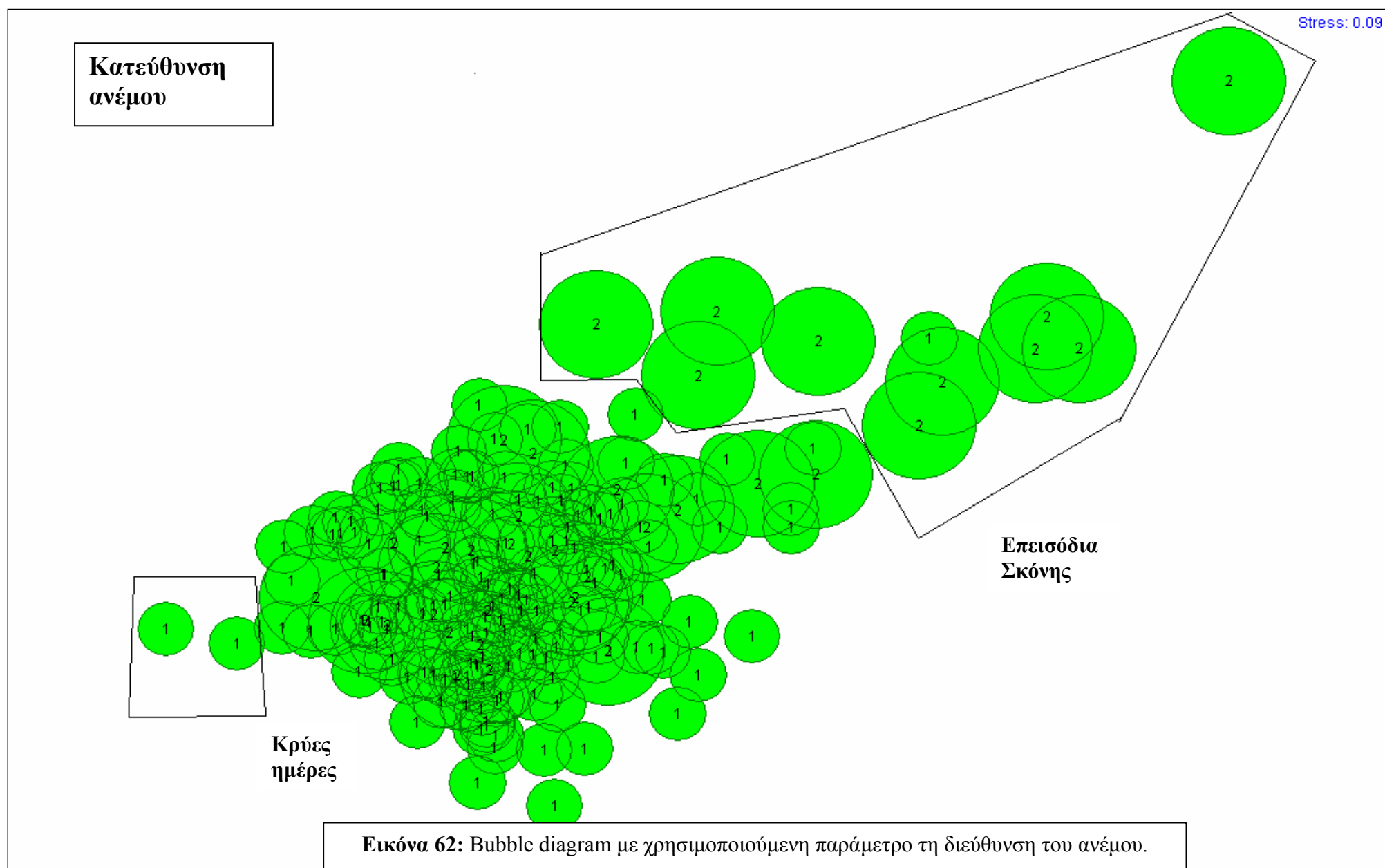
Το γράφημα MDS για την περίπτωση των μετρήσεων του Ακρωτηρίου φαίνεται στη εικόνα 59 και θα αναλυθεί στη συνέχεια. Το stress του διαγράμματος, το οποίο μας δίνει την αναντιστοιχία ανάμεσα στον πίνακα ομοιοτήτων και στο δισδιάστατο διάγραμμα, είναι 0.09, τιμή που χαρακτηρίζει την απεικόνιση ως άριστη.

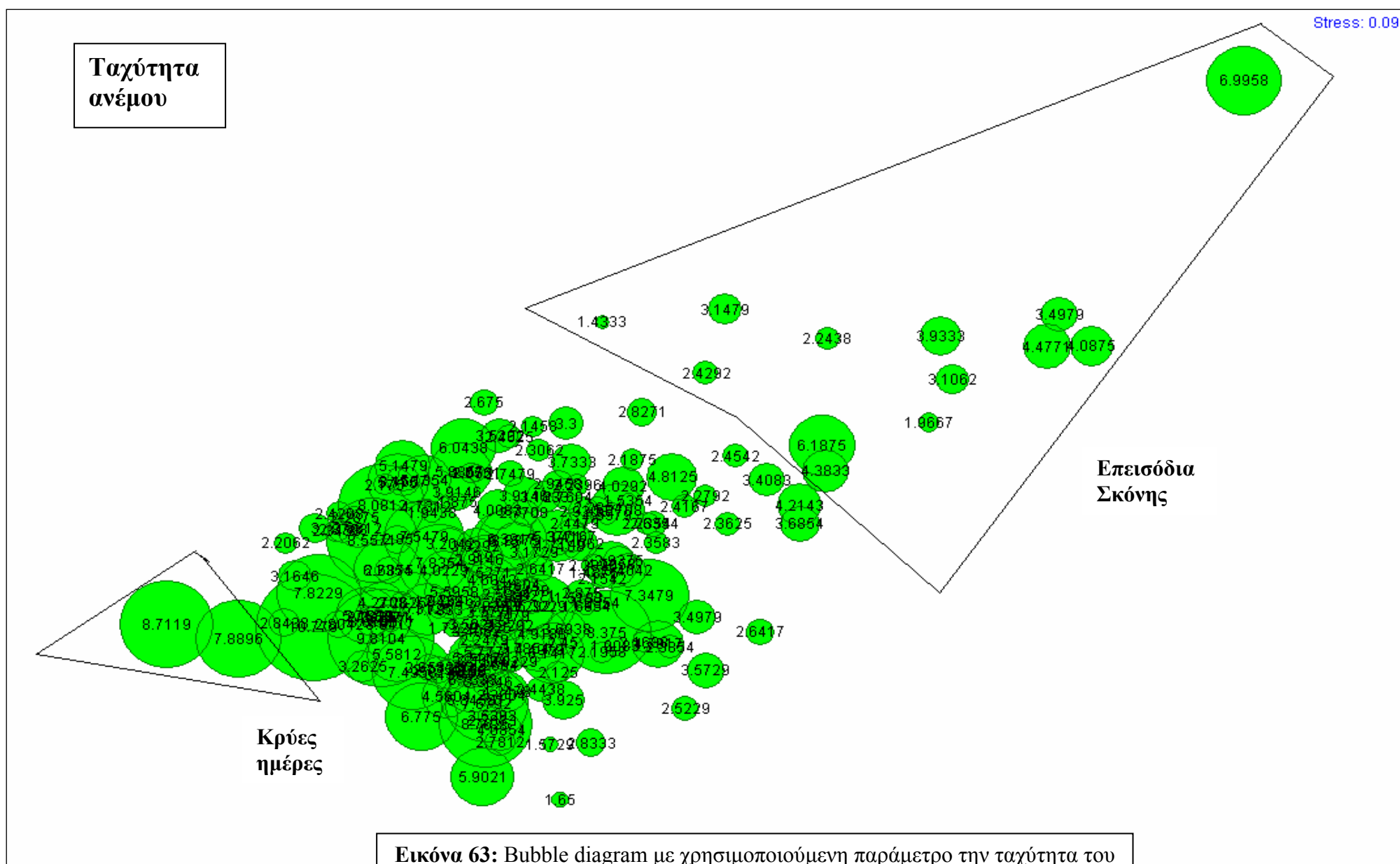
Εν συνεχεία δημιουργήθηκαν και τα διαγράμματα των εικόνων 60-65, τα οποία ονομάζονται bubble diagrams (διαγράμματα φυσαλίδων), όπου φαίνονται τα δείγματα με τη διάταξη που φαινόταν στο απλό MDS, με επιπλέον κάποιες φυσαλίδες μεγέθους ανάλογου κάποιας παραμέτρου από αυτές που έχουν μετρηθεί σε κάθε περίπτωση. Μπορούμε επομένως να δούμε εκτός από την ομοιότητα των ημερών μετρήσεων κάθε φορά, επιπλέον και τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων που διαμορφώνουν αυτήν την ομοιότητα.



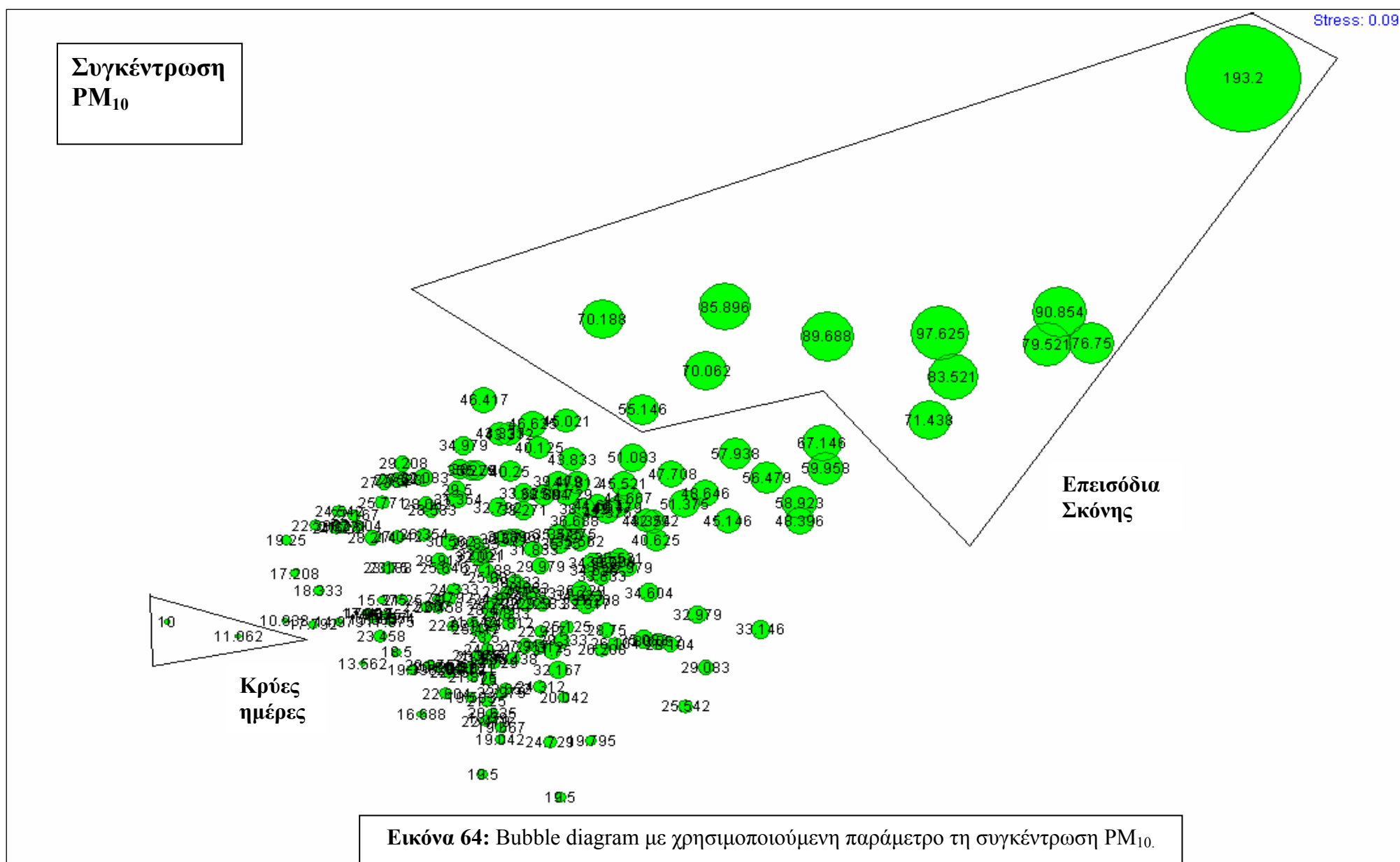
Εικόνα 59: MDS διάγραμμα.

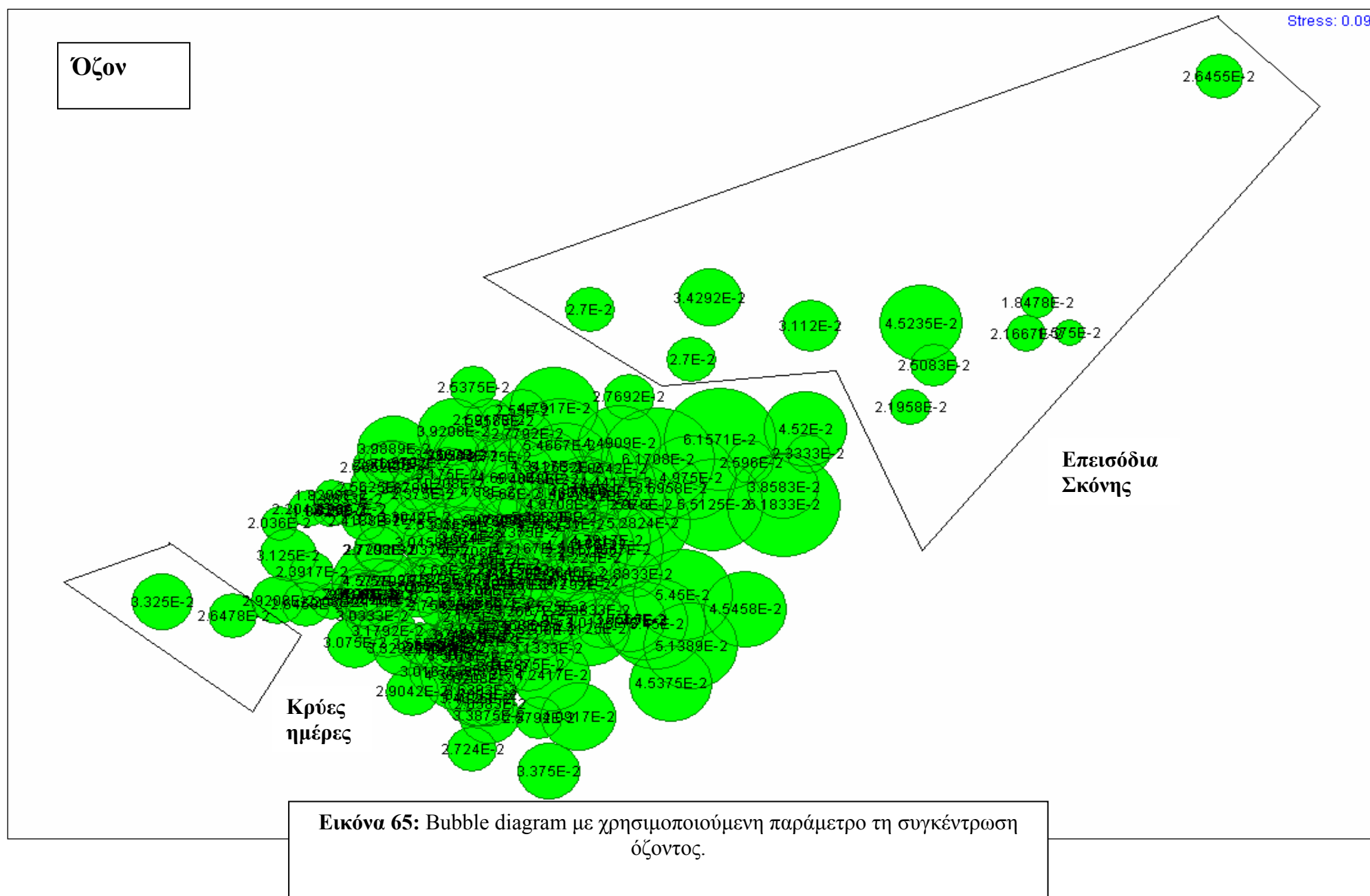






Εικόνα 63: Bubble diagram με χρησιμοποιούμενη παράμετρο την ταχύτητα του ανέμου.





Αυτό που μπορεί να διαπιστωθεί από όλες τις MDS απεικονίσεις είναι ότι η μεγάλη πλειοψηφία των δειγμάτων (ημερών) βρίσκονται συγκεντρωμένες σε μία συμπαγή ομάδα στο κέντρο των διαγραμμάτων. Τα δείγματα αυτά, αντιπροσωπεύουν τις ημέρες εκείνες οι οποίες δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη διαφοροποίηση μεταξύ τους, γιατί οι τιμές των παραμέτρων μέσα σε αυτές ήταν φυσιολογικές. Οι ημέρες οι οποίες ξεχωρίζουν βρίσκονται αποσπασμένες από το κύριο σύνολο στα δύο άκρα του διαγράμματος. Κάποιες από αυτές διαφοροποιούνται περισσότερο και κάποιες λιγότερο.

Δεξιά του πλήθους των μετρήσεων και προς τα επάνω, βρίσκονται διάφορες ημερομηνίες κατά τις οποίες όπως έχουμε προαναφέρει, εμφανίστηκαν επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα (20-25 /10, 24-28/2). Τις ημέρες αυτές λοιπόν οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν αρκετά διαφοροποιημένες από το σύνολο των μετρήσεων, ώστε στο MDS διάγραμμα να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τις υπόλοιπες.

Πράγματι, με τη βοήθεια των bubble diagrams, παρατηρείται ότι: α) κατά τη διάρκεια των περισσότερων από αυτές τις ημέρες σημειώθηκαν υψηλές για την εποχή κατά την οποία παρατηρήθηκαν μέσες θερμοκρασίες, β) οι τιμές τη υγρασίας είναι αρκετά μικρές, γ) οι κατευθύνσεις του ανέμου είναι σχεδόν αποκλειστικά νότιες (το 1 αντιπροσωπεύει τις βόρειες κατευθύνσεις και το 2 τις νότιες), δ) οι συγκεντρώσεις PM_{10} είναι οι υψηλότερες από όλο το σώμα των μετρήσεων, ε) οι συγκεντρώσεις του όζοντος σε κάποιες από τις περιπτώσεις είναι αρκετά χαμηλές. Η ταχύτητα του ανέμου δεν εμφανίζει κάποια ξεκάθαρη τάση σε αυτήν την περιοχή. Από τη μία υπάρχουν χαμηλές τιμές, στις 27/2 όμως εμφανίστηκε μία αρκετά μεγάλη τιμή (7 m/s), με αποτέλεσμα το συμπέρασμα να μην είναι ξεκάθαρο. Με βάση λοιπόν αυτές τις διαπιστώσεις μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα σημεία αυτά του διαγράμματος, αντιστοιχούν σε ημέρες με επεισόδιο σκόνης, ή κοντινές τους. Η πιο απομακρυσμένη μάλιστα ημέρα (27/2 βλ. §10.1), είχε εμφανίσει και το πιο έντονο επεισόδιο. Όπως βλέπουμε, οι παράμετροι οι οποίες προκαλούν τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση αυτών των ημερών είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η συγκέντρωση των PM_{10} .

Από την αντίθετη πλευρά του διαγράμματος, παρουσιάζεται ένα ζεύγος ημερών το οποίο διαφοροποιείται σημαντικά από τις υπόλοιπες προς τα αριστερά τους γραφήματος. Οι ημέρες αυτές εμφανίζουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (τις χαμηλότερες του χειμώνα),

υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας, βόρειες διευθύνσεις ανέμου, πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου, πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε PM_{10} και μέτριες τιμές όζοντος. Γενικά λοιπόν, έχουν τα χαρακτηριστικά έντονης κακοκαιρίας και όντως είναι οι πιο αξιοσημείωτες κακοκαιρίες που καταγράφηκαν τη χειμερινή περίοδο (βλ. § 8.1). Κοντά σε αυτές τις ημερομηνίες στο διάγραμμα MDS και προς το μέρος του κύριου σώματος των δειγμάτων, φαίνονται και οι περισσότερες χειμερινές καταγραφές. Όμως επειδή τη βασική διαφοροποίηση στη συγκεκριμένη περίπτωση θα τη δημιουργούσε η θερμοκρασία και δεν υπάρχουν άλλες θερμοκρασίες με πολύ χαμηλές τιμές, αυτές οι καταγραφές δεν γίνεται να αποσπαστούν από το κύριο σύνολο ουσιαστικά.

Από την MDS ανάλυση, εκτός από τα χαρακτηριστικά των επιμέρους ημερών, μπορούν να διαφανούν και δύο σημαντικά γενικά συμπεράσματα. Διαπιστώνουμε εν τέλει ότι τόσο οι μετεωρολογικές παράμετροι όσο και η σωματιδιακή ρύπανση της περιοχής, μπορεί να παίρνουν κάποιες ιδιαίτερα υψηλές τιμές μέσα στο χρόνο, γενικά όμως τις περισσότερες από τις ημέρες κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Εάν αναλογισθούμε, ότι οι ημέρες που συμπεράναμε ότι ανήκουν σε περιόδους επεισοδίων σκόνης είναι μόλις 11 και μάλιστα όχι όλες από αυτές με έντονα φαινόμενα, ενισχύεται αυτό το συμπέρασμα.

Το δεύτερο συμπέρασμα, που είναι όμως πιο ανησυχητικό και θα λέγαμε «κρυμμένο» στο MDS διάγραμμα, αφορά το τροποσφαιρικό όζον. Οι ημέρες με τις πιο υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος, με προσεκτική παρατήρηση διαπιστώνεται ότι βρίσκονται ανάμεσα στο κύριο σώμα των δειγμάτων και με μεγάλη συχνότητα. Αυτό με απλά λόγια σημαίνει ότι το όζον είναι αυξημένο σε μεγάλο ποσοστό των ημερών του χρόνου, κάτι το οποίο είναι σαφώς πιο ανησυχητικό από τις περιστασιακές εξάρσεις των σωματιδίων. Πιστοποιείται δηλαδή ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος δε συμβαίνουν τόσο κατά τη διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης, αλλά αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής.

13. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΟΖΟΝΤΟΣ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ (ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ ΤΟΥ 2001)

Έχει μεγάλη σημασία για έναν σταθμό μέτρησης τροποσφαιρικού όζοντος (το οποίο όπως έχει προαναφερθεί αποτελεί ρύπο που μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις) να διαθέτει δεδομένα και για σταθμούς γειτονικών χωρών. Για την Ευρώπη υπάρχει ένα σημαντικό δίκτυο σταθμών μέτρησης αλλά όχι με την καλύτερη κατανομή, αφού για το μεγαλύτερο μέρος των ανατολικών χωρών τα δεδομένα είναι ελάχιστα. Στο δίκτυο του EMEP εμφανίζονται διάφοροι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται σε απομακρυσμένες (remote) περιοχές. Από αυτούς επιλέχθηκαν κάποιοι οι οποίοι να έχουν κοινά χαρακτηριστικά με το σταθμό του Ακρωτηρίου. Δηλαδή προτιμήθηκαν σταθμοί σε μικρό σχετικά υψόμετρο (50-250 m asl.) και με μικρή χιλιομετρική απόσταση από τη θάλασσα. Σε περιοχές φυσικά όπου δεν υπήρχαν πολλές επιλογές, αναγκαστικά έγινε συμβιβασμός και με λιγότερο ικανοποιητικούς ως προς τα χαρακτηριστικά σταθμούς. Τελικά, το δίκτυο των σταθμών που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στον πίνακα 3 (βλ. & EMEP, Measurement network; EMEP, 2003).

IT01	Montelibretti	42 06 N	12 38 E	48	1995->	acid/eutro, ozone, PM
MT01	Giordan lighthouse	36 06 N	14 12 E	160	1997->	ozone
GB38	Lullington Heath	50 48 N	0 11 E	120	1988->	acid/eutro, ozone
NO01	Birkenes	58 23 N	8 15 E	190	1971->	acid/eutro, ozone, PM, heavy metals (p), VOC
DE02	LangenbrAgge/Waldhof	52 48 N	10 45 E	74	1977->	acid/eutro, ozone, PM, heavy metals, VOC
PL05	Diabla Gora	54 09 N	22 04 E	157	1992->	acid/eutro, ozone, heavy metals (p)
HU02	K-pusztá	46 58 N	19 35 E	125	1977->	acid/eutro, ozone, PM
PT04	Monte Velho	38 05 N	8 48 W	43	1988->	acid/eutro, ozone, heavy metals (p)
SI32	Krvavec	46 18 N	14 32 E	32	1991->	ozone
SE11	Vavihill	56 01 N	13 09 E	172	1984->	acid/eutro, ozone, heavy metals (p), PM
EE09	Lahemaa	59 30 N	25 54 E	32	1985->	acid/eutro,

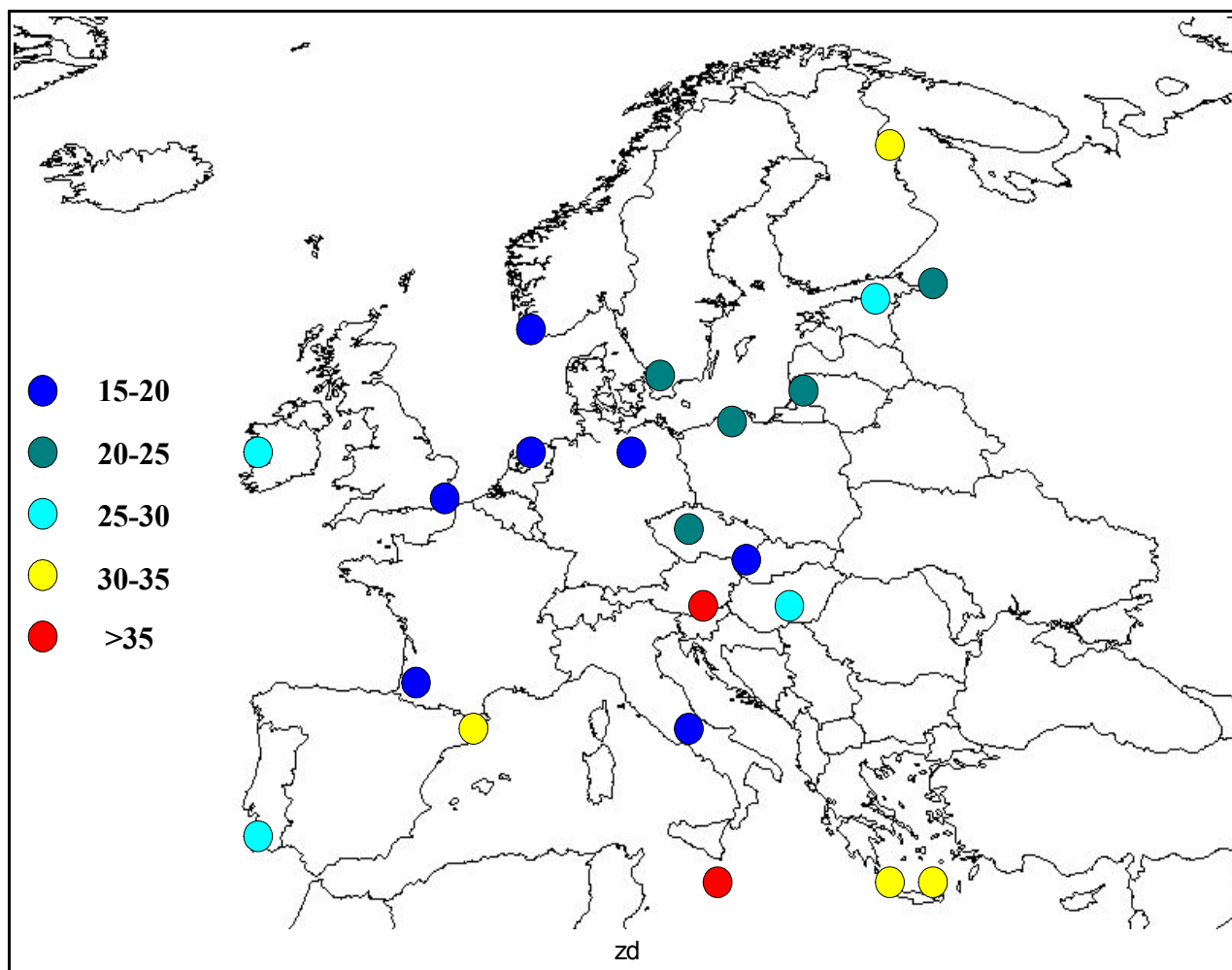
						ozone, heavy
FR13	Peyrusse Vieille	47 22 N	0 06 E	236	1998->	acid/eutro, ozone, VOC
RU16	Shepeljovo	59 58 N	29 07 E	4	1994->	acid/eutro, ozone
FI22	Oulanka	66 19 N	29 24 E	310	1990->	acid/eutro, ozone, heavy metals (p)
ES10	Cabo de Creus	42 19 N	3 19 E	23	1999->	acid/eutro, ozone
NL09	Kollumerwaard	53 20 N	6 17 E	0	1990->	acid/eutro, ozone, heavy metals
LT15	Preila	55 21 N	21 04 E	5	1991->	acid/eutro, ozone, heavy metals, POPs
AT02	Illmitz	47 46 N	16 46 E	117	1978->	acid/eutro, ozone

Πίνακας 3: Σταθμοί από το δίκτυο EMEP οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του χάρτη.

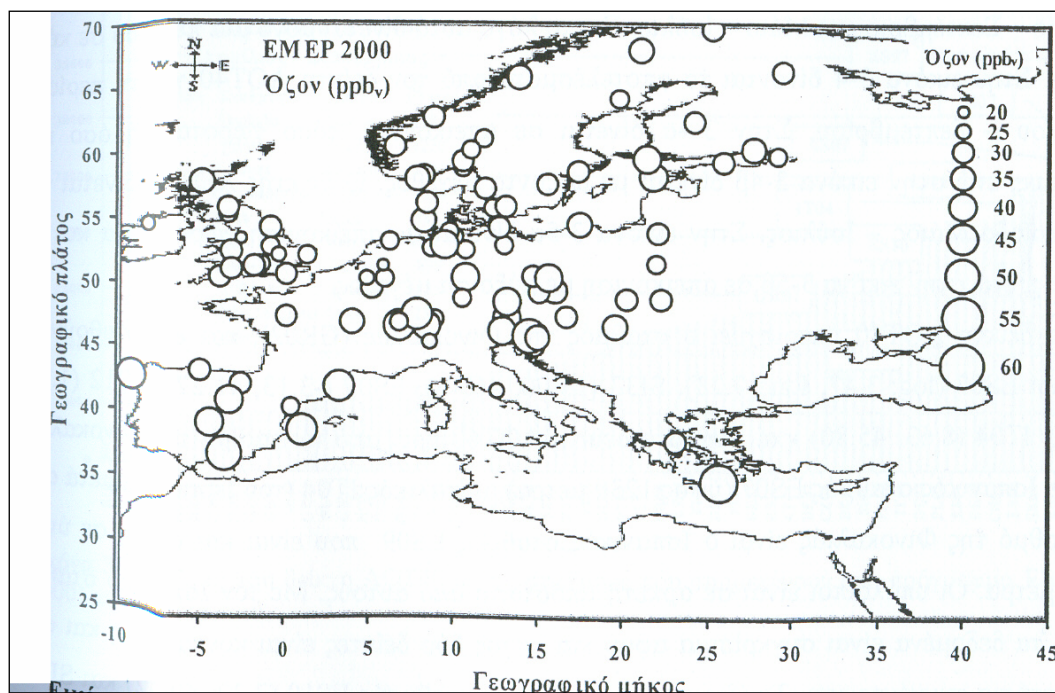
Οι μετρήσεις του όζοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης ξεκίνησαν το Δεκέμβριο του 2001. Από την άλλη μεριά, οι τελευταίες μετρήσεις που είναι διαθέσιμες για τους σταθμούς του EMEP προς το παρόν είναι για το Δεκέμβριο του 2001. Έτσι, η σύγκριση που μπορεί να γίνει θα αφορά μόνον αυτό το μήνα. Τα αποτελέσματα επομένως θα είναι ενδεικτικά. Τελικά, ο χάρτης που κατασκευάστηκε έχει τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 66.

Αυτό που γίνεται αντιληπτό από το χάρτη με την πρώτη ματιά, είναι ότι η νότια Ευρώπη παρουσιάζει πολύ χαμηλότερα επίπεδα όζοντος απ' ό τι η βόρεια για τον υπό μελέτη μήνα. Στις περισσότερες περιοχές της βόρειας Ευρώπης το όζον για το Δεκέμβριο του 2001 κυμαίνεται από 15 μέχρι 30 ppb, με μοναδική εξαίρεση τη Φινλανδία, όπου η συγκέντρωση είναι στην περιοχή των 30-35 ppb. Από την άλλη, η νότια Ευρώπη παρουσιάζει πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις, με μέγιστες στη Σλοβενία και στη Μάλτα, όπου η μέση συγκέντρωση κυμαίνεται σε επίπεδα μεγαλύτερα των 35 ppb (στη Μάλτα 43.9 ppb). Η κεντρική και η βόρεια Ευρώπη, ειδικά το χειμώνα δέχεται πολύ χαμηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να μη συμβαίνει έντονη φωτοχημική παραγωγή όζοντος στην τροπόσφαιρα. Αντίθετα, οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος συναντώνται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις-κυρίως λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων- με αποτέλεσμα η μεταφορά τους στις νότιες περιοχές να προκαλεί παραγωγή όζοντος και αύξηση των επιπέδων του. Η περιοχή του Ακρωτηρίου όπως και της Φινοκαλίας, παρουσιάζουν επίπεδα συγκέντρωσης μεταξύ 30 και 35 ppb, τα οποία ναι μεν δεν είναι

τα μέγιστα, αλλά είναι αρκετά υψηλά. Μάλιστα, για εκτενέστερη μελέτη που πραγματοποιήθηκε και αφορά το σύνολο των σταθμών του EMEP 2000, ο σταθμός της Φινοκαλίας, παρουσιάζει τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης από όζον σε όλο τον ευρωπαϊκό χώρο (εικόνα 67, Κουβαράκης, 2000). Έτσι, με βάση τα δεδομένα του Δεκεμβρίου του 2001, υπάρχει μία ενδεικτική εικόνα για τα επίπεδα του όζοντος στην Ευρώπη. Στο μέλλον θα παρουσιαστεί αντίστοιχη μελέτη, με τη χρήση μεγαλύτερου αριθμού δεδομένων.



Εικόνα 66: Επίπεδα ρύπανσης σε διάφορους σταθμούς του EMEP για το Δεκέμβριο του 2001.



Εικόνα 67: Τα επίπεδα όζοντος στους σταθμούς του δικτύου EMEP 2000.

14. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟΝ ΤΗΣ ΦΙΝΟΚΑΛΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΧΡΟΝΙΕΣ 2002-2004

Για το σταθμό της Φινοκαλιάς, είναι διαθέσιμα δεδομένα μέχρι και για το Μάρτιο του 2004 (βλ. Κουβαράκης, 2002). Έτσι, μπορεί να γίνει μία εκτενέστερη σύγκριση των επιπέδων όζοντος μεταξύ Φινοκαλιάς και Ακρωτηρίου. Δημιουργήθηκε λοιπόν το διάγραμμα της εικόνας 68 στο οποίο παρουσιάζεται η συμμεταβολή του όζοντος μέσα στην προαναφερθείσα περίοδο για τις δύο περιοχές. Το όζον δίνεται σε μονάδες ppb και οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μέσες ωριαίες.

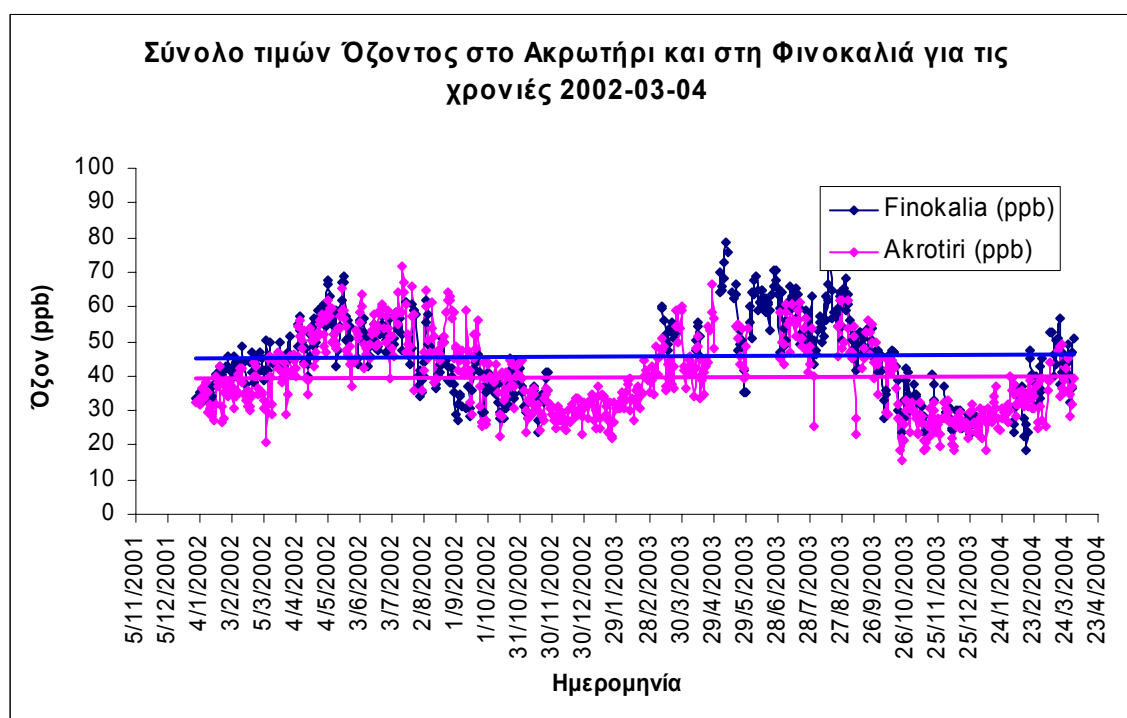
Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, η συμφωνία στη διακύμανση των δύο διαγραμμάτων είναι μεγάλη. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η συγκέντρωση στη Φινοκαλιά είναι γενικά μεγαλύτερη. Η μέση συγκέντρωση που προκύπτει από το σύνολο των μετρήσεων της περιόδου είναι για το Ακρωτήρι 39.8 ppb και για τη Φινοκαλιά 45.8 ppb. Υπάρχει δηλαδή μία διαφορά 6 ppb στα μέσα επίπεδα ρύπανσης των δύο περιοχών.

Αυτό το γεγονός μπορεί να αποδοθεί κυρίως στο ότι η Φινοκαλιά είναι μία απομακρυσμένη περιοχή (remote), ενώ το Ακρωτήρι δε βρίσκεται μακριά από την πόλη των Χανίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική ανθρωπογενής παραγωγή

NO_x στην περιοχή των Χανίων, τα οποία ενδεχομένως κατστρέφουν σε κάποιο βαθμό το υπάρχον όζον.

Από την άλλη, ας τονίσουμε ότι ο σταθμός του Ακρωτηρίου είναι πιο πολύ εκτεθειμένος σε αέριες μάζες οι οποίες έχουν προέλθει από δυτικές διευθύνσεις, έχοντας διανύσει μεγάλες αποστάσεις πάνω από τη θάλασσα. Όπως έχει προαναφερθεί οι συγκεντρώσεις των πρόδρομων ενώσεων του όζοντος είναι χαμηλές σε θαλάσσιο περιβάλλον, επομένως ίσως και αυτός ο παράγοντας να έχει κάποια συμβολή στις λιγότερο υψηλές (παρόλα αυτά όχι χαμηλές) τιμές όζοντος.

Τέλος, θα πρέπει ξανά να τονισθεί, ότι για το σταθμό του Ακρωτηρίου λείπουν κάποιες μετρήσεις κυρίως για τον Ιούνιο και τον Αύγουστο του 2003, οι οποίες ενδεχομένως να αύξαναν το μέσο όρο των τιμών.



Εικόνα 68: Μεταβολή μέσου ημερήσιου όζοντος στο Ακρωτήρι και τη Φινοκαλιά (2002-04).

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία μπορούν να εξαχθούν κάποια σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής του Ακρωτηρίου και της Κρήτης γενικότερα. Όπως έχει προαναφερθεί, η ποιότητα του αέρα στην Κρήτη καθορίζεται από πολλούς και σύνθετους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σε μεγάλο ή μικρότερο βαθμό τα επίπεδα της ρύπανσης. Αυτό που γίνεται σαφές από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης και το οποίο αποτελεί το σημαντικότερο θα λέγαμε συμπέρασμα, είναι το γεγονός ότι υπάρχει έντονη μεταφορά ρύπων από άλλες περιοχές, με αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα ενός τόπου όπως το Ακρωτήρι, χωρίς σημαντικές εκπομπές ρυπογόνων ουσιών, να παρουσιάζει καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος και αιωρούμενων σωματιδίων. Παρακάτω συνοψίζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα όσον αφορά τη ρύπανση αλλά και τη μετεωρολογία τις περιοχής.

- Το θερμοκρασιακό εύρος στην περιοχή είναι σχετικά μικρό αφού η μέση θερμοκρασία του Ιανουαρίου του 2004 προέκυψε ίση με 11.5°C ενώ του Ιουλίου του 2003 ίση με 27.1°C (διαφορά 15.6°C). Η διαφορά αυτή κατατάσσει το κλίμα του Ακρωτηρίου στον τύπο του μεσογειακού παραθαλάσσιου. Πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι οι εξάρσεις στη θερμοκρασία είναι πολλές τόσο ως προς τις μέγιστες όσο και ως προς τις ελάχιστες τιμές. Αξιοσημείωτη είναι η απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία των 0.1°C στις 13 Φεβρουαρίου του 2004 (προσέγγισε το ελάχιστο όλων των ετών του σταθμού της ΕΜΥ) και η θερμοκρασία των 27.4°C που σημειώθηκε 2 εβδομάδες μετά (27/2, μέγιστο Σούδας για το Φεβρουάριο 30°C). Τα μέγιστα της θερμοκρασίας συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μεταφοράς θερμών αερίων μαζών από την περιοχή της Αφρικής και τα ελάχιστα κατά την εισροή ψυχρών μαζών από την περιοχή της βόρειας Ευρώπης.
- Οι τιμές της υγρασίας είναι γενικά υψηλές, λόγω του ότι η περιοχή είναι παραθαλάσσια. Συχνή είναι η εμφάνιση ποσοστού 100% για τη σχετική υγρασία, ειδικά κατά τις νυκτερινές ώρες. Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή υγρασίας για την περίοδο μετρήσεων εμφανίζεται το Νοέμβριο και η ελάχιστη τον Ιούλιο. Οι σπάνιες πολύ χαμηλές τιμές υγρασίας συμβαίνουν κυρίως κατά τη διάρκεια επεισοδίων σκόνης.
- Από τα ανεμολογικά ροδογράμματα, συμπεραίνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στην περιοχή επικρατούν συντριπτικά οι άνεμοι βόρειων διευθύνσεων. Αντίθετα,

τους υπόλοιπους μήνες τα ποσοστά είναι πιο μοιρασμένα, με ιδιαίτερα συχνή εμφάνιση των δυτικών και των νοτιοανατολικών ανέμων. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με αυτά του σταθμού της Ε.Μ.Υ. στη Σούδα, με κάποιες διαφορές που μάλλον οφείλονται στην επίδραση της τοπογραφίας της περιοχής.

- Η ταχύτητα του ανέμου είναι γενικά υψηλή, λόγω της γειτνίασης της περιοχής με τη θάλασσα. Το απόλυτο μέγιστο (15.7 m/s στις 13/2/04), όπως και αρκετές από τις μεγάλες τιμές που εμφανίστηκαν, παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια διέλευσης χαμηλών από την περιοχή που συνοδεύεται από έντονες κακοκαιρίες. Τη μέγιστη μέση μηνιαία τιμή ταχύτητας την παρουσιάζει ο Ιανουάριος, ενώ την ελάχιστη ο Ιούλιος.
- Η μέση τιμή των ωριαίων τιμών του όζοντος για την περίοδο των μετρήσεων είναι τα 0.040 ppm. Η μέγιστη τιμή που εμφανίστηκε ήταν στις 12/7/2002 (0.071 ppm) και η ελάχιστη στις 23/10/2003 (0.016 ppm). Οι τιμές γενικά είναι αρκετά αυξημένες αν λάβουμε υπόψη ότι δεν υπάρχουν τοπικές πηγές παραγωγής ρύπανσης.
- Η εποχιακή διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών όζοντος είναι η αναμενόμενη, με μέγιστη τιμή τον Ιούλιο (0.054 ppm) και ελάχιστη το Δεκέμβριο (~0.03 ppm). Η διαπίστωση αυτή, συμβαδίζει με το γεγονός ότι η φωτοχημική παράγωγή του όζοντος συμβαίνει με μεγαλύτερο ρυθμό το καλοκαίρι οπότε η ηλιοφάνεια είναι σημαντικά αυξημένη.
- Η ημερήσια διακύμανση του όζοντος εξαρτάται επίσης από τη φωτοχημική δραστηριότητα στην περιοχή. Έτσι, την ημέρα οι μετρήσεις είναι αρκετά μεγαλύτερες από τη νύκτα και μάλιστα είναι μέγιστες νωρίς το απόγευμα, οπότε έχει δράσει η φωτοχημική παραγωγή των μεσημβρινών ωρών. Το απόλυτο ελάχιστο εμφανίζεται νωρίς το πρωί, οπότε παρουσιάζεται μία εκ νέου μείωση, οφειλόμενη στην τοπική κυκλοφορία και στην παραγωγή NO_x .
- Οι τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων παρουσιάζονται αυξημένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η μέγιστη τιμή για τα PM_{10} παρατηρήθηκε στις 27/2/2004 ($192.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) κατά τη διάρκεια επεισοδίου σκόνης από τη Σαχάρα. Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή εμφανίζεται κατά το μήνα Οκτώβριο ($45.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Τέλος, η μέση τιμή συγκέντρωσης PM_{10} για όλη την περίοδο μετρήσεων είναι τα $34.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (περίπου όση και στη Φινοκαλιά, βλ. Κουβαράκης, 2002).

- Η μέση τιμή από τις μετρήσεις των $PM_{2.5}$ είναι $26 \mu g/m^3$. Η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα αυξημένη και σχετίζεται με την εμφάνιση αρκετών επεισοδίων σκόνης κατά την περίοδο αυτήν (5/5, $89.6 \mu g/m^3$).
- Κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος, παρατηρείται ότι υπάρχει εισροή αερίων μαζών με προέλευση από ρυπασμένες περιοχές. Αυτό παρατηρήθηκε με τη βοήθεια της ανάλυσης των ρετροπορειών των αερίων μαζών, τόσο αναλύοντας κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα, όσο και με την κατασκευή στατιστικών χαρτών οι οποίοι δίνουν πληροφορίες για τις επικρατέστερες προελεύσεις του αέρα της περιοχής και για τα επίπεδα ρύπανσης που αυτές επιφέρουν. Έτσι, για όλες τις εποχές, οι αέριες μάζες με προέλευση από περιοχές πλούσιες σε πρόδρομες ενώσεις του όζοντος (Ευρώπη, Αθήνα, Μικρά Ασία) συνοδεύονται από σημαντική αύξηση των επιπέδων όζοντος. Σημαντική είναι επίσης η αύξηση των επιπέδων όζοντος και όταν ο αέρας προέρχεται αποκλειστικά από θαλάσσιες περιοχές.
- Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων επίσης εξαρτάται έντονα από την προέλευση των αερίων μαζών. Όταν αυτές προέρχονται από νότιες διευθύνσεις (Αφρική) τόσο οι συγκεντρώσεις PM_{10} όσο και $PM_{2.5}$ είναι ιδιαίτερα αυξημένες.
- Τα δεδομένα των μετεωρολογικών παραμέτρων και της ρύπανσης ως προς το σύνολό τους, παρουσιάζουν μία ισχυρή συσχέτιση. Για κάποιους μεμονωμένους μήνες η γραμμική συσχέτιση κάποιων παραμέτρων έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αυτό προέκυψε για τα ζεύγη υγρασία-θερμοκρασία, όζον-θερμοκρασία, PM_{10} -θερμοκρασία, PM_{10} -υγρασία και όζον-υγρασία. Παρόλα αυτά, δε μπορούμε να μιλήσουμε για συνολική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων αλλά για μία ένδειξη ότι αυτές σε πολλές περιπτώσεις αλληλεξαρτώνται.
- Η MDS ανάλυση, απέδωσε παραστατικά τη διαφοροποίηση ορισμένων ημερών από τις υπόλοιπες. Αυτό όμως που φάνηκε είναι ότι οι ημέρες που διαφοροποιούνται ουσιαστικά από τις υπόλοιπες είναι λίγες και αποτελούν εξαίρεση από το κύριο σώμα των μετρήσεων. Από την άλλη, σημαντικό είναι και το συμπέρασμα ότι το όζον δεν εμφανίζεται στις περιπτώσεις με τα διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά ιδιαίτερα αυξημένο. Αντίθετα, είναι πολλές οι μεγάλες τιμές του στο κύριο σώμα των μετρήσεων. Αυτό ενισχύει το συμπέρασμα ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις του όζοντος δε συμβαίνουν κατά τη διάρκεια κάποιων εξεζητημένων επεισοδίων, αλλά αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής.

- Ο σταθμός του Ακρωτηρίου παρουσιάζει αρκετά υψηλή συγκέντρωση σε σχέση με του υπόλοιπους σταθμούς της Ευρώπης. Αυτό είναι ένα γενικό συμπέρασμα για τους σταθμούς της Μεσογείου, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η Μεσόγειος είναι από τις πλέον επιβαρημένες περιοχές της Ευρώπης.
- Σε σχέση με το σταθμό της Φινοκαλιάς στο Ηράκλειο, οι συγκεντρώσεις όζοντος στο Ακρωτήρι είναι λίγο πιο χαμηλές. Έτσι, για τη Φινοκαλιά, η μέση τιμή όζοντος για την περίοδο 2002-04 είναι 45.8 ppb, ενώ για το Ακρωτήρι 39.8 ppb. Η διαφορά αυτή δικαιολογείται με βάση το γεγονός ότι η Φινοκαλιά είναι μια περιοχή με μεγαλύτερη απόσταση από κάποιο αστικό κέντρο (όπου θα παράγονταν σημαντικές ποσότητες NO_x οι οποίες θα κατέστρεφαν το όζον). Ως προς τη διακύμανση μέσα στο έτος οι μετρήσεις των δύο σταθμών παρουσιάζουν αρκετά καλή συμφωνία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahrens, C. D., (1994) **‘Meteorology today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment’**, West Publishing Company, USA.
- Αλεξανδροπούλου, Β., (2003) **‘Μελέτη της εναπόθεσης και μεταφοράς σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα’**, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Bashurova, V.S., et. al., (1992) **‘Measurements of atmospheric condensation nuclei size distributions in Siberia’**, Journal of Aerosol Science, **23**, 191-199.
- Berkowitz, C.M., R.A. Zaveri, X. Bian, S. Zhong, R. Disselkamp, N. Laulainen and E.G. Chapman, (2001) **‘Aircraft observations of aerosols, O₃ and NO_y in a nighttime urban plume’**, Atmospheric Environment, **35**, 2395-2404.
- Blanchard, D.C. and R.J. Cipriano (1987), **‘Biological regulation of climate’**, Nature, **330**, 526.
- Βουλγαράκης, Α., (2002) **‘Αιωρούμενα Σωματίδια και Υπεριώδης Ακτινοβολία’**, Διπλωματική εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Γεντεκάκης, Ι., (1999) **‘Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες’**, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Chapman, S., (1932) **‘A theory of upper atmospheric ozone’**, Mem.R. Meteorol. Soc., **3**, 103-125.
- Clarke, K. R., R. N. Gorley, (2001) **‘Primer v5, User Manual/ Tutorial’**, Primer-E Ltd, Plymouth.
- Clarke, K. R and R. M. Warwick, (1994) **‘Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation’ (MDS)**, Plymouth Marine Laboratory.

- Crutzen, P.J., (1973) **‘A discussion of the the chemistry of some minor constituents in the stratosphere and troposphere’**, Pure Applied Geophysics, **106-108**, 1385-1399.
- Crutzen, P.J., (1995) **‘Ozone in the troposphere, in Composition, Chemistry and Climate of the atmosphere’**, edited by H.B. Singh. Van Nostrand Reinhold, New York , 349-393.
- Delaney, A.C., P. Haagenson, S. Walters, A.F. Wartburg and P.J. Crutzen, (1985) **‘Photochemically produced ozone in the emission from large scale tropical vegetation fires’**, Journal of Geophysical Research, **90**, 2425-2429.
- Derwent, R.G., D. S. Stevenson , W. J. Collins and C. E. Johnson, (2004) **‘Intercontinental transport and the origins of the ozone observed at surface sites in Europe’**, Atmospheric Environment, **38**, 1891-1901.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Διεύθυνση Κλιματολογίας, Τμήμα Στατιστικής Κλιματολογίας. **‘Κλιματολογικά Στοιχεία ανά δεκαήμερο και ανά μήνα σταθμών του δικτύου της Ε.Μ.Υ., ΤΕΥΧΟΣ Β’**’.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Διεύθυνση Κλιματολογίας. **‘Ετήσια και Μηνιαία Ανεμολογικά στοιχεία σταθμών του δικτύου της Ε.Μ.Υ.’**
- EMEP, Measurement data/ Measurement network, at www.emep.int/ CCC.
- EMEP, (2003) **‘Ozone measurements 2001’**, EMEP/ CCC-Report 4/2003.
- EMEP, (2002) **‘Ozone measurements 2000’**, EMEP/ CCC-Report 4/2002.
- ESM Andersen Instruments GmbH, (2003) **‘Operating Manual, Particulate monitoring instrument, FH 62 I-R’**.
- Fitzgerald, J.W., (1991) **‘Marine aerosols: A review’**, Atmospheric Environment, **25 A**, 533-545.

- Glavas, S., (1999) **‘Surface ozone and NO_x concentrations at a high altitude Mediterranean site in Greece’**, Atmospheric Environment, **33**, 3813-3820.
- Gradel, T. E. and P.J. Crutzen, (1993), **‘Atmospheric Change: An Earth System Perspective’**, W.H. Freeman and Company, New York.
- Gullu, G., I. Olmez and G. Tunkel, (2000), **‘Temporal variability of atmospheric trace element concentrations over the Eastern Mediterranean Sea’**, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, **55**, 1113-1148.
- Gunaydin, G. C. and G. Tuncel, (2003) **‘Sources regions affecting chemical composition of aerosols and precipitation in the eastern Mediterranean atmosphere determined using trajectory statistics’**, Air pollution processes in regional scale (Edited by D. Melas and D. Syrakov), NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences, **30**, 121-133.
- Heitzenberg, J., (1989) **‘Fine particles in the global troposphere-a review’**, Tellus, **41B**, 149-160.
- Jaenicke, R., (1993) **‘Tropospheric aerosols’**, in Aerosol-Cloud-Climate Interactions, edited by P.V. Hobbs. Academic Press, San Diego, CA.
- Jaenicke, R. and L. Schutz, (1978) , **‘Comprehensive study of physical and chemical properties of the surface aerosol in the Cape Verde Islands region’**, Journal of Geophysical Research, **83**, 3583-3599.
- Kakaridou, M. and C. Pilinis ,(2003) **‘Measurements of rural surface ozone at a remote island site in the NE Aegean Sea: Indications of regional/ transboundary transport’**, Air pollution processes in regional scale (Edited by D. Melas and D. Syrakov), NATO Science Series, IV.
- Kambezidis, H. D. and D. Melas, (2003) **‘Regional Transport of Air Pollutants in Greece, as seen from the Aliartos station.’**, Air pollution processes in regional scale (Edited by D. Melas and D. Syrakov), NATO Science Series IV. Earth and Environmental Sciences ,**30**, 161-168.

- 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.
- Kondratyev, K. and C. Varotsos, (2000) **‘Atmospheric Ozone variability’: Implications for Climate Change, Human Health and Ecosystems’**, Springer-Praxis Books in Environmental Science, Chichester.
- Κουβαράκης, Γ., (2002) **‘Όζον και Αιωρούμενα σωματίδια στην Ανατολική Μεσόγειο’**, Διδακτορική διατριβή.
- Koutsengoni, P.K. and R. Jaenicke, (1994) **‘Number concentration and size distribution of atmospheric aerosol in Siberia’**, Journal of Aerosol Science, **25**, 377-383.
- Kouvarakis, G., K. Tsigaridis, M. Kanakidou and N. Mihalopoulos, (2000) **‘Temporal variations of surface regional background ozone over Crete Island in southeast Mediterranean’**, J. Geophys. Res., **105**, 4399-4407.
- 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., (2004) **‘Σημειώσεις Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας’**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Lazaridis, M., L. Tarrason and M. Tørseth, Contributions from: M. Lazaridis, K. Tørseth, A. Lükewille, A. Semb, J. Pacyna, O. Hov, S. Larssen, L. Tarrason, S. Tsyro,

- V. Vestreng, E. Gjerald, J. Fudala, J. Cofala, (2001) **‘Transboundary Particulate Matter in Europe: Status Report 2001’**, EMEP Report 4/2001.
- Λέκκας, Μ., Α. Βουλγαράκης, Ε. Χατζημανωλάκη και Ε. Κουτσογιαννάκη, (2003) **‘Κλιματολογικός Χάρτης της Κρήτης’**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
 - Levy, H., (1971) **‘Normal atmosphere: Large radical and formaldehyde concentrations predicted’**, Science, **173**, 141-143.
 - 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.
 - Monitor Labs. INC., (1986) **‘Operation and maintenance manual for ozone analyzer Model 8810’**.
 - NOAA Air Resources Laboratory, (2002) **‘Archived backward trajectories’** at <https://www.arl.noaa.gov/ready/sec/hysplit4.html>.
 - O’Dowd, C.D. and M.H. Smith, (1993) **‘Physicochemical properties of aerosols over the northeast Atlantic: Evidence for wind speed related submicron sea-salt aerosol production’**, Journal of Geophysical Research, **98**, 1137-1149.
 - Οικονομόπουλος, Α., (2003) **‘Σημειώσεις Μαθήματος «Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα»**, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
 - Rappengluck, B., D. Melas, P. Fabian, (2003) **‘Evidence of the impact of urban plumes on remote sites in the Eastern Mediterranean’**, Atmospheric Environment, **37**, 1853-1864.
 - 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.

- Σαχσαμάνογλου, Χ. και Τ. Μακρογιάννης , (1998) **‘Γενική Μετεωρολογία’**, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- 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.
- Seinfeld, J., (1986) **‘Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution ’**, John Wiley & Sons, INC, New York.
- Seinfeld, J. and S. Pandis (1998) **‘Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change’**, John Wiley & Sons, INC, New York.
- Solomon, P.A., T. Fall, L. Salmon, G.R. Cass, H.A. Gray and A. Davidson (1989), **‘Chemical characteristics of PM₁₀ aerosols collected in the Los Angeles area’**, J. Air Pollut. Control Assoc., **39**, 154-163.
- 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.**
- Varinou, M., G. Kallos, G. Tsiligridis and G. Sistla, (1999) **‘The role of anthropogenic and biogenic emissions on tropospheric ozone formation over**


Greece’, Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science, **24**, 507-513.

- Varotsos, C., K. Ya Kondratyev and M. Efstathiou, (2000) **‘On the seasonal variation of the surface ozone in Athens, Greece’**, Atmospheric Environment, **35**, 315-320.
- Voltz, A. and D. Kley, (1988) **‘Evaluation of the Monsouris series of ozone measurements made at the nineteenth century’**, Nature, **332**, 240-242.
- Zerefos, C. et. al., (1998) **‘Final report of the PAUR project’**, EU, Brussels.
- Ζερεφός, Χ., (1984) **‘Μαθήματα της Φυσικής της Ατμόσφαιρας και του Περιβάλλοντος’**, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

- ❖ Φόρμα που συμπληρώνεται για να υπολογιστούν οι ρетроπορείες των αερίων μαζών.

						
HOME	HYSPLIT	DISPERSION MODELING	METEOROLOGY	EMERGENCY RESPONSE	STATUS	CONTACTS
<div style="background-color: #000080; color: white; padding: 2px; text-align: center;">Main Page</div> <div style="background-color: #FF0000; color: white; padding: 2px; text-align: center;">Run with Archived Data</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 2px; text-align: center;">Run with Forecast Data</div>		MODEL SETUP SECTION				
The FNL archive file contains beginning at <u>0000 UTC 5/16/04.</u>						
List of missing FNL data. <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">What is UTC time?</div>						
Help me with the inputs						
Trajectory direction:	help	<input type="radio"/> Forward <input checked="" type="radio"/> Backward (You must change the default start time!)				
Vertical Motion:	help	<input checked="" type="radio"/> Model vertical velocity <input type="radio"/> Isobaric (constant pressure)				
Start time (UTC):	help	year <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">04</div>	month <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">05</div>	day <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">22</div>	hour <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12</div>	
Total run time (hours):	help	120				
Start latitude (degrees):	help	35.5				
Start longitude (degrees):	help	24.1				
Start height 1:	help	500	<input checked="" type="radio"/> meters AGL <input type="radio"/> meters AMSL			
Start height 2:	help	0				
Start height 3:	help	0				
Plot projection:	help	<input checked="" type="radio"/> Default <input type="radio"/> Polar <input type="radio"/> Lambert <input type="radio"/> Mercator				
Vertical plot height units:	help	<input type="radio"/> Pressure <input checked="" type="radio"/> meters AGL				
Label Interval:	help	<input type="radio"/> No labels <input checked="" type="radio"/> 6 hours <input type="radio"/> 12 hours <input type="radio"/> 24 hours				
Zoom factor:	help	<input type="radio"/> 0 (far) <input type="radio"/> 45 <input checked="" type="radio"/> 75 <input type="radio"/> 100 (close)				
Create Java Animation?	help	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No				
Graphic size (dpi):	help	<input type="radio"/> 72 <input checked="" type="radio"/> 96 <input type="radio"/> 120				
Create Postscript file?	help	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No				
Plot meteorological field along trajectory?	help	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No <small>Note: Only choose one meteorological variable from below to plot</small>				
Dump meteorological data along trajectory:	help	<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 (%)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

❖ 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

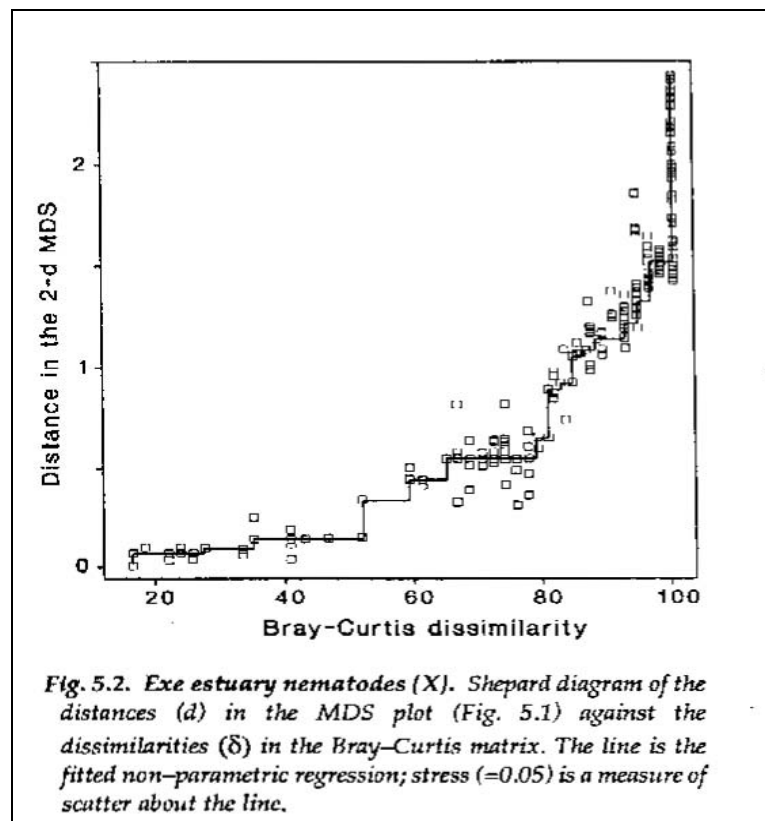
The non-metric MDS algorithm, as employed in Kruskal's original MDSCAL program for example, is an **iterative procedure**, constructing the MDS plot by successively refining the positions of the points, until they satisfy, as closely as possible, the dissimilarity relations between samples. It has the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

