

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ &
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ»

Ευάγγελος Τρεμούλης
ΦΥΣΙΚΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οδεύοντας προς την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και συνεπώς προς το τέλος των μεταπτυχιακών σπουδών μου, δεν θα παρέλειπα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους οι οποίοι στάθηκαν ως στυλοβάτες στην όλη προσπάθεια μου.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω τους γονείς αλλά και τις αδερφές μου Ρένα και Σοφία, οι οποίοι ήταν δίπλα μου και πάντα στήριζαν με κάθε τρόπο την όποια απόφαση μου, καθώς και την επιλογή της φοίτησης μου στο συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα και καθηγητή μου κ. Πρόδρομο Ζάνη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, καθώς και για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε στα διάφορα προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, ώστε σήμερα να δύναμαι να την ολοκληρώσω.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για τη συνολική βοήθεια τους και για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Θεόδωρο Καρακώστα και κ. Χαράλαμπο Φείδα, όπου με τις εύστοχες παρατηρήσεις τους επιτεύχθηκε η ολοκλήρωση της εν λόγω μελέτης.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Θεόδωρο Καρακώστα ο οποίος από την αρχή έως το τέλος της φοίτησης μου, στάθηκε δίπλα μου όχι μόνο ως άριστος διδάσκων αλλά και ως άνθρωπος, πρόθυμος να βοηθήσει στην επίλυση εμποδίων που ανέκυπταν, εντός αλλά και εκτός των πλαισίων διδάσκοντα και διδασκόμενου.

Δεν θα παρέλειπα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή Ιωάννη Πυθαρούλη όπου πάντα βρίσκεται κοντά πρόθυμος να βοηθήσει. Με την καταλυτική βοήθεια του μέσω της διδασκαλίας καθώς και της εύστοχης καθοδήγησης του, με οδήγησε στην εκπλήρωση κάποιων στόχων και ονείρων μου.

Τέλος, ευχαριστώ στους συμφοιτητές μου, τους φίλους μου καθώς και τους ξεχωριστούς ανθρώπους που βρίσκονταν κοντά μου καθόλη την διάρκεια και οι οποίοι συνέβαλαν ο κάθε ένας με τον δικό του τρόπο στην περαιτέρω μετεξέλιξη μου.

Ευάγγελος Τρεμούλης, 2012

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής διατριβής ειδίκευσης, έχει ως σκοπό την διερεύνηση της πορείας του φωτοχημικού νέφους στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα, στόχος της έρευνας είναι η μελέτη της ανάπτυξης και της εξέλιξης των αέριων ρύπων που απαρτίζουν την φωτοχημική ρύπανση, όπως του τροποσφαιρικού όζοντος, των οξειδίων του αζώτου και του μονοξειδίου του ανθρακα, κατά τη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας, καθώς και η επίδραση που ασκούν οι διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι στην συγκέντρωση του κάθε ρύπου ξεχωριστά. Στα πλαίσια της παρακολούθησης της πορείας των συγκεντρώσεων του κάθε ρύπου, διενεργούνται έλεγχοι των συγκεντρώσεων αυτών σε σταθμούς της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, σε ημερήσια, ετήσια και εποχική βάση. Επιπλέον, μελετάται ο βαθμός συσχέτισης όλων των υπό εξέταση σταθμών (σύνολο 12) τόσο από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας όσο και από τον Δήμο Θεσσαλονίκης, σε ετήσια και εποχική βάση. Στόχος της διερεύνησης του βαθμού συσχέτισης, είναι να διαλευκανθεί κατά πόσο σχετίζονται οι θέσεις που καταλαμβάνουν οι εκάστοτε σταθμοί, με τις μεταβολές της συγκέντρωσης του κάθε ρύπου αλλά και του τρόπου μεταβολής των συσχετίσεων που προκύπτουν, ανάλογα με την περίοδο του έτους. Ακολουθώντας, κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί ο τρόπος επίδρασης μετεωρολογικών παραμέτρων (Θερμοκρασία, Σχετική Υγρασία, Ταχύτητα και η Διεύθυνση του Ανέμου) στους αέριους ρύπους, τόσο ξεχωριστά για κάθε μετεωρολογικό παράγοντα, αλλά και ως σύνολο αυτών. Στο τέλος της έρευνας προκύπτουν αποτελέσματα και εξάγονται συμπεράσματα, που σχετίζονται με την δυναμική πορεία των ρύπων στις διάφορες περιοχές της πόλης και των προαστείων της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1	Ιστορική αναδρομή	6
1.2	Οι σημαντικότεροι ρύποι και οι πηγές τους	8
1.2.1	O ₃ (Όζον)	9
1.2.2	Φωτοχημικοί μηχανισμοί παραγωγής όζοντος	10
1.2.3	Χημικοί μηχανισμοί καταστροφής όζοντος	14
1.2.4	NO _x (Οξειδία του αζώτου)	16
1.2.5	O _x (O ₃ +NO ₂)	18
1.2.6	Ο ρολος των NO _x & VOC _s στην χημεία της τροποσφαιρας	19
1.2.7	CO (Μονοξείδιο του άνθρακα)	20
1.2.8	Φωτοχημικό νέφος	21
1.3	Επίδραση μετεωρολογικών παραμέτρων στους ρύπους	23
1.4	Μελέτες για την ατμοσφαιρική ρύπανση	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1	Τοπογραφία της πόλης της Θεσσαλονίκης	35
2.2	Δίκτυο ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη	36
2.2.1	Δίκτυο σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας	36
2.2.2	Δίκτυο σταθμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης τμήματος περιβάλλοντος Δήμου Θεσσαλονίκης	39
2.3	Θεωρία στατιστικών μεθόδων	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1	Μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ρύπων O ₃ , NO _x , O _x και CO κατά την διάρκεια των ετών 1989-2009	47
3.2	Συσχέτιση ρύπων σε όλους τους σταθμούς στο διάστημα 2001-2005, καθόλη τη διάρκεια, κατά την ψυχρή και θερμή περίοδο του έτους	53
3.2.1	Συσχέτιση του O ₃ μεταξύ των σταθμών καθόλη τη διάρκεια, την θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους	53
3.2.2	Συσχέτιση του NO _x μεταξύ των σταθμών καθόλη τη διάρκεια, την θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους	58

3.2.3	Συσχέτιση του O_x μεταξύ των σταθμών καθόλη τη διάρκεια, την θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο		
4.1	Μέση ημερήσια κύμανση των ρύπων στους σταθμούς της περιφέρειας κατά την διάρκεια της περιόδου 2001-2005	71
4.2	Μέση ημερήσια κύμανση των ρύπων στους σταθμούς της περιφέρειας κατά την διάρκεια της ψυχρής και θερμής περιόδου στο διάστημα 2001-2005	75
4.3	Μέση εποχική κύμανση των ρύπων στους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς της Θεσσαλονίκης στο διάστημα 2001-2005	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο		
5.1	Επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων στη μεταβολή των ρύπων κατά τη διάρκεια του διαστήματος 2001-2005	101
5.2	Επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στη μεταβολή των ρύπων κατά τη διάρκεια του διαστήματος 2001-2005	102
5.3	Επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου στη μεταβολή των ρύπων κατά τη διάρκεια του διαστήματος 2001-2005	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο		
6.1	Επίδραση της σχετικής υγρασίας στη μεταβολή των ρύπων κατά τη διάρκεια του διαστήματος 2001-2005	135
6.2	Επίδραση της θερμοκρασίας στη μεταβολή των ρύπων κατά τη διάρκεια του διαστήματος 2001-2005	147
6.3	Επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων στην αυξομείωση της ρύπανσης με τη χρήση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης	161
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		170
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		180
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		185
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		195
ABSTRACT		197

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΡΥΠΟΥ

Ατμοσφαιρικός ρύπος, ονομάζεται κάθε είδους ουσίας, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. (Ζάνης, 2008).

1.1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν αποτελεί φαινόμενο της εποχής που διανύεται. Από αρχαιοτάτων χρόνων και από την στιγμή που ο άνθρωπος ξεκίνησε το σχηματισμό κοινωνιών, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτέλεσε και αποτελεί, αναπόσπαστο στοιχείο της ανάπτυξης του.

Ήδη από το 530 π.χ απαγορεύεται στον κόλπο του Τάραντα η λειτουργία των καμινιών για να περιοριστεί ο καπνός, ενώ την ίδια περίοδο ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) αναφέρεται στην δυσάρεστη και ερεθιστική οσμή από την καύση του άνθρακα εντός των πόλεων. Αργότερα στην αρχαία Ρώμη ο Οράτιος (65-8 π.Χ.) αναφέρεται στο «μαύρισμα» των κτιρίων από χιλιάδες φωτιές κατά την καύση ξύλων, ενώ ο Σενέκας (4 π.Χ.-65 μ.Χ.) γράφει για αποπνικτικές συνθήκες, στην ατμόσφαιρα της Ρώμης.

Πολύ αργότερα, την περίοδο του Μεσαίωνα, περιγράφονται τα προβλήματα που ανακύπτουν από την θέρμανση του ασβεστόλιθου για την παραγωγή ενεργού ασβέστη, όπου απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες οργανικών αερίων, σωματιδίων, NO_x και CO₂. Οι εκλύσεις αυτών των ρύπων φτάνουν σε τέτοιο βαθμό, που ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} απαγορεύει το 1307, την χρήση του

κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου. Μαρτυρίες αναφέρουν, ότι επιβάλλονται σημαντικά πρόστιμα αλλά και κατασχέσεις στους παραβάτες, ενώ η ισχύς των μέτρων αυτών τίθεται σε εφαρμογή για περίοδο 20 ετών. Το 1377 αναγνώριζεται η σημασία που διαδραματίζει το ύψος των καμινάδων στη ατμοσφαιρική ρύπανση και γι'αυτό θεσπίζονται όρια για τα ύψη αυτών στο Λονδίνο.

Μετά την πάροδο μερικών εκατοντάδων χρόνων, το 1750 ξεκινά η βιομηχανική επανάσταση και μαζί με αυτή η μαζική καύση του άνθρακα, η οποία συνοδεύεται με μεγάλης έκτασης ατμοσφαιρική ρύπανση. Το 1863, θεσπίζεται ο πρώτος νόμος που αφορά το περιβάλλον στη Βρετανία, ο οποίος και ονομάζεται Νόμος περί Αλκαλίων, ενώ το 1905 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ο όρος «καπνομίχλη» και τονίζονται οι βλάβες που προξενεί στην υγεία. Το 1930, πυκνό νέφος καπνού κάλυψε την περιοχή Meuse στο Βέλγιο, όπου υπήρχαν εργοστασιακές μονάδες με αποτέλεσμα να αρρωστήσουν πολλές χιλιάδες και να πεθάνουν 60 άνθρωποι τις επόμενες μέρες. Το 1940 εμφανίζεται το φωτοχημικό νέφος στο Λος Άντζελες ενώ ταυτόχρονα επισημαίνεται η συσχέτιση του με την χρήση των αυτοκινήτων. Το 1952 συμβαίνει ένα από τα χειρότερο επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς ένα νέφος καπνού, καλύπτει το Λονδίνο για δύο μέρες (αιθαλομίχλη) και τελικά καταλήγουν 4.000 άνθρωποι. Το νέφος αποδίδεται στην υπερβολική χρήση κάρβουνου για τη θέρμανση των σπιτιών. Μετά απ' αυτό, ψηφίζεται νόμος στην Αγγλία, που απαγορεύει τη χρήση κάρβουνου, ενώ παράλληλα επιτρέπεται η αντικατάστασή του από το πετρέλαιο.



Εικόνα 1. 1. Η επέκταση του Λονδίνου καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από αυτή. (*London Going out of Town*. George Cruikshank, 1829)

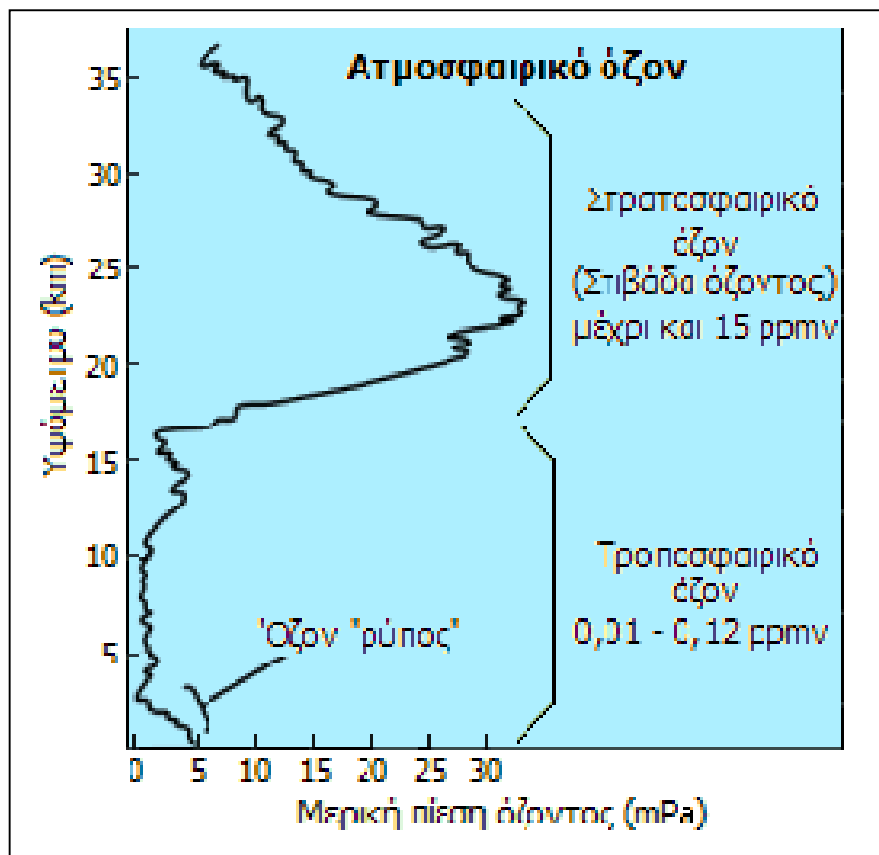
Κατά την διάρκεια της περιόδου 1950-1980, όλες σχεδόν οι Ευρωπαϊκές χώρες, καθώς και η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία, κατέχουν την εμπειρία σοβαρών προβλημάτων αέριας ρύπανσης στις μεγάλες πόλεις τους. Σαν αποτέλεσμα αυτού, έρχεται θέσπιση νομοθεσίας περί ελέγχου της αέριας ρύπανσης στις χώρες αυτές. Μετά το 1980, κάνουν την εμφάνιση τους όροι όπως, «το φαινόμενο του θερμοκηπίου», «η τρύπα του όζοντος», καθώς και ο όρος «παγκόσμια θέρμανση (*global warming*)». Την περίοδο αυτή, παρατηρείται εμφάνιση των πρώτων οικολογικών και περιβαλλοντικών Οργανισμών (WWF), ενώ υπογράφεται η πρώτη διακρατική συμφωνία για την προστασία του όζοντος, γνωστή και ως Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987. Λόγω της σοβαρής ανησυχίας που εγείρεται σχετικά με επιπλέον πιθανά μελλοντικά προβλήματα που θα ανακύψουν σε παγκόσμια κλίμακα, τίθεται σε ισχύ μία διακρατική συμφωνία στις 16 Φεβρουαρίου 2005, γνωστή ως Πρωτόκολλο του Κιότο. Την συμφωνία υπογράφουν σχεδόν όλα τα έθνη, ενώ αυτή υπαγορεύει την λήψη μέτρων, που θα οδηγήσουν σε μείωση κάτω του 5% των επιπέδων των ρύπων του 1990 στην ατμόσφαιρα, μεταξύ των ετών 2008-2012. (Ζάνης, 2008; Μελάς 2000; Γ3;Γ11)

1.2 ΑΕΡΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟΥ ΝΕΦΟΥΣ

Ως αέριοι ρύποι, είναι δυνατόν να θεωρηθούν πολλά αιωρούμενα υλικά που συνιστούν ένα ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Η συγκέντρωση κάθε υλικού καθώς και επίπτωση αυτού σε περιβάλλον και άνθρωπο, καθορίζουν το χαρακτηρισμό του κάθε ρύπου ως σημαντικό. Οι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Αν εκπέμπεται απευθείας από μία πηγή ρύπανσης τότε ο ρύπος αυτός χαρακτηρίζεται ως πρωτογενής ρύπος, ενώ αν παράγεται μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων από άλλους πρωτογενείς, χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής ρύπος. Ακολουθώντας παρατίθενται οι σημαντικότεροι ρύποι καθώς και οι πηγές τους.

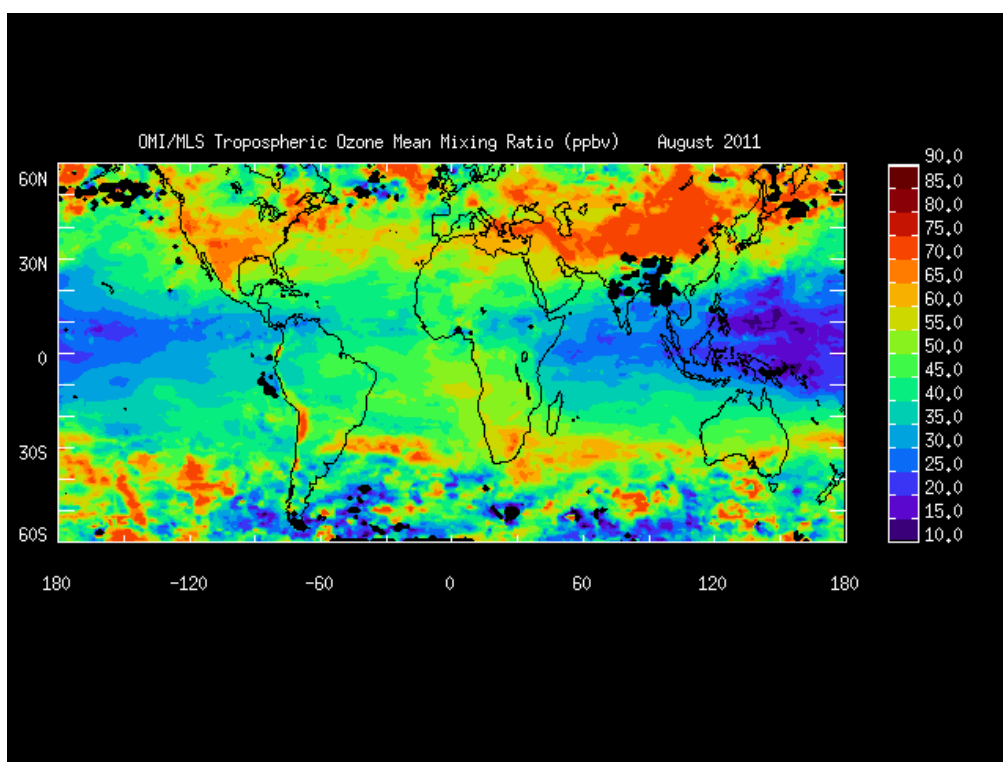
1.2.1 Ο₃ (Οζον)

Το όζον είναι αέριο, με ελαφρά κυανό χρώμα και έντονη οξειδωτική δράση. Γίνεται αντιληπτό σε μεγάλες συγκεντρώσεις ή και μεγάλα στρώματα, χαρακτηρίζεται από δυσάρεστη οσμή σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις, η οποία θυμίζει περίπου την οσμή του χλωρίου, κατά την οξείδωσή του. Το όζον αποτελεί αέριο το οποίο, δεν εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα, αλλά παράγεται μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων (δευτερογενής ρύπος). Ο συγκεκριμένος ρύπος, δημιουργείται κυρίως μέσω μιας σειράς πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων, που εκκινούν με την ύπαρξη του ηλιακού φωτός. Το όζον δημιουργείται τόσο στην στρατόσφαιρα, όσο και στην τροπόσφαιρα. Περίπου το 90% της συνολικής παραγωγής του, δημιουργείται στην στρατόσφαιρα ενώ το υπόλοιπο 10% στην τροπόσφαιρα (Ζάνης, 2008). Το όζον που αναπτύσσεται στην στρατόσφαιρα, απορροφά την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία (<400nm), δημιουργώντας κατ' αυτό τον τρόπο ασπίδα προστασίας απέναντι στα συγκεκριμένα μήκη κύματος ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1. 2. Κατακόρυφη κατανομή του όζοντος στην ατμόσφαιρα. (Γ5)

Από την άλλη, το όζον που παρευρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα, λόγω της έντονης οξειδωτικής δράσης του, σε μεγάλες συγκεντρώσεις κυρίως, επιφέρει βλάβες τόσο στην χλωρίδα, όσο και στην πανίδα και θεωρείται ρύπος. Οι δύο παραπάνω ιδιότητες του όζοντος στην στρατόσφαιρα και στην τροπόσφαιρα, έχουν οδηγήσει πολλές φορές στο διττό χαρακτηρισμό του, ως καλό και κακό όζον αντίστοιχα.



Εικόνα 1. 3. Τροποσφαιρικό O_3 σε παγκοσμία κλίμακα (NASA 2011)

1.2.2 ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί αέριο το οποίο, δεν εκπέμπεται απευθείας στην ατμόσφαιρα αλλά παράγεται μετά από μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Οι χημικές αντιδράσεις είναι φωτοχημικού χαρακτήρα, λόγω της μεγάλης επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτές. Μέσω διαφόρων πρωτογενών

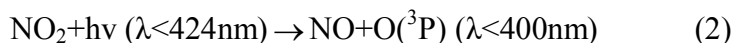
ρύπων και της αλληλεπίδρασης αυτών με άλλους, παράλληλα με την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργούνται μηχανισμοί που οδηγούν στην παραγωγή όζοντος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότεροι από αυτούς:

A. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η σημαντικότερη αντίδραση παραγωγής όζοντος στην ατμόσφαιρα είναι αυτή ανάμεσα στο ατομικό και το μοριακό οξυγόνο :



όπου M είναι μία τρίτη ουσία. Σε μεγάλα υψόμετρα (πάνω από 20 Km), δηλαδή στην στρατόσφαιρα, το ατομικό οξυγόνο παράγεται με τη φωτοδιάσπαση του μοριακού οξυγόνου από το τμήμα της ακτινοβολίας στο βαθύ υπεριώδες. Η πηγή ωστόσο του ατομικού οξυγόνου, στο ύψος της τροπόσφαιρας, όπου φτάνει μόνο η ακτινοβολία με μήκη κύματος μεγαλύτερα των 280nm, προέρχεται από άλλα μόρια. Η σημαντικότερη παραγωγή ατομικού οξυγόνου πραγματοποιείται από τη φωτοδιάσπαση του διοξειδίου του αζώτου.



Ακολουθώς, το $\text{O}(^3\text{P})$ που προκύπτει αντιδρά με ένα μοριακό O_2 και παράγεται το O_3 όπως διακρίνεται και από την (1). (Ζάνης, 2008)

B. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ

Οι παραπάνω αντιδράσεις (1) και (2) αποτελούν το βασικό μηχανισμό που οδηγεί στην παραγωγή όζοντος, αφού το NO_2 αποτελεί την βασική ένωση, της οποίας η μετατροπή οδηγεί στην δημιουργία όζοντος. Από το σημείο αυτό και μετά, όζον μπορεί να δημιουργηθεί και μέσω άλλων φωτοχημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην δημιουργία NO_2 , πέραν της (2). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρασκευή NO_2 και εν συνεχεία η δημιουργία O_3 , μέσω της

οξειδωσης του μονοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με την ελεύθερη ρίζα υδροξυλίου, αντίδραση η οποία οδηγεί στην απελευθέρωση κατιόντος υδρογόνου. Στη συνέχεια, το κατιόν αντιδρά με μοριακό οξυγόνο και οδηγεί στην δημιουργία μίας υδρο-υπερόξυ ρίζας (HO_2). Αν η συγκέντρωση του NO , είναι αρκετά μεγάλη, τότε το μονοξείδιο του αζώτου αντιδρά με την υδρο-υπερόξυ ρίζα απ' όπου και σχηματίζεται το NO_2 .



Στην συνέχεια το παραχθέν NO_2 , οδηγεί επίσης στην δημιουργία όζοντος, σύμφωνα με τις αντιδράσεις (2) και (1). Αυτό που θα πρέπει να αναφερθεί όσον αφορά την αντίδραση αυτή, είναι ότι για να δημιουργηθεί O_3 μέσω του CO , σημαντική παράμετρος αποτελεί η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων NO . Αν δεν είναι επαρκής η ποσότητα NO ώστε να αντιδράσει, δεν δημιουργείται NO_2 και συνεπώς ούτε και O_3 . Το παραπάνω γεγονός εξάρτησης της δημιουργία O_3 από την συγκέντρωση των NO , αποδεικνύει την άρρηκτη αλληλεξάρτηση που έχουν τα NO_x με το O_3 (Ζάνης, 2008;Γ4).

Γ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

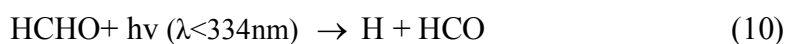
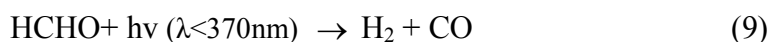
Όπως και παραπάνω, έτσι και στην περίπτωση της παραγωγής όζοντος μέσω μεθανίου, αντικειμενικός στόχος είναι η παραγωγή NO_2 , αφού από την στιγμή που δημιουργείται αυτό, μέσω των αντιδράσεων (2) και (1), παράγεται όζον. Οι αντιδράσεις (6),(7) και (8) καταδεικνύουν τον τρόπο που παράγεται NO_2 , μέσω του προαναφερθέντα υδρογονάνθρακα.



Από τις παραπάνω αντιδράσεις διακρίνεται ο σχηματισμός της μέθυλο-υπερόξυ ρίζας (CH_3O_2), που σε αντιστοιχία με την υδρο-υπερόξυ ρίζας (HO_2) οδηγεί και πάλι στο σχηματισμό NO_2 εφόσον βέβαια η ποσότητες του NO είναι σε επίπεδα τέτοια, που να μπορούν να υποστηρίξουν του παραπάνω είδους μηχανισμούς. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η παραγωγή όζοντος μέσω της οξειδωσης του CH_4 , είναι μία διαδικασία που πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό (αν οι ποσότητες NO επαρκούν), δεδομένου του μεγάλου χρόνου παραμονής του μεθανίου αλλά και της μεγάλης αφθονίας της ένωσης αυτής στην ατμόσφαιρα. (Ζάνης, 2008).

Α. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗΣ

Η παραγωγή όζοντος μέσω της HCHO , αποτελεί ακόμη έναν τρόπο με τον οποίο παράγεται ο ρύπος που μελετάται. Ωστόσο, βασικός άξονας επίσης και αυτών των αντιδράσεων είναι η παραγωγή NO_2 . Η συγκεκριμένη παραγωγή επιτυγχάνεται μέσω των αντιδράσεων (9), (10) και (11). Η φορμαλδεΰδη, φωτολύεται με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος παρουσιάζεται στην αντίδραση 9, κατά την οποία παράγεται CO , κύκλος παραγωγής όζοντος που έχει αναλυθεί και παραπάνω. Ο δεύτερος τρόπος καταδεικνύεται από την αντίδραση 10, κατά την οποία παράγεται η ρίζα HCO . Η ρίζα αυτή, αντιδρά με μοριακό O_2 (11), παράγοντας μονοξείδιο του άνθρακα και υδρο-υπερόξυ ρίζα. Η υδρο-υπερόξυ ρίζα, μέσω της αντιδράσεων (5),(2) και (1), οδηγεί επίσης στην παραγωγή όζοντος.



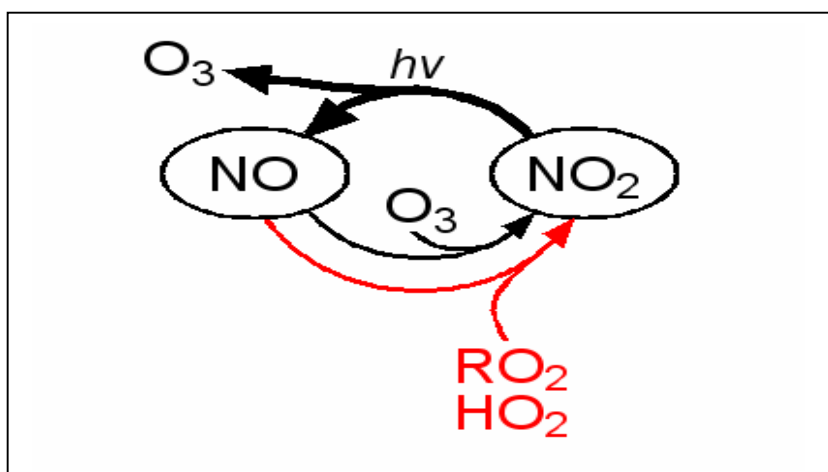
Η φορμαλδεΰδη παράγει HCO και μέσω της αντίδρασης (12)



Οι αντιδράσεις (9), (10),(11) και (12), πιστοποιούν την μεγάλη σημασία που διαδραματίζει η φορμαλδεΰδη στο σχηματισμό όζοντος. Η συνεισφορά αυτής στο

σχηματισμό O_3 πραγματοποιείται όχι τόσο άμεσα, αλλά έμμεσα, δεδομένης της ευκολίας αυτής να παράγει CO από την μία, και HCO από την άλλη, που οδηγεί με την σειρά της στην παραγωγή υδρο-υπερόξυ ρίζας (Zάνης, 2008).

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι πέρα από τις παραπάνω αντιδράσεις που παρουσιάστηκαν, υπάρχουν και άλλες, όπως οι οξειδώσεις υδρογονανθράκων (αλκανίων, αλκενίων), ακεταλδεϋδων και αλκοολών, οι οποίες οδηγούν στο σχηματισμό O_3 , μέσω του σχηματισμού υδρο-υπερόξυ (HO_2) ή αλκυλο-υπερόξυ (RO_2) ριζών και αντίδρασης τους με το NO. Από όλες τις παραπάνω διαδικασίες, γίνεται κατανοητή η σημασία της ύπαρξης, αλλά και της επίδρασης υδρογονανθράκων, μέσω των υδρο-υπερόξυ (HO_2) ή αλκυλο-υπερόξυ (RO_2) ριζών, οι οποίες αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου, μετατοπίζοντας καταυτό τον τρόπο την ισορροπία O_3 - NO_x προς όφελος σχηματισμού του όζοντος.

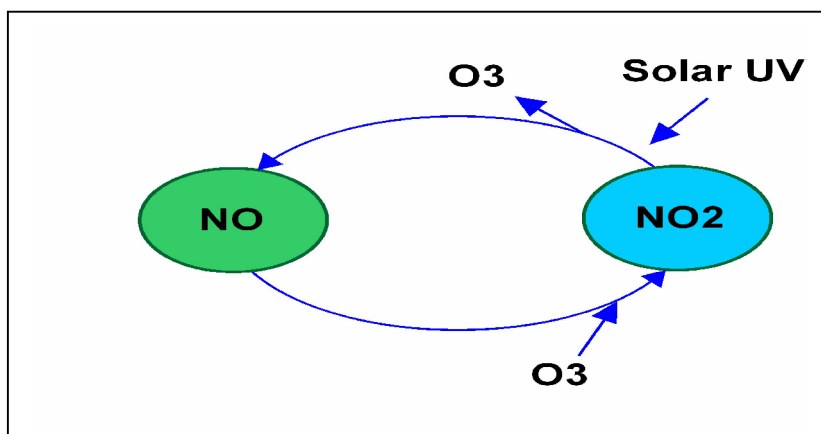


Εικόνα 1. 4. Επίδραση των υδρο-υπερόξυ ριζών (HO_2) και αλκυλο-υπερόξυ ριζών (RO_2) στον κύκλο O_3 - NO_2 - NO , που οδηγεί στη παραγωγή όζοντος. (Zάνης, 2008) .

1.2.3 ΧΗΜΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Από τις φωτοχημικές αντιδράσεις παραπάνω, παρατηρήθηκε ότι, κατά την διάρκεια της ημέρας, η ηλιακή ακτινοβολία δρα υπέρ του σχηματισμού του όζοντος ανάμεσα στην ισορροπία O_3 - NO_x , αφού το NO_2 καταστρέφεται υπέρ της δημιουργίας όζοντος. Ωστόσο κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου η απουσία ηλιακής

ακτινοβολίας είναι δεδομένη, η ισορροπία O_3 - NO_x αντιστρέφεται και μέσω της αντίδρασης (13), το O_3 καταστρέφεται σε όφελος του NO_2 (Ζάνης, 2008).



Εικόνα 1. 5. Αμοιβαία αλληλεπίδραση του O_3 με τα NO_x . (Reddy 2008)

Παρά την παραπάνω αντίδραση που πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας, υπάρχουν και μηχανισμοί που πραγματοποιούνται στην διάρκεια της ημέρας. Οι αντιδράσεις αυτές πραγματοποιούνται την έμμεση καταστροφή του όζοντος, μέσω των αντιδράσεων ιδίων μορίων υδρο-υπερόξυ (HO_2) και αλκυλο-υπερόξυ ριζών (RO_2), δεδομένης της σημασίας αυτών για την παραγωγή όζοντος.



Οι ενώσεις H_2O_2 (υπεροξείδιο του υδρογόνου) και $ROOH$ (οργανικά ύδρο υπεροξείδια) που σχηματίζονται είναι υδροδιαλυτές, με αποτέλεσμα μέσω οποιοδήποτε μορφής υετού να απομακρύνονται. Η μείωση των παραπάνω ριζών, μειώνει ουσιαστικά την πιθανότητα αντίδρασης αυτών με το NO και συνεπώς μειώνει έμμεσα μεν αλλά αποτελεσματικά δε, την συγκέντρωση του όζοντος.

Επιπλέον, το O_3 είναι δυνατόν να καταστραφεί και μέσω της αντίδρασης (17), κατά την οποία υδρο-υπερόξυ ρίζα, αντιδρά με O_3 ελλείψη οξειδίων του αζώτου.



Δύο ακόμη μηχανισμοί που συνεισφέρουν στην καταστροφή του όζοντος, είναι η αντιδράση (18) γνωστή και ως φωτόλυση του όζοντος καθώς και η (19) ακολούθως, η αντίδραση του O_3 με το OH που αναφέρεται γενικά και ως «απορρυπαντικό της ατμόσφαιρας» λόγω των αντιδράσεων του με πολλές ενώσεις της ατμόσφαιρας.



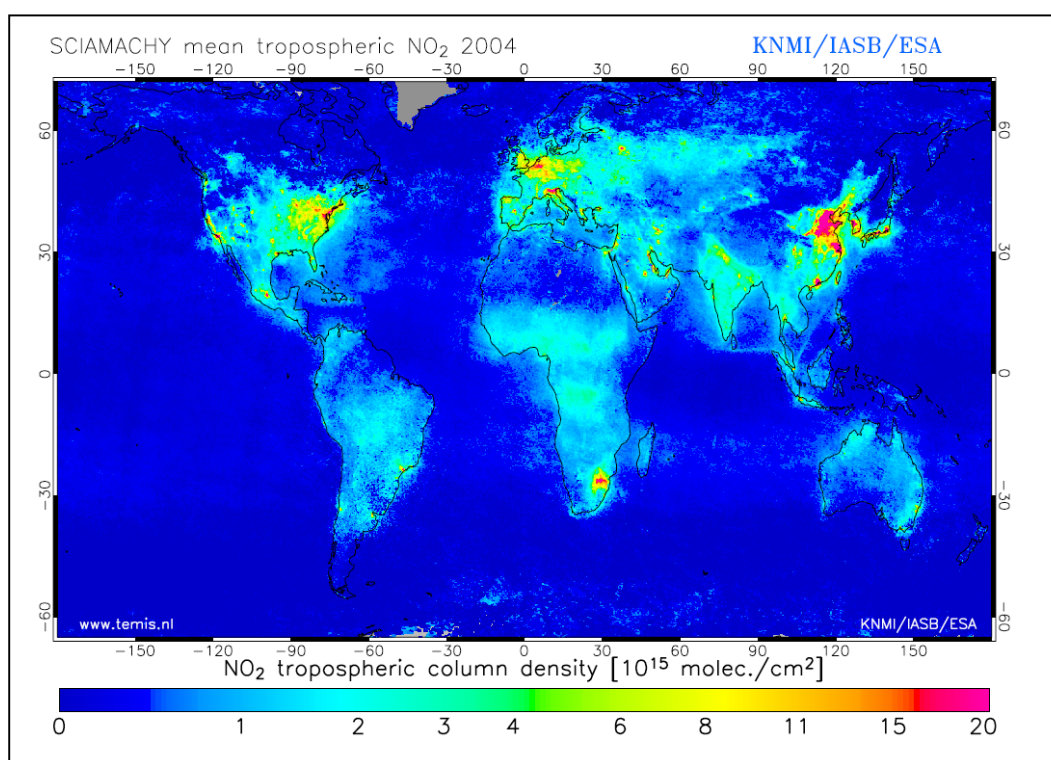
Από τις αντιδράσεις παραπάνω, κατανοείται ότι όσο για την δημιουργία, όσο και για την καταστροφή του όζοντος πρωτεύοντα ρόλο, είτε άμεσο είτε έμμεσο, διαδραματίζουν τα NO_x . Μέσω της αντίδρασης αυτών με άλλους ρύπους, επιτυγχάνεται είτε η δημιουργία όζοντος σε βάρος τους (κατά την διάρκεια της ημέρας), είτε η καταστροφή του (απευθείας αντίδραση με O_3 ή ελλείψη των NO_x). (Ζάνης, 2008).

1.2.4 NO_x (Οξείδια του αζώτου)

Ως NO_x ορίζονται όλες οι αζωτούχες ενώσεις με οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες, οι οποίες παράγονται είτε από φυσικές είτε από ανθρωπογενείς διεργασίες. Οι κυριότερες και συνηθέστερες ενώσεις από τα οξείδια αυτά, είναι το μονοξείδιο NO και το διοξείδιο του αζώτου NO_2 . Τα περισσότερα από αυτά είναι άχρωμα και άοσμα. Ωστόσο το διοξείδιο του αζώτου σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης της ατμόσφαιρα διαφαίνεται ως ένα κόκκινο-καφέ στρώμα πάνω από πολλές αστικές περιοχές.

Οι παραπάνω αζωτούχες ενώσεις, παράγονται κατά την ανάφλεξη των καυσίμων, δηλαδή κατά την καύση τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια πηγές έκλυσης οξειδίων του αζώτου είναι κυρίως τα αυτοκίνητα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα οι βιομηχανίες. Η μόλυνση της ατμόσφαιρας δημιουργείται και με έμμεσους τρόπους, αφού όλα τα οξείδια του αζώτου είναι αέρια, πολύ δραστικά και πραγματοποιούν εύκολα αντιδράσεις μέσα στην ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας τη χημεία της και κατά συνέπεια τη σύσταση της, με

τη δευτερογενή δημιουργία νέων ρύπων. Τα οξείδια του αζώτου, συνεισφέρουν στην δημιουργία του όζοντος, διαφόρων τοξικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, στη δημιουργία τοξικής βροχής με όλες τις συνέπειες στον υδροφόρο ορίζοντα αλλά και στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας που μειώνουν την ορατότητα της. Κύριο χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου και των παραγώγων τους ρύπων, είναι ότι μεταφέρονται ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις ακολουθώντας την πορεία των ανέμων που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Το γεγονός αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα οι δυσμενείς επιπτώσεις των NO_x , να εμφανίζονται όχι μόνο γύρω από την εστία παραγωγής τους, αλλά και σε άλλες περιοχές μακριά από το σημείο εκπομπής. (Ζάνης, 2008).



Εικόνα 1. 6. Τροποσφαιρικό NO_2 - Πηγές NO_2 παγκοσμίως (ESA 2004)

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των NO_x είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. (Γ4)

Οι κυριότερες φυσικές πηγές οξειδίων του αζώτου κατά σειρά σημαντικότητας, είναι (IPCC) :

1. Το έδαφος
2. Οι πυρκαγιές

3. Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις στην ατμόσφαιρα
4. Αναφορικά με την τροπόσφαιρα, μεταφορά ποσοτήτων NO_x σε αυτή από την στρατόσφαιρα.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές οξειδίων του αζώτου κατά σειρά σημαντικότητας, είναι (IPCC) :

1. Καύση υγρών και στερεών υλών στο έδαφος
2. Στερεά απόβλητα
3. Καύση υδρογονανθράκων σε μηχανές εσωτερικής καύσεως.

Όσο δε αφορά τις πηγές δημιουργίας NO_x , στην τροπόσφαιρα και δη σε αστικό περιβάλλον, σύμφωνα με τους *Lin et al. (2011)* οι κυριότερες πηγές παραγωγής NO_x είναι:

1. 74% Μέσα μεταφοράς
2. 13% Βιομηχανικές μονάδες
3. 11% Οικιακή θέρμανση
4. 2% Μονάδες παραγωγής ενέργειας

1.2.5 O_x ($\text{O}_3 + \text{NO}_2$)

Ως O_x χαρακτηρίζονται αθροιστικά, όλα τα μόρια όζοντος και διοξειδίου του αζώτου. Ο ρύπος αυτός στην πραγματικότητα δεν υφίσταται ως μόριο, αλλά ως θεωρητικό άθροισμα δύο μορίων, τού όζοντος και του διοξειδίου του αζώτου. Η μέτρηση των συγκεκριμένων ρύπων αθροιστικά, δίνει μία ολοκληρωμένη εικόνα της ρύπανσης σε μία περιοχή. Η άρρηκτη αλληλεξάρτηση των δύο ρύπων μεταξύ τους, καθώς και το βραχύ χρονικό διάστημα αλληλομετατροπής αυτών, δεν μπορούν να δώσουν ολοκληρωμένα συμπεράσματα για την ρύπανση μίας περιοχής σε O_3 ή NO_2 , αφού παραλλήλως ένας ρύπος καταστρέφεται προς όφελος του άλλου και αντιστρόφως. Τα O_x συντηρούνται στο χρόνο περισσότερο για μικρές χρονικές κλίμακες σε σχέση με τα O_3 ή NO_x (*Kley et al, 1993*). Αυτό ωθεί στην χρησιμοποίηση των O_x , με σκοπό την απόκτηση μίας καλύτερης εικόνας των συγκεντρώσεων του O_3 και του NO_2 συνολικά σε μία περιοχή.

Όσον αφορά τις πηγές εμφάνισης και δημιουργίας των O_x , θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή και οι δύο ρύποι που τα συνιστούν είναι δευτερογενείς, δεν υπάρχουν άμεσες πηγές δημιουργίας των O_x , αλλά έμμεσες και μόνο μέσω χημικών αντιδράσεων πρωτογενών ρύπων. Καταυτή την λογική, γίνεται κατανοητό, ότι οι αντιδράσεις που δημιουργούν συνολικά O_3 και NO_2 είναι και οι βασικές αντιδράσεις παραγωγής O_x συνολικά. (Ζάνης, 2008).

1.2.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ NO_x & VOC_s ΣΤΗΝ ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑΣ.

Ο κύριος ρόλος των NO_x & VOC_s στην τροπόσφαιρα είναι η παραγωγή τροποσφαιρικού O_3 το οποίο είναι ιδιαίτερα τοξικό αέριο και έχει επιπτώσεις σε πολλούς τομείς. Το όζον σχηματίζεται στην τροπόσφαιρα ως αποτέλεσμα αλυσίδας χημικών αντιδράσεων κάποιων πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds-VOCs) και οξειδίων του αζώτου (Oxides of Nitrogen- NO_x , NO και NO_2), υπό συνθήκες έντονης ηλιακής ακτινοβολίας. Ο βαθμός σχηματισμού του όζοντος εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα, καθώς επίσης και από τη συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου και το χρόνο έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Γενικά η παρουσία NO_2 ευνοεί τη δημιουργία O_3 σύμφωνα με τις αντιδράσεις (2) (1) παραπάνω. Τα VOC_s είναι ενώσεις οι οποίες είναι πρωτογενείς ρύποι και παράγουν έμμεσα όζον. Τα VOC_s οξειδώνονται μέσω της ρίζας του υδροξυλίου OH και δίνουν τις ελεύθερες ρίζες ύδρο-υπερόξυ HO_2 και αλκύλο-υπερόξυ RO_2 . Στη συνέχεια αυτές οι ρίζες δημιουργούν NO_2 μέσω των παρακάτω αντιδράσεων:



το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στη παραγωγή O_3 σύμφωνα με τις αντιδράσεις (1) και (2).

Οι ελεύθερες ρίζες αλκυλό-οξύ RO που παράγονται από την αντίδραση (20) αντιδρούν εύκολα με O₂ και σχηματίζουν αλδεΐδες και κετόνες σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Οι αλδεΐδες και κετόνες που παράγονται στη συνέχεια μπορούν εύκολα να οξειδωθούν ή να φωτολυθούν, οδηγώντας στη δημιουργία νέων αλκαλίων και επομένως σε μικρότερες αλκύλο-υπερόξυ RO₂ ελεύθερες ρίζες, οι οποίες με τη σειρά τους θα συμβάλουν στο σχηματισμό O₃ αφού θα οξειδώσουν εκ νέου μόρια NO και NO₂.

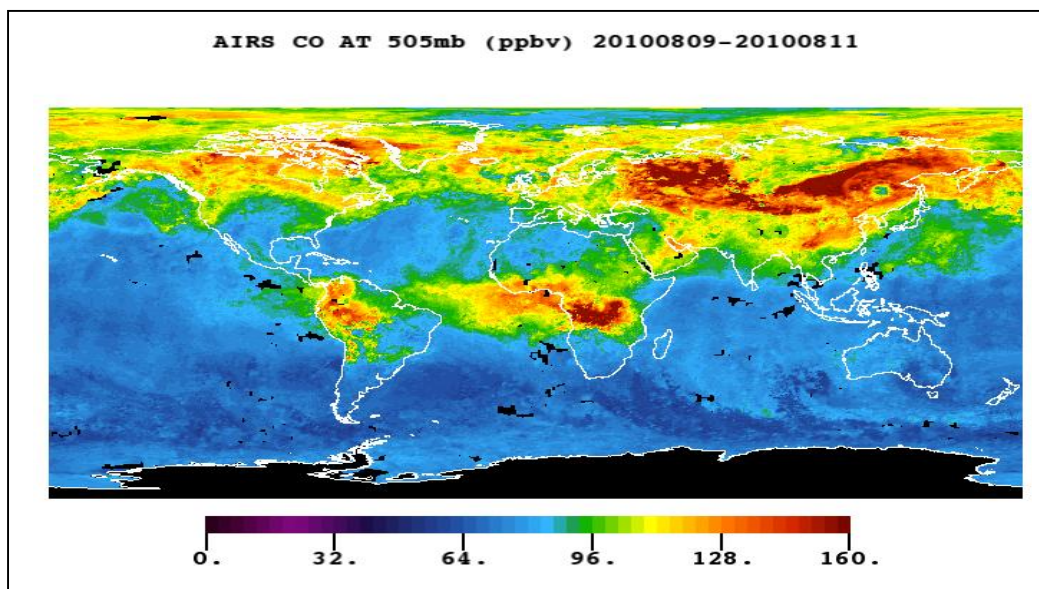
Από τα παραπάνω διακρίνεται ότι χωρίς τα VOC_s (προσφορά ελευθέρων ριζών) που προέρχονται κατά 70% από τα οχήματα στα αστικά κέντρα, το NO δεν μετατρέπεται επαρκώς σε NO₂ ώστε να επιτρέψει την αύξηση του O₃ στα επίπεδα που παρατηρούνται στις αστικές περιοχές. Αυτό φαίνεται από περιοχές με καθαρή ατμόσφαιρα με συγκέντρωση NO_x κάτω των 50 ppbv όπου το τροποσφαιρικό όζον καταστρέφεται από την ύδρο-υπερόξυ ρίζα σύμφωνα με τις αντιδράσεις (14), (15), (16) (Ζάνης, 2008).

1.2.7 CO (Μονοξείδιο του άνθρακα)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, άχρωμο, άγευστο, ελαφρύτερο του αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Το CO οξειδώνεται από την ελεύθερη ρίζα του OH σε CO₂, έχοντας χρόνος ζωής 2-4 μήνες και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του τροποσφαιρικού όζοντος.

Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής αλλά και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25%. Η σημαντικότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η

οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου, ενώ άλλες εξίσου φυσικές πηγές CO είναι οι πυρκαγιές και οι ωκεανοί (Ζάνης, 2008).



Εικόνα 1. 7. Δορυφορική επισκόπηση επιπέδων CO σε παγκόσμια κλίμακα (NASA) 2010

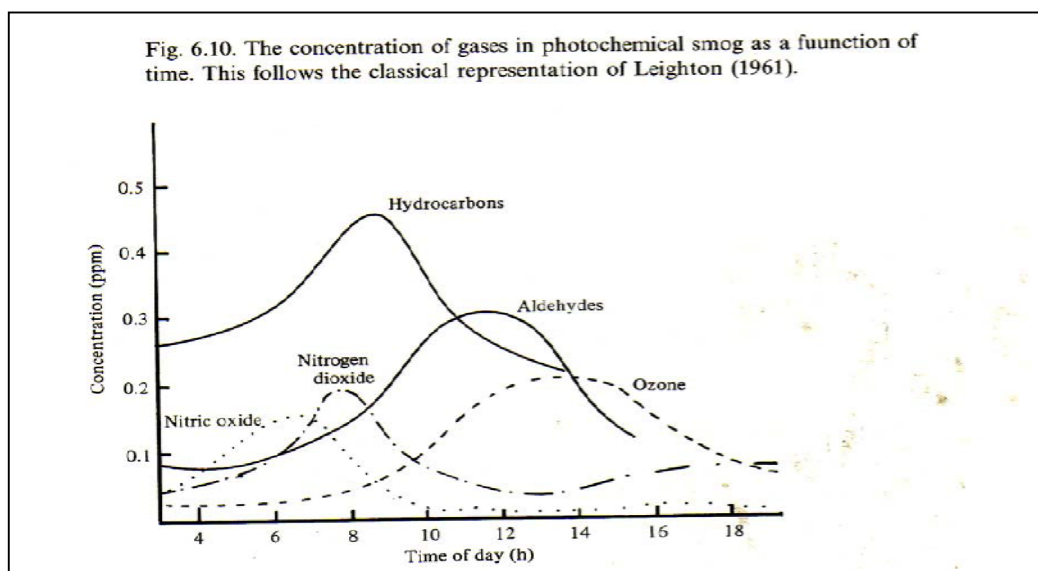
1.2.8

ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΟ ΝΕΦΟΣ

Παλαιότερα, όταν επικρατούσαν υψηλά επίπεδα ρύπανσης πάνω από μία πόλη, είχε επικρατήσει η χρησιμοποίηση του όρου «Νέφος». Αντίστοιχα το ίδιο φαινόμενο στη διεθνή ορολογία χαρακτηρίζεται ως SMOG (*αιθαλομίχλη*). Η λέξη προέρχεται από τις λέξεις SMOke (*αιθάλη*) και foG (*ομίχλη*). Η βιομηχανική αιθαλομίχλη προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανάλωση καυσίμων υλών, ειδικά κάρβουνου σε στάσιμες πηγές όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας και τα χυτήρια. Τα βασικά συστατικά της *βιομηχανικής αιθαλομίχλης* είναι τα οξείδια του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Συνδυάζεται συνήθως με υψηλή σχετική υγρασία και συχνά ονομάζεται και *Νέφος Αιθαλομίχλης*. Η αιθαλομίχλη σχηματίζεται ευκολότερα από την ομίχλη και διαρκεί περισσότερο απ' αυτήν. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι τοποθεσίες τις οποίες οι άνθρωποι επέλεξαν να χτίσουν τις περισσότερες πόλεις τους, χαρακτηρίζονται από κακό εξαερισμό, γεγονός το οποίο ευνοεί τον σχηματισμό αιθαλομίχλης. Μέχρι την δεκαετία του 1960, το Λονδίνο φημιζόταν για την πυκνή ομίχλη του, που σε πολλές περιπτώσεις περιόριζε την ορατότητα σε λίγα

μέτρα. Λόγω της κακής κυκλοφορίας του αέρα, η επίμονη ομίχλη πολλές φορές διαρκούσε αρκετές ημέρες (Μελάς 2000).

Την σημερινή εποχή, με την μετεξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αναγωγική (τύπου Λονδίνου) σε οξειδωτική (τύπου Λος Άντζελες), σε πολλές σύγχρονες πόλεις το φωτοχημικό νέφος προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων, τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας την φωτοχημική αιθαλομίχλη ή φωτοχημικό νέφος (Μελάς 2000). Όταν πραγματοποιείται αναφορά στο φωτοχημικό νέφος, γίνεται αναφορά και στην πόλη του Λος Άντζελες (ΗΠΑ), αφού με έναυσμα το σοβαρό πρόβλημα που αντιμετώπισε το Λος Άντζελες την δεκαετία του '60, εκκίνησαν οι πρώτες έρευνες για την εξήγηση του φαινομένου.



Εικόνα 1. 8. Κλασσική ημερήσια πορεία των συγκεντρώσεων των αερίων του φωτοχημικού νέφους (Ζάνης, 2008).

Μέσω των αποτελεσμάτων των ερευνών, διαπιστώθηκε ότι το φωτοχημικό νέφος (ή φωτοχημική καπνομίχλη) δημιουργείται από μία πολύπλοκη σειρά χημικών αντιδράσεων, που όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου από βιομηχανικές πηγές και αυτοκίνητα υπό την δράση του ηλιακού φωτός. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει κατά την διάρκεια της ημέρας, η ηλιακή ενέργεια επιταχύνει αυτές τις φωτοχημικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας όζοντος που παράγεται. Από αυτές τις

αντιδράσεις σχηματίζονται εκτός του όζοντος και άλλες δευτερογενείς ενώσεις στις οποίες συγκαταλέγονται τα NO_2 , HNO_3 και τα PAN που αποτελούν φωτοχημικούς ρύπους. Αντίστροφα, όταν η θερμοκρασία μειώνεται, οι χημικές αντιδράσεις επιβραδύνουν και το φωτοχημικό νέφος σπάνια δημιουργείται. Από τα παραπάνω λοιπόν, εξάγεται το συμπέρασμα, ότι η παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος και ο σχηματισμός φωτοχημικού νέφους, είναι ένα φαινόμενο που ευνοείται κατά την διάρκεια της ημέρας και των θερμών μηνών του έτους. (Ζάνης, 2008).

1.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ.

Η μετεωρολογία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του δυναμικού των ρύπων μιας περιοχής. Οι διάφοροι μετεωρολογικοί παράγοντες είτε επηρεάζουν άμεσα, είτε έμμεσα στην διαμόρφωση της συγκέντρωσης αυτών. Κάθε μετεωρολογική παράμετρος, επιδρά με διαφορετικό τρόπο σε κάθε ρύπο, δεδομένου ότι ένα συγκεκριμένο μετεωρολογικό φαινόμενο μπορεί να λειτουργεί προς όφελος του ρύπου, η να αποτελεί την καταβόθρα του. Αν και υπάρχουν πολλά μετεωρολογικά φαινόμενα που σχετίζονται με την διαμόρφωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα σημαντικότερα είναι:

1. Ταχύτητα Ανέμου
2. Διεύθυνση Ανέμου
3. Θερμοκρασία
4. Σχετική Υγρασία
5. Θερμοκρασιακή Αναστροφή
6. Υετός
7. Νέφωση-Συνοπτικά Συστήματα

A. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ.

Η επίδραση του ανέμου στην ρύπανση είναι πολύ σημαντική, αφού δρα τόσο μέσω της συνιστώσας της ταχύτητας, όσο και μέσω της συνιστώσας της διεύθυνσης στους ρύπους. Η διεύθυνση του ανέμου, καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι, ενώ η ταχύτητα του, προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον

ρυθμό αραίωσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, διότι από την μία, οριοθετεί την πορεία του ανέμου και άρα και την συγκέντρωση των ρύπων (ιδιαίτερα αν ο άνεμος ρέει πάνω από επιβαρυμένες ατμοσφαιρικά περιοχές), ενώ από την άλλη καθορίζει και τον τελικό προορισμό αυτών που έχουν μεταφερθεί. Ιδιαίτερη σημασία, αποκτά η συνιστώσα της διεύθυνσης του ανέμου, στην περίπτωση που η ρύπανση προέρχεται από σημειακές πηγές (π.χ. βιομηχανικές περιοχές) καθώς σε αυτή την περίπτωση, τα επίπεδα ρύπανσης σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αλλάξουν δραστικά, ακόμη και σε περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου αλλάξει κλίση μόνο κατά 10° . Από την άλλη, η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου, έχει ευεργετικές συνέπειες για το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, δεδομένου ότι μέσω αυτής επιτυγχάνεται πολλές φορές η μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων σε τοπικό επίπεδο, αν η τοπογραφία της περιοχής το επιτρέπει (Μελάς 2000).

Η δεύτερη συνιστώσα του ανέμου, η ταχύτητα, δρα εξίσου καταλυτικά στους ρύπους, αφού από την μία προσδιορίζει το πόσο γρήγορα θα απομακρυνθούν αυτοί από το σημείο εκπομπής τους, ενώ από την άλλη, κρίνει εάν θα λάβουν χώρα στον καθορισμό των επιπέδων ρύπανσης φαινόμενα, όπως η διάχυση ή διασπορά. Γενικότερα, ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την συγκέντρωση των ρύπων, υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση, που ωστόσο δεν λειτουργεί καθολικά για όλους, δεδομένου ότι υπάρχουν και ορισμένοι ρύποι όπως το όζον, των οποίων η σχέση των συγκεντρώσεων τους είναι αναλογική με την ταχύτητα.

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε τοπικής κλίμακα φαινόμενα ανέμου, καθώς η ποιότητα της ατμόσφαιρας σε μια περιοχή, επηρεάζεται και από τη δημιουργία διαφόρων συστημάτων κυκλοφορίας αέρα μικρής και μεσαίας κλίμακας, όπως η θαλάσσια αύρα. Το σύστημα κυκλοφορίας της θαλάσσιας αύρας, μπορεί να βελτιώσει ή να επιδεινώσει την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή που αναπτύσσεται, αφού καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τις συνθήκες στασιμότητας, αερισμού και επανακυκλοφορίας στην ατμόσφαιρα (Μελάς 2000).

B. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.

Η θερμοκρασία, αποτελεί σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Η θερμοκρασία, αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα και συνεπώς καθορίζει την δημιουργία ή την καταστροφή των ρύπων. Επιπλέον, η μετεωρολογική αυτή παράμετρος, δρα εμμέσως στην αυξομείωση των επιπέδων ρύπανσης της ατμόσφαιρας, αφού συνδέεται με φαινόμενα που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή ρύπων. Οι μεταβολές στην θερμοκρασία συνδέονται με μεταβολή της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία συνδέεται από την μία με την μεταβολή του οριακού στρώματος και συνεπώς με την αύξηση ή μείωση των ρύπων, ενώ από την άλλη με την παραγωγή δευτερογενών ρύπων, μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. (16)

Γ. ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.

Σχετική Υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ο λόγος της παρατηρούμενης αναλογίας μίγματος προς την αναλογία μίγματος του κορεσμένου ατμοσφαιρικού αέρα ο οποίος βρίσκεται στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως (Μακρογιάννης-Σαχσαμάνογλου, 1985). Η σχετική υγρασία, συσχετίζεται γενικά εμμέσως όπως και η θερμοκρασία, με την παραγωγή ή την ελάττωση των ρύπων. Ωστόσο η μεταβολή της σχετικής υγρασίας, επηρεάζει σε μικρό βαθμό την αυξομείωση των ρύπων σε σχέση με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους. Όσον αφορά τον ρύπο τον οποίο πραγματεύεται το μεγαλύτερο μέρος της μελέτης, το O_3 , διακρίνεται ότι γενικότερα η αύξηση της υγρασίας, συνεπάγεται συνήθως την μείωση του όζοντος. Αυτό διακρίνεται κυρίως μέσω των αντιδράσεων (17) αλλά και του σχήματος 6.3. Η αυξημένη υγρασία συνοδεύεται από υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών. Η αυξημένη συγκέντρωση H_2O , σε συνδυασμό με την αντίδραση (18) δημιουργούν OH . Οι μεγάλες ποσότητες OH που δημιουργούνται οδηγούν στο σχηματισμό HO_2 (υδρο-υπερόξυ ριζών), οι οποίες μέσω της αντίδρασης (19) καταστρέφει τα μόρια του όζοντος. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι όπως προκύπτει και από τα διαγράμματα 6.6 και 6.12 παρακάτω, η σχετική υγρασία δεν επηρεάζει ιδιαίτερα ούτε τα NO_x ούτε και το CO . Για τον λόγο αυτό, κατανοείται ότι

ο ρόλος της υγρασίας δεν είναι καθοριστικός και σίγουρα όχι άμεσος στην διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των ρύπων στην τροπόσφαιρα

Δ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ.

Η θερμοκρασιακή αναστροφή, αποτελεί, μετεωρολογικό φαινόμενο κατά το οποίο, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αρχίζει να αυξάνεται αντί να μειώνεται συναρτήσει του ύψους. Αναστροφές σχηματίζονται όταν κατά τη διάρκεια της νύχτας η γη λόγω έντονης ακτινοβολίας, ψύχεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα στρώματα αέρα κοντά στο έδαφος ψύχονται επίσης, ενώ τα υπερκείμενα διατηρούν αυξημένες θερμοκρασίες. Επίσης, αναστροφή μπορεί να συμβεί όταν η θαλάσσια αύρα ή τα ψυχρά ρεύματα από τις πλαγιές των βουνών, εκτοπίσουν το ζεστό αέρα της επιφανείας του εδάφους. Αυτό συνεπάγεται ότι σε ένα ύψος 200-400 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, εγκαθίσταται το θερμότερο στρώμα της αναστροφής το οποίο εμποδίζει τις ανοδικές κινήσεις των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Καταυτό το τρόπο, ο χώρος διαχύσης των ρύπων, περιορίζεται μόνο στη λεπτή στρώση μεταξύ του εδάφους και του στρώματος της θερμοκρασιακής αναστροφής με αποτέλεσμα την συμπίκνωση των ρύπων και συνεπώς την αύξηση της συγκέντρωσής τους. (Μπαλαφούτης, 1985;Γ12)

Ε. ΥΕΤΟΣ.

Η διεργασία της απόθεσης γενικότερα, αποτελεί σημαντική καταβόθρα για τους ρύπους, καθώς είτε η ξηρή είτε η υγρή απόθεση, οδηγεί τους ρύπους στο έδαφος, με αποτέλεσμα τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Όλες οι μορφές υετού όπως (βροχή, χιόνι), επιδρούν στην μείωση υδροδιαλυτών και μόνο ρύπων, δεδομένου ότι, σημαντικές ποσότητες των συγκεκριμένων, μεταφέρονται μέσω του υετού (υγρή απόθεση) στο έδαφος. Οι ρύποι αυτοί, εγκλωβίζονται μέσα στην κάθε μορφή ατμοσφαιρικού κατακρημνίσματος, κατά το σχηματισμό τους και εγκαταλείπουν την ατμόσφαιρα μέσω της απόπλυσης που πραγματοποιείται. (Γ6). Με βάση την παραπάνω διαδικασία, οι πρόδρομες ενώσεις (precursor species) όπως τα NO_x , HNO_3 και VOC_s οι οποίες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την συγκέντρωση του O_3 , η καθεμία με διαφορετικό τρόπο όπως προαναφέρθηκε, απομακρύνονται μέσω της διαδικασίας της απόπλυσης, καθορίζοντας έτσι την συγκέντρωση του O_3 .

ΣΤ. ΝΕΦΩΣΗ.

Η νέφωση, αποτελεί ένα μετεωρολογικό φαινόμενο το οποίο επηρεάζει έμμεσα τις χημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας. Από την μία εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία και επομένως την ηλιακή δραστηριότητα, ενώ από την άλλη οδηγεί στην μείωση της θερμοκρασίας, δεδομένης της συνοδείας των νεφών σχεδόν πάντα από κυκλωνικά συστήματα (Συνοπτικά Συστήματα). Η μείωση της ηλιακής δραστηριότητας, έχει σαν συνέπεια την ελάττωση των φωτοχημικών αντιδράσεων και συνεπώς και την μείωση παραγωγής δευτερογενών ρύπων (όπως το όζον), που έχουν άρρηκτα συνδέσει την παραγωγή τους με τις παραπάνω είδους χημικές αντιδράσεις. Επιπλέον, η ύπαρξη των νεφών οδηγεί στην μείωση της θερμοκρασίας (αφού τα κυκλωνικά συστήματα χαρακτηρίζονται από κακοκαιρία) με άμεση συνέπεια επίσης, την μείωση των χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην παραγωγή ορισμένων δευτερογενών ρύπων, αφού η ελάττωση της θερμοκρασίας αποτελεί ισχυρό παράγοντα για την μείωση της ταχύτητας μιας αντίδρασης.

1.4 ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ **ΡΥΠΑΝΣΗ**

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα πρόβλημα που έχει απασχολήσει αρκετούς μελετητές, οι οποίοι πραγματεύτηκαν τόσο με την καθαυτού χημεία και εκπομπή των ρύπων, αλλά και με τα τοπικά μετεωρολογικά συστήματα που επιδρούν σ'αυτή. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις μελέτες.

Το 1993 οι Kley et al (1993) παρουσιάζουν μία μελέτη, που πραγματεύεται την σύγκριση των συγκεντρώσεων O_3 μεταξύ περιαστικών περιοχών στις ανατολικές ακτές των Η.Π.Α. και στην Γερμανία. Σημαντικά αποτελέσματα εμφανίζονται από την μελέτη αυτή, καταδεικνύοντας μέσω της απόδειξης ίδιων ποσοστών O_3 (κατά την απουσία οξειδίων του αζώτου) στις περιαστικές περιοχές μέτρησης και στις δύο ηπείρους, την απόλυτη αλληλεπίδραση O_3 και NO_x (titration effect). Στην παραπάνω μελέτη επίσης, υπογραμμίζεται η σημασία των O_x (O_3+NO_2), καθώς και η αξία που αποκτά η μελέτη τους, όταν επιχειρείται σύγκριση ποσοτήτων O_3 και NO_x δεδομένης της συντήρησής τους στο χρόνο, για μικρές χρονικές κλίμακες.

Παράλληλα το ίδιο έτος, δημοσιεύεται από τους Jacob D.J. et al. (1993) μία εργασία που αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του O_3 στις Η.Π.Α, αλλά και την εξαγωγή αυτού. Από αυτήν την μελέτη, προκύπτει ότι ο μόνος αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του τροποσφαιρικού O_3 των περιαστικών περιοχών την θερινή περίοδο, είναι η μείωση των εκπομπών NO_x . Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι μειώνοντας τις εκπομπές των NO_x κατά 50% επιτυγχάνεται ελάττωση του τροποσφαιρικού O_3 των περιοχών αυτών κατά 15%, σε αντίθεση με τους υδρογονάνθρακες, που αντίστοιχη ελάττωση τους οδηγεί σε μείωση του O_3 μόλις κατά 4%. Ακόμη, βρέθηκε ότι η θερμοκρασία, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό O_3 , μόνο μέσω της σύζευξης του με PAN. Τέλος, όσον αφορά την εργασία αυτή, εντύπωση προκαλεί η ανακάλυψη ότι από το συνολικό τροποσφαιρικού O_3 όζον που παράγεται στις Η.Π.Α., το 70% εξάγεται και μόνο το 30% αποτίθεται εκεί.

Το 1997, πραγματοποιείται σε διάφορα σημεία του πλανήτη έρευνα από τους Fuglestvedt J.S. et al (1997) που πραγματεύεται την επίδραση που έχει η μείωση των εκλύσεων των συγκεντρώσεων των NO_x στο O_3 και στο μεθάνιο. Από την έρευνα αυτή, γνωστοποιείται ότι η μείωση της συγκέντρωσης των NO_x , δεν έχει το ίδιο αποτέλεσμα όσον αφορά την μεταβολή της συγκέντρωσης των O_3 και CH_4 σε όλα τα σημεία της διεξαγωγής της μελέτης. Αυτό συμβαίνει, λόγω του σημαντικού ρόλου που εντοπίζεται να διαδραματίζουν παράγοντες, όπως το μέγεθος των εκπομπών σε NO_x , καθώς και οι τοπογραφικές και μετεωρολογικές συνθήκες των περιοχών αυτών.

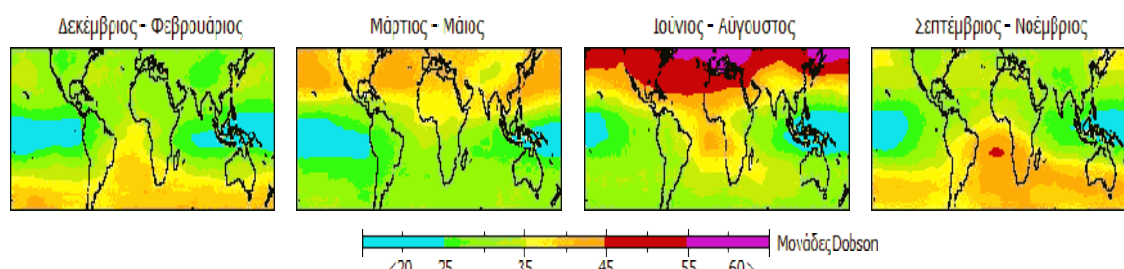
Ακολουθεί το 1998 μια εργασία που παρουσιάζεται από τους Cardenas L.M. et al. (1998), με θέμα την συσχέτιση ρύπων όπως CO , NO_x , O_3 , υδρογονανθράκων πλην του μεθανίου μεταξύ τους, άλλα και την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων σ'αυτούς. Η έρευνα διεξάγεται στο Norfolk του Ηνωμένου Βασιλείου και σ'αυτή τεκμηριώνεται ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ του CO και του O_3 , μέσω του titration effect του O_3 από το NO . Ένα ακόμη συμπέρασμα που εμφανίζεται, είναι ότι οι πηγές εκπομπών CO και NO_x είναι κοινές και προέρχονται κυρίως από την κίνηση οχημάτων. Ολοκληρώνοντας, η μελέτη υπογραμμίζει πρώτον, την σημασία του NO_2 για το NO δεδομένης της αλληλεξάρτησης τους και δεύτερον,

ότι μεγάλες συγκεντρώσεις σε NO, υποδεικνύουν πρόσφατη εκπομπή οξειδίων του αζώτου, δεδομένου ότι το NO δεν έχει προλάβει να μετατραπεί σε NO₂.

Το ίδιο έτος, οι Kalabokas and Bartzis (1998) διεξάγουν μελέτη σχετικά με την φωτοχημική ρύπανση στην πόλη της Αθήνας. Από την μελέτη αυτή προκύπτουν ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος κατά την διάρκεια επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, οφείλονται στις έντονες φωτοχημικές αντιδράσεις. Επίσης προκύπτει ότι οι αστικές συγκεντρώσεις των NO_x είναι μεγαλύτερες των αντιστοίχων περιαστικών περιοχών, ενώ για τις συγκεντρώσεις του O₃ συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Επιπρόσθετα, εντοπίζεται ότι η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές παραμέτρους κάθε περιοχής, τα συνοπτικά συστήματα και την γεωμορφολογία αυτής, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των ατμοσφαιρικών επιπέδων ρύπανσης. Τέλος, τονίζεται ότι οι εκπομπές όλων των ρύπων μεταβάλλονται κατά την διάρκεια του 24ώρου, με τον κάθε έναν ρύπο ξεχωριστά, να καταγράφει σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του.

Το 2000, μία ακόμη μελέτη για το O₃ και τα χαρακτηριστικά του στις περιαστικές περιοχές της Αθήνας, παρουσιάζεται επίσης από τους Kalabokas.P.D. et al. (2000). Από την συγκεκριμένη μελέτη, εμφανίζεται η εποχική μεταβλητότητα του O₃ κατά την οποία μέγιστες συγκεντρώσεις O₃, επιτυγχάνονται κατά την διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, ενώ οι ελάχιστες την αντίστοιχη ψυχρή.

Το ίδιο έτος, παρουσιάζεται από τον Monks P.S. (2000), μία ακόμη μελέτη αναφορικά με τα παρατηρήσεις των μεγίστων συγκεντρώσεων O₃ την άνοιξη, καθώς και της προέλευσης αυτών. Από την παραπάνω μελέτη, θεμελιώνεται η άποψη ότι το φαινόμενο των μεγίστων συγκεντρώσεων την άνοιξη, είναι ένα φαινόμενο που χαρακτηρίζει μόνο το Βόρειο ημισφαίριο. Οι μήνες στους οποίους εντοπίζονται οι μέγιστες τιμές O₃ κατά την διάρκεια του έτους, μεταβάλλονται ανάλογα με το γεωγραφικό ύψος και πλάτος. Επιπλέον, βρίσκεται ότι το φαινόμενο αυτό, έχει διαφορετική ένταση και επίδραση στο εσωτερικό της Ευρώπης, αφού το μέγιστο εκεί εμφανίζεται την θερινή περίοδο, ενώ στις δυτικές περιοχές αυτής το μέγιστο του συγκεκριμένου ρύπου εκδηλώνεται κατά την περίοδο της άνοιξης.



Εικόνα 1. 9. Παγκόσμιες εποχιακές μεταβολές του τροποσφαιρικού όζοντος. (F5)

Τον επόμενο χρόνο 2001, ερευνώνται οι μεταβολές στη συγκέντρωση των NO_x , μέσα σε αστικούς δρόμους που δεν εξαερίζονται επιτυχώς (αστικά φαράγγια), μέσα από μία έρευνα που λαμβάνει χώρα στο Cambridge του Ηνωμένου Βασιλείου και διεξάγεται από τους Zickus and Greig, (2001). Από την έρευνα αυτή, προκύπτει ότι σε αστικούς πολυσύχναστους δρόμους που δεν εξαερίζονται επιτυχώς, η συγκέντρωση των NO_x αυξάνει. Αυτό οφείλεται στην ταχύτητα που αναπτύσσουν τα οχήματα και στην αυξημένη κυκλοφορία. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται, ότι για μεγάλες ταχύτητες των τροχοφόρων, πάνω από 50 km/h, η συγκέντρωση των NO_x στους δρόμους αυτούς, αυξάνει σημαντικά. Στο ίδιο συμπέρασμα, καταλήγει η έρευνα και για μικρότερες ταχύτητες των τροχοφόρων, που όμως συνοδεύονται από μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο.

Ακολούθως το 2002, πραγματοποιείται μία εργασία από τους Duenas C. et al. (2002), νότια της Ισπανίας στην περιοχή της Μάλαγας, με θέμα την διερεύνηση της επίδρασης μετεωρολογικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου στους ρύπους. Από την μελέτη αυτή, προκύπτει ότι η ταχύτητα του ανέμου, έχει αναλογική επίδραση στις συγκεντρώσεις του όζοντος και αντιστρόφως ανάλογη επίδραση, στις συγκεντρώσεις των NO_x . Η σχετική υγρασία, επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα το O_3 , ενώ εμφανίζεται μία ισχυρή αναλογική σχέση της θερμοκρασίας επίσης με το O_3 . Αυτό που εντοπίζεται και χρήζει ιδιαίτερας προσοχής, είναι ότι οι διευθύνσεις του ανέμου μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο τόσο στους υπόλοιπους μετεωρολογικούς παράγοντες, όσο και στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Αναλυτικά, από την έρευνα τεκμηριώνεται ότι για διαφορετικές διευθύνσεις ανέμων, παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η σχετική

υγρασία, μπορούν να επιδρούν ισχυρά ή και καθόλου στην διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων.

Αρκετά κοντά με την προηγούμενη έρευνα, το 2003 παρουσιάζεται μία μελέτη από τους Tarasova and Karpertchko (2003), η οποία διεξάγεται στη χερσόνησο Kola κοντά στην λίμνη Lovozero της ρωσικής επικράτειας. Η έρευνα πραγματεύεται επίσης την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα του ανέμου στην συγκέντρωση του O_3 . Από αυτήν προκύπτουν πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία παρόμοια με την προηγούμενη έρευνα, με την διαφορά όμως ότι η συγκεκριμένη διερευνά την επίδραση αυτή σε εποχικό κύκλο. Αναλυτικά, εντοπίζεται ότι, η θερμοκρασία επηρεάζει θετικά την συγκέντρωση του O_3 περισσότερο την θερμή παρά την ψυχρή περίοδο. Η σχετική υγρασία, επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα το O_3 , σχεδόν σε όλο το έτος, με την μεγαλύτερη επίδραση αυτής, να εμφανίζεται το φθινόπωρο. Η ταχύτητα του ανέμου, επηρεάζει περισσότερο την ψυχρή περίοδο το O_3 , αφού την θερμή η συσχέτιση είναι τόσο μικρή που ο παράγοντας αυτός δείχνει να μην έχει καθόλου αντίκτυπο στη μεταβολή του O_3 . Επιπλέον, αποκαλύπτεται ότι η ατμοσφαιρική πίεση δεν επιδρά σχεδόν καθόλου στην μεταβολή της συγκέντρωσης του O_3 σε όλο το φάσμα του έτους. Τέλος, καταγράφεται ότι πραγματοποιείται μεγαλύτερη απόθεση όζοντος την θερμή σε σχέση με την ψυχρή περίοδο.

Το 2004 μία ακόμη παρόμοια έρευνα διεξάγεται από τους Baertsch-Ritter N. et al. (2004) στην ευρύτερη περιοχή του Μιλάνο, κατά την οποία διερευνάται η επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων, αυτή τη φορά στις συγκεντρώσεις των NO_x και ROG (Reactive Organic Gases). Κατά την τρέχουσα έρευνα, αξιολογείται η επίδραση των προαναφερθέντων μετεωρολογικών παραγόντων στις παραπάνω μελέτες με προσθήκη ενός επιπλέον, της επίδρασης των μεταβολών του οριακού στρώματος. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν, ότι οι μεταβολές του οριακού στρώματος επιδρούν αρνητικά στις συγκεντρώσεις των εξεταζομένων ρύπων. Συγκεκριμένα, η μείωση του οριακού στρώματος οδηγεί στην αύξηση των NO_x . Το ίδιο αποτέλεσμα εντοπίζεται στην συγκέντρωση των NO_x , και κατά την αύξηση της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Επιπλέον, καταγράφεται ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, αυξάνει την διασπορά των ρύπων και μειώνει τις συγκεντρώσεις των NO_x . Τέλος, αξιόλογο εύρημα εμφανίζεται και όσον αφορά την συγκέντρωση του O_3 . Συγκεκριμένα, αποκαλύπτεται ότι η θερμοκρασία επηρεάζει

αναλογικά το O_3 όπως προαναφέρθηκε και σε παραπάνω μελέτες, αλλά μεγαλύτερη επίδραση στην συγκέντρωση του έχει στις περιαστικές παρά στις αστικές περιοχές.

Παράλληλα τον ίδιο χρόνο, εκπονείται εργασία επίσης από τους Kalabokas and Repapis (2004) με θέμα την κλιματολογική μελέτη του τροποσφαιρικού O_3 στις περιαστικές περιοχές της πόλης των Αθηνών. Η παραπάνω μελέτη αναφέρεται σε βάθος χρόνου 10 ετών και πραγματοποιείται με την συμμετοχή τριών σταθμών, ενός περιαστικού και δύο αστικών. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, πραγματοποιούνται συσχετίσεις μεταξύ των σταθμών, ενώ αποκαλύπτεται σημαντική συσχέτιση όσον αφορά τις υψηλές συγκεντρώσεις O_3 κατά την διάρκεια της θερμής σε σχέση με την ψυχρή περίοδο και στους τρεις σταθμούς, ανεξαρτήτως της θέσης τους. Επίσης προκύπτει ότι το όζον εμφανίζει ένα δευτερεύον μέγιστο στην περίοδο της Άνοιξης, γεγονός που συγκλίνει υπέρ της υπόθεσης του μεγάλου βεληνεκού της φωτοχημικής παραγωγής όζοντος και των μεταφορών του κατά τη διάρκεια του θέρους και το αναδεικνύει ως διασυννοριακό πρόβλημα ρύπανσης.

Επιπλέον της παραπάνω μελέτης, το 2004 μία ακόμη μελέτη δημοσιεύεται από τους Μαυράκης Α. et al. (2004), με αντικείμενο την διερεύνηση των μετεωρολογικών συνθηκών κατά την διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης. Η μελέτη αυτή πραγματοποιείται με συμμετοχή δεδομένων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, καθώς και δεδομένων ρύπανσης από τέσσερις σταθμούς στο Θριάσιο πεδίο στην περιοχή της Αττικής. Μεταξύ των άλλων, πιστοποιείται ότι η θαλάσσια αύρα θεωρείται υπεύθυνη για τις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος τους θερμούς μήνες του έτους στην συγκεκριμένη περιοχή, ενώ οι χαμηλές ταχύτητες ανέμων καθώς και οι θερμοκρασιακές αναστροφές, συνδυάζονται πολύ καλά με τις υψηλές ημερήσιες και ωριαίες συγκεντρώσεις των NO_x .

Το 2007 εκπονείται μελέτη, η οποία πραγματοποιείται από τους Kalbarczyk R. and Kalbarczyk E. (2007) και λαμβάνει χώρα στην βορειοδυτική περιοχή της Πολωνίας για την περίοδο 2005-2007. Η μελέτη πραγματεύεται την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στα NO_x κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους συναρτήσει των παραμέτρων αυτών. Από την μελέτη αυτή, προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα με τις μελέτες των (Baertsch-Ritter et al. 2004; Tarasova et al. 2003; C.Duenas et al. 2002) που αναφέρθηκαν παραπάνω, με την διαφορά, ότι επιπλέον των προηγούμενων μελετών, εξετάζεται και η παράμετρος της βροχής για την οποία

αποκαλύπτεται, ότι δεν επηρεάζει την συγκέντρωση των NO_x ιδιαίτερα καθόλη την διάρκεια του έτους. Επιπρόσθετα, μέσω της μελέτης αυτής πιστοποιείται η μεγάλη και αναλογική επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης στην συγκέντρωση των NO_x σε αντίθεση με το O_3 όπου σύμφωνα με την μελέτη των Tarasova et al (2003) δεν επηρεάζεται καθόλου από αυτήν.

Το 2008 οι Flocas H. et al. (2008), πραγματοποιούν έρευνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, με θέμα τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην αστική παράκτια ζώνη της σε συνοπτική και τοπική κλίμακα για την περίοδο των ετών (1989-2004). Από την έρευνα αυτή, εξάγονται πολύ σημαντικά συμπεράσματα για τη ρύπανση. Συγκεκριμένα, συνδέονται επεισόδια ρύπανσης με το τοπικό σύστημα αύρας. Ειδικότερα, ανακαλύπτεται ότι το φαινόμενο της θαλάσσιας αύρας, αν και σπάνια εμφανίζεται τη χειμερινή περίοδο, είναι συνυφασμένο με την εμφάνιση ατμοσφαιρικών επεισοδίων ρύπανσης για δύο λόγους. Πρώτον, εντοπίζεται ότι η αύρα όντας άνεμος με διεύθυνση νότια-νοτιοδυτική, εισάγει ρύπους στην πόλη μιας και τους μεταφέρει από την βιομηχανική περιοχή της Εορδαίας (δυτικά της Θεσσαλονίκης) όπου και δρα. Δεύτερον, από ανεμολογικές μελέτες προκύπτει, ότι χαρακτηρίζεται από πολύ ασθενείς ανέμους (1-2 m/s), που εμποδίζουν την διεργασία της απομάκρυνσης των ρύπων, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης αυτών.

Το 2011, πραγματοποιείται μελέτη από τους Mavroidis and Chaloulakou, (2011), η οποία επικεντρώνεται στην μελέτη της πορείας του ρυθμού NO_2/NO_x στην πόλη της Αθήνας, με δεδομένα που αφορούν την περίοδο 1987-2006. Από την μελέτη, παρατηρείται από την μία μη αξιόλογη μεταβολή στη συγκέντρωση των NO_x ενώ από την άλλη αύξηση στη συγκέντρωση των NO_2 κατά την διάρκεια της περιόδου. Κατά την μελέτη, διενεργείται έλεγχος σχετικά με το την προέλευση της αύξησης του NO_2 . Συγκεκριμένα, διερευνάται η αύξηση του NO_2 που οφείλεται στις φωτοχημικές αντιδράσεις και ειδικότερα στην συγκέντρωση του αστικού O_3 . Μετά από ενδελεχή έλεγχο της συγκέντρωσης των O_x , τα οποία αποτελούν το μέτρο της παραγωγής του NO_2 , αποκαλύπτεται ότι η αύξηση του NO_2 και συνεπώς του ρυθμού NO_2/NO_x οφείλεται στους πρωτογενείς ρύπους NO , αλλά στην αύξηση του αστικού O_3 , το οποίο μετατρέπεται σε NO_2 .

Μία ακόμη πολύ ενδιαφέρουσα πρόσφατη έρευνα πραγματοποιείται τους Lin W. et al. (2011), με θέμα τις επιπτώσεις στην μεταβλητότητα των αέριων ρύπων από

τις μετεωρολογικές και χημικές διεργασίες, καθώς και τις πηγές αυτών στις αστικές περιοχές του Πεκίνου κατά την θερμή περίοδο 2007-2008. Από την παραπάνω μελέτη, εξάγεται το συμπέρασμα το οποίο συνηγορεί με τις παραπάνω μελέτες, ότι η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, λειτουργεί ευεργετικά στις αστικές περιοχές όσον αφορά ρύπους σαν το CO και τα NO_x, δεδομένου ότι διευκολύνει στην απομάκρυνση τους. Ωστόσο από την άλλη, εμπλουτίζει τις ίδιες περιοχές με O₃, μιας και το περιεχόμενο των αερίων μαζών σε O₃ που φτάνουν στις αστικές περιοχές, είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των μαζών του αστικού περιβάλλοντος.

Επιπλέον, επισημαίνεται ότι η μείωση της σχετικής υγρασίας, ευνοεί την αύξηση της συγκέντρωσης O₃ μιας και προκύπτει, ότι οι αέριες μάζες που εμπλουτίζουν το αστικό περιβάλλον με O₃ είναι κατά κύριο λόγο ξηρές. Επιπρόσθετα, από την ίδια μελέτη, ακολουθεί το συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση πρωτογενών ρύπων όπως το NO, είναι μεγαλύτερη την ψυχρή περίοδο λόγω των θερμοκρασιακών αναστροφών, της μειωμένης ηλιοφάνειας και των μικρών θερμοκρασιών, παραγόντων που δεν ευνοούν τις φωτοχημικές αντιδράσεις και την παραγωγή O₃. Παρελκόμενο του παραπάνω, αποτελεί το συμπέρασμα ότι ο χρόνος ζωής των πρωτογενών αυτών ρύπων, εμφανίζεται μεγαλύτερος την ψυχρή περίοδο. Τέλος, όσον αφορά τις πηγές των NO_x, υπολογίζεται ότι το 11% των εκπομπών τους, προέρχεται από οικιακές θερμάνσεις, 2% και 13%, από μονάδες παραγωγής ενέργειας και βιομηχανικές πηγές αντίστοιχα, ενώ το 74% προέρχεται από μέσα μεταφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρουσιάζεται η ανάπτυξη της πόλης τα τελευταία χρόνια, η περιοχή μελέτης καθώς και η θεωρία των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.

2.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Η πόλη της Θεσσαλονίκης, αποτελεί την δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας. Βρίσκεται στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας στην Βόρεια Ελλάδα, με συντεταγμένες (40.5 °B, 22.9 °E). Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης εκτείνεται σε περίπου 200 km² και κατοικείται από περίπου 1 εκατ. ανθρώπους. Περιβάλλεται από αρκετά ψηλά βουνά στα ανατολικά βορειοανατολικά αυτής και συγκεκριμένα από το όρος Χορτιάτη (1200m). Στα δυτικά της, απλώνεται η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, την οποία διαρρέουν τρεις ποταμοί, ο Αξιός, ο Λουδίας και ο Γαλλικός, ενώ από τα νότια βρέχεται από τον Θερμαϊκό κόλπο. Η Θεσσαλονίκη χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα, με ηπειρωτικά χαρακτηριστικά και σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη κατά Köppen, ανήκει στα κλίματα τύπου Csa. Χαρακτηρίζεται δηλαδή ως Μεσογειακό Ενδοχώρας και διακρίνεται από ήπιους χειμώνες και ξηρά, πολύ ζεστά καλοκαίρια. Η πόλη έχει πολλές μέρες ηλιοφάνειας όλο το χρόνο. Η άμεση επαφή της Θεσσαλονίκης με τη θάλασσα καθώς και η εγγύτητάς της με την λίμνη Λαγκαδά κάνουν το κλίμα της χαρακτηριστικά υγρό, με πολλές πυκνές ομίχλες κυρίως τις πρωινές ώρες του χειμώνα. Την ψυχρή περίοδο, η πόλη χαρακτηρίζεται από ισχυρό και ψυχρό βόρειο άνεμο, που είναι γνωστός ως Βαρδάρης. Αντίθετα την θερμή περίοδο, στην πόλη πνέουν ασθενείς, νότιοι, νοτιοδυτικοί άνεμοι που είναι γνωστοί ως θαλάσσια αύρα. (Γ14),(Γ15)

2.2 **ΔΙΚΤΥΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ** **ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

Το δίκτυο μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης καλύπτεται από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και από το Τμήμα Περιβάλλοντος του Δήμου Θεσσαλονίκης. Τόσο ο πρώτος όσο και ο δεύτερος φορέας, συντηρούν ένα σύνολο σταθμών, όπου εκεί καταγράφονται μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης διαφόρων ρύπων που ευθύνονται κατά καιρούς για επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε πολλούς από αυτούς τους σταθμούς, καταγράφονται και δεδομένα μετεωρολογικού ενδιαφέροντος, που όπως είναι γνωστό συνδέονται άρρηκτα με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

2.2.1 **ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ** **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ** **ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

Το δίκτυο της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος & Χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, λειτουργεί και είναι υπεύθυνο για την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη της Θεσσαλονίκης από το 2001. Το δίκτυο μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος & Χωροταξίας της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, απαρτίζεται από οκτώ σταθμούς (*Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, 2006*).

- ✓ Σίνδος
- ✓ Νεοχωρούδα
- ✓ Ελευθέριο-Κορδελιό
- ✓ Πλ. Δημοκρατίας
- ✓ Πλ. Αγ. Σοφίας
- ✓ Α.Π.Θ.
- ✓ Πανόραμα
- ✓ Καλαμαριά

Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά κάθε σταθμού.

ΣΙΝΔΟΣ: Ο σταθμός της Σίνδου, βρίσκεται στην οροφή του κτηρίου της κεντρικής βιβλιοθήκης των Α.Τ.Ε.Ι. Σίνδου που βρίσκεται δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης, σε υψόμετρο 14 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Χαρακτηρίζεται σαν αγροτικός-βιομηχανικός σταθμός, ενώ εκεί λαμβάνονται μετρήσεις O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} . Παράλληλα λαμβάνονται μετεωρολογικά δεδομένα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις SO_2 λαμβάνονται με τη μέθοδο φθορισμού, τα NO_x με την μέθοδο της χημειοφωταύγειας, το O_3 με την μέθοδο απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας, το CO με την μέθοδο της μη διαχεόμενης ακτινοβολίας, ενώ τα PM_{10} με την μέθοδο της απορρόφησης β' ακτινοβολίας.

ΠΑΝΟΡΑΜΑ: Ο σταθμός του Πανοράματος, βρίσκεται τοποθετημένος πίσω από το δημοτικό γήπεδο του δήμου Πανοράματος και περιτοιχίζεται από δέντρα σε υψόμετρο 330 m. Χαρακτηρίζεται σαν περιαστικός σταθμός, ενώ εκεί λαμβάνονται μετρήσεις O_3 , NO_x και PM_{10} σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους που αναφέρθηκαν και στο σταθμό της Σίνδου. Επίσης στο συγκεκριμένο σταθμό λαμβάνονται και μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας.

ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ: Ο σταθμός αυτός, βρίσκεται σε υψόμετρο 300m στα περίχωρα της πόλης, αρκετά ψηλά από το χωριό Νεοχωρούδα και συγκεκριμένα, στην αυλή του δημοτικού σχολείου. Χαρακτηρίζεται ως Αγροτικός-Περιαστικός σταθμός, ενώ όπως και στους δύο προαναφερθέντες σταθμούς, λαμβάνονται μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Ωστόσο, σε αντίθεση με τους παραπάνω σταθμούς, στον συγκεκριμένο καταγράφονται μόνο μετρήσεις O_3 και NO_x .

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟ-ΚΟΡΔΕΛΙΟ: Ο σταθμός του Ελευθέριου-Κορδελιού, βρίσκεται δυτικά από το κέντρο της πόλης, σε υψόμετρο 52m στην αυλή του 3^{ου} δημοτικού σχολείου του δήμου. Επηρεάζεται σε κάποιο βαθμό από τη βιομηχανική περιοχή και γι' αυτό χαρακτηρίζεται σαν αστικός-βιομηχανικός. Στον σταθμό αυτό, καταγράφονται

μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, καθώς και μετρήσεις των ρύπων O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} .

ΠΛ. ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ: Ο σταθμός της πλατείας Αγίας Σοφίας, βρίσκεται στο κέντρο της πόλης σε πολύ μικρό υψόμετρο από την στάθμη της θάλασσας, μέσα σε οδική χαράδρα που επηρεάζεται πολύ ισχυρά από το πεδίο του ανέμου. Στο συγκεκριμένο σταθμό, καταγράφονται μετρήσεις όλων των ρύπων O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} ενώ σε αντίθεση με τους άλλους σταθμούς, δεν λαμβάνονται μετεωρολογικά δεδομένα, λόγω του ότι η θέση του σταθμού αυτού επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον άνεμο. Αποτέλεσμα της άμεσης και ισχυρής αυτής επιρροής, είναι ότι οι μετρήσεις στο σταθμό αυτό, δεν αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα των μετεωρολογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής.

ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ: Ο σταθμός αυτός, βρίσκεται ανατολικά του κέντρου της πόλης σε υψόμετρο 20m από την επιφάνεια της θάλασσας μέσα σε πάρκο. Χαρακτηρίζεται σαν περιαστικός σταθμός και σαυτόν λαμβάνονται μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας, καθώς και δεδομένα O_3 , NO_x , SO_2 και CO .

Α.Π.Θ.: Ο σταθμός αυτός βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, σε υψόμετρο 55m από την επιφάνεια της θάλασσας, στην οροφή της Φυσικομαθηματικής σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ο συγκεκριμένος σταθμός, χαρακτηρίζεται σαν αστικός. Στον σταθμό αυτό καταγράφονται μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας όπως και στους παραπάνω σταθμούς της περιφέρειας, ενώ λαμβάνονται μετρήσεις μόνο των ρύπων O_3 , NO_x και SO_2 .

2.2.2

ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΑΘΜΩΝ

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΔΗΜΟΥ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. (Γ2)

Το δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικών ρύπων του τμήματος περιβάλλοντος του δήμου Θεσσαλονίκης, ξεκίνησε την λειτουργία του στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με σταδιακή επέκταση του στα μέσα αυτής. Αποτελείται από πέντε σταθμούς οι οποίοι είναι:

- ✓ Βενιζέλου
- ✓ Επταπυργίου
- ✓ Λαγκαδά
- ✓ 25^{ης} Μαρτίου
- ✓ Τούμπα

Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά κάθε σταθμού.

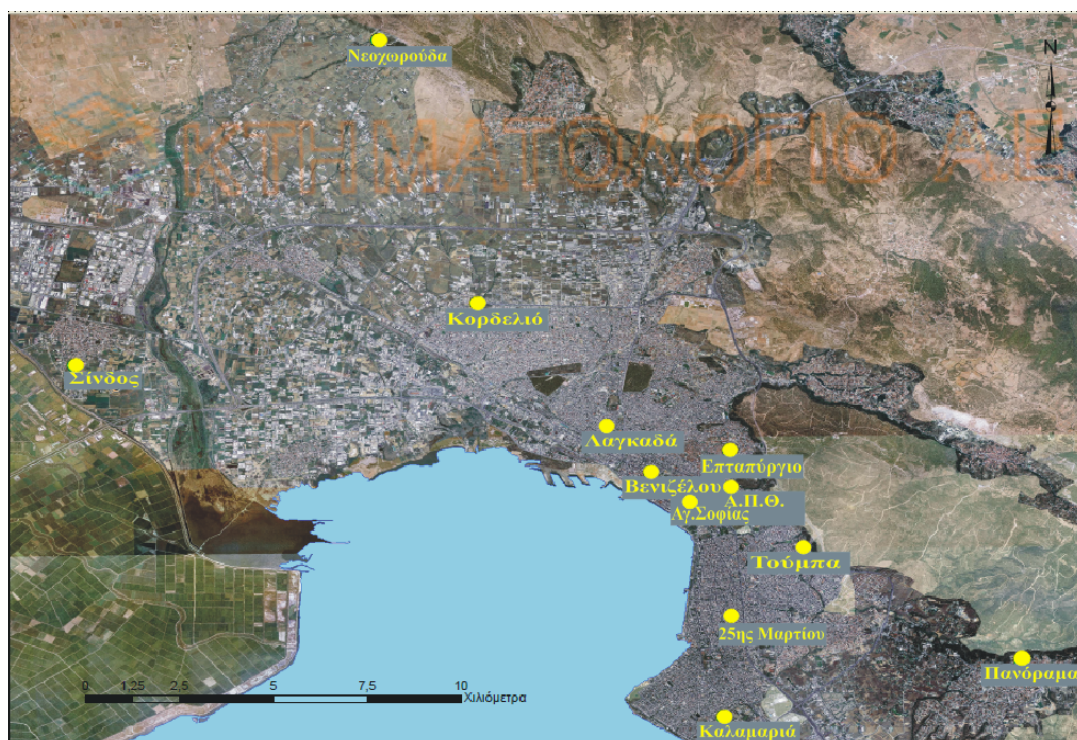
BENIZEΛΟΥ: Ο σταθμός της Βενιζέλου, βρίσκεται στο κέντρο της πόλης στην συμβολή των οδών Βενιζέλου και Εγνατίας σε υψόμετρο 12m από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ η απόσταση του από αυτή, υπολογίζεται στα 650 m. Ο σταθμός στην Βενιζέλου περιστοιχίζεται από τα υψηλότερα κτίρια της πόλης και στο συγκεκριμένο σταθμό καταγράφονται πολλοί ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως O₃, NO_x, SO₂, CO, PM₁₀, καθώς και μετρήσεις μετεωρολογικού ενδιαφέροντος, όπως ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, σχετική υγρασία και θερμοκρασία.

ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ : Ο σταθμός του Επταπυργίου, βρίσκεται τοποθετημένος σε υψόμετρο 174 m από επιφάνεια της θάλασσας, ενώ η απόσταση του από αυτή υπολογίζεται στα 2400 m. Ο σταθμός αυτός είναι εγκατεστημένος στα όρια του Δήμου Θεσσαλονίκης και του Δήμου Συκεών, στην κορυφογραμμή ενός λόφου εντός των τειχών της Άνω Πόλης, ενώ περιστοιχίζεται από διώροφα ή τριώροφα κτήρια. Στο σταθμό αυτό, πραγματοποιούνται μετρήσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων O₃, NO_x, SO₂, CO και PM₁₀, ενώ όπως και στο σταθμό της Βενιζέλου, καταγράφονται μετεωρολογικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας.

ΛΑΓΚΑΔΑ : Ο σταθμός του Λαγκαδά, βρίσκεται εγκατεστημένος στη συμβολή των οδών Λαγκαδά και Κουτηφάρη, στο κέντρο της Δυτικής Θεσσαλονίκης σε υψόμετρο 18 m από την επιφάνεια της θάλασσας, με ελάχιστη απόσταση από αυτή τα 2100 m. Επιπλέον, ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε απόσταση επιρροής (1000 m) από το Σιδηροδρομικό Σταθμό της Θεσσαλονίκης. Η οδός Λαγκαδά από πολεοδομικής άποψης είναι η σημαντικότερη οδική αρτηρία της Δυτικής Θεσσαλονίκης, ενώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι στον σταθμό αυτό λαμβάνονται μόνο μετρήσεις ατμοσφαιρικών ρύπων O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} , χωρίς να λαμβάνονται μετρήσεις μετεωρολογικού ενδιαφέροντος.

25^{ΗΣ} ΜΑΡΤΙΟΥ : Ο Σταθμός της 25ης Μαρτίου εδράζεται στη συμβολή των οδών 25ης Μαρτίου και Καρακάση στο κέντρο περίπου της Ανατολικής Θεσσαλονίκης, σε υψόμετρο 12 m από την επιφάνεια της θάλασσας και με ελάχιστη απόσταση από αυτήν τα 1100m. Η οδός της 25η Μαρτίου, είναι ένας δρόμος δύο λωρίδων κυκλοφορίας με μέτριο κυκλοφοριακό φόρτο, που συνδέει δύο κύριους οδικούς άξονες που διασχίζουν κατά μήκος την πόλη, τις λεωφόρους Βασ. Όλγας και Καραμανλή (Νέα Εγνατία). Στον συγκεκριμένο σταθμό όπως και στον προηγούμενο, λαμβάνονται μόνο μετρήσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κυρίως O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} , χωρίς να λαμβάνονται μετεωρολογικές μετρήσεις.

ΤΟΥΜΠΑ : Ο σταθμός της Τούμπας, βρίσκεται εγκατεστημένος στα όρια του Δήμου Θεσσαλονίκης με το Δήμο Πυλαίας (προάστιο της Θεσσαλονίκης), στη συμβολή των οδών Γρηγορίου Λαμπράκη και Περραιβού, σε υψόμετρο 76 m από την επιφάνεια της θάλασσας, με ελάχιστη απόσταση από αυτήν τα 2650 m. Η οδός Γρηγορίου Λαμπράκη είναι ένας δρόμος με μέτριο κυκλοφοριακό φόρτο. Ο σταθμός αυτός περιτοιχίζεται από μεσαίου ύψους κτίρια, ενώ απέχει μόλις 50 m από το δάσος του Κέδρινου Λόφου (Σειχ - Σου). Η περιφερειακή οδός της Θεσσαλονίκης, προσεγγίζει το σταθμό σε απόσταση 80 μέτρων, ενώ στον ίδιο όπως και παραπάνω δεν λαμβάνονται μετεωρολογικές μετρήσεις, παρά μόνο μετρήσεις ρύπων ατμοσφαιρικού ενδιαφέροντος και κυρίως O_3 , NO_x , SO_2 , CO και PM_{10} .



Εικόνα 2. 1. Το δίκτυο παρακολούθησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης
(Κτηματολόγιο Α.Ε.)

2.3

ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Για την μελέτη και την επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω.

Α. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

Γενικά ο όρος συσχέτιση αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο σχετίζονται (συμμεταβάλλονται) δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Ο βαθμός της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται **απλή συσχέτιση** και μεταξύ περισσότερων από δύο ονομάζεται **πολλαπλή συσχέτιση**.

Η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται **γραμμική** όταν στο διάγραμμα διασποράς, τα σημεία τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια ευθεία και **μη γραμμική** όταν τα σημεία τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια καμπύλη. Η **απλή συσχέτιση**, ασχολείται με το βαθμό με τον οποίο τα σημεία συγκεντρώνονται γύρω από την ευθεία χωρίς να προσδιορίζεται αυτή η ευθεία που

διέρχεται από το νέφος των σημείων. Η κατεύθυνση του νέφους των σημείων σηματοδοτεί το είδος της σχέσης, ενώ η συγκέντρωση των σημείων είναι ενδεικτική του βαθμού συµμεταβολής των δεδοµένων. Η γραµμική συσχέτιση µπορεί να είναι:

- ✓ **Θετική συσχέτιση** όταν δύο µεταβλητές τείνουν να µεταβάλλονται προς την ίδια κατεύθυνση. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές τείνουν να αυξάνονται ή να μειώνονται.
- ✓ **Αρνητική συσχέτιση** όταν δύο µεταβλητές τείνουν να µεταβάλλονται προς αντίθετη κατεύθυνση. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές της µίας µεταβλητής τείνουν να αυξάνονται και της άλλης να μειώνονται
- ✓ **Μηδενική συσχέτιση** όταν οι µεταβολές των τιμών της µίας µεταβλητής δεν συνδέονται µε τις µεταβολές της άλλης. Τα σηµεία του νέφους είναι διασκορπισµένα σε όλο το µήκος του διαγράµµατος

Γενικά όσο πιο συγκεντρωµένα είναι τα σηµεία γύρω από την ευθεία γραµμή, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραµμική σχέση που συνδέει τις δύο µεταβλητές. Αντίθετα όσο περισσότερο διασκορπισµένα εµφανίζονται τα σηµεία, τόσο πιο ασθενής είναι η συσχέτιση των µεταβλητών. Στην ακραία περίπτωση που όλα τα σηµεία (x,y) βρίσκονται πάνω σε µια ευθεία γραµμή, η συσχέτιση καλείται **πλήρης** (Ζημεράς, 2003).

B. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ

Συντελεστής συσχέτισης (ρ), ονοµάζεται ένα στατιστικό µέτρο που περιέχει, όχι µόνο ένδειξη για τον τρόπο συµμεταβολής, αλλά και ακριβή ποσοτική εκτίµηση του βαθµού συσχέτισης δυο µεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι ανεξάρτητος από µονάδες µέτρησης και εκφράζεται σε σχετικούς όρους για συγκρίσεις.

Δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E(X_i - \mu_x)(Y_i - \mu_y)}{\sqrt{E(X_i - \mu_x)^2} \sqrt{E(Y_i - \mu_y)^2}}$$

όπου σ_x και σ_y είναι αντίστοιχα οι τυπικές αποκλίσεις των µεταβλητών x και y .

Αποδεικνύεται ότι οι αριθμητικές τιμές που μπορεί να λάβει ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεταξύ -1 και 1 . Εκφράζει τον βαθμό γραμμικής συμμεταβολής δύο μεταβλητών και είναι ομόσημος με την συνδιακύμανση τους. (Ζημεράς, 2003).

Σημειώνεται ότι:

- ✓ **Θετικές τιμές:** ομόρροπη συμμεταβολή –θετική συσχέτιση. Όσο πλησιέστερα στο 1 , τόσο ισχυρότερη η θετική συσχέτιση. $\rho=1$ πλήρη θετική γραμμική συσχέτιση.
- ✓ **Αρνητικές τιμές:** αντίρροπη συμμεταβολή - αρνητική συσχέτιση. Όσο πλησιέστερα στο 1 , τόσο ισχυρότερη η αρνητική συσχέτιση. $\rho=-1$ πλήρη αρνητική γραμμική συσχέτιση.
- ✓ **Πλησιέστερα στο μηδέν:** ασθενής θετική ή αρνητική συσχέτιση, γραμμική σχέση των μεταβλητών.
- ✓ **Μηδενική:** $\rho=0$, μηδενική συνδιακύμανση – ανυπαρξία γραμμικής συσχέτισης.

Με βάση το βαθμό συσχέτισης και το πόσο ισχυρή είναι αυτή μεταξύ δύο μεταβλητών, υπάρχουν ακόμη οι παρακάτω διαβαθμίσεις:

- ✓ Όταν $0.8 < r < 1$ ή $-1 < r < -0.8$ πολλή σημαντική ή πολλή ισχυρή συσχέτιση.
- ✓ Όταν $0.7 < r < 0.8$ ή $-0.8 < r < -0.7$ σημαντική ή ισχυρή συσχέτιση.
- ✓ Όταν $0.5 < r < 0.7$ ή $-0.7 < r < -0.5$ μέση συσχέτιση.
- ✓ Όταν $0.3 < r < 0.5$ ή $-0.5 < r < -0.3$ ασθενής συσχέτιση.
- ✓ Όταν $-0.3 < r < 0.3$ ανύπαρκτη συσχέτιση.
- ✓ Όταν $r = \pm 1$ τέλεια συσχέτιση.

Γ. ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΑ

Τεταρτημόρια, ονομάζονται οι τιμές της μεταβλητής, που χωρίζουν το σύνολο των τιμών της σε 4 ισοπληθείς ομάδες, όταν οι τιμές της μεταβλητής τοποθετούνται σε αύξουσα σειρά (Ζημεράς, 2003).

- Το **πρώτο τεταρτημόριο** Q_1 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 25% των παρατηρήσεων όπου δίνεται από τους τύπους:

$$Q_1 = \frac{n+1}{4}$$

$$Q_1 = U_{i-1} + \left(\frac{n}{4} - N_{i-1} \right) \frac{\delta}{n_i}$$

μη-ομαδοποιημένα δεδομένα

ομαδοποιημένα δεδομένα

- Το **δεύτερο τεταρτημόριο** Q_2 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 50% των παρατηρήσεων γνωστή και ως διάμεσος.
- Το **τρίτο τεταρτημόριο** Q_3 είναι η τιμή της μεταβλητής που θα έχει κάτω από αυτή το 75% των παρατηρήσεων όπου δίνεται από τους τύπους

$$Q_3 = \frac{3(n+1)}{4}$$

$$Q_3 = U_{i-1} + \left(\frac{3n}{4} - N_{i-1} \right) \frac{\delta}{n_i}$$

μη-ομαδοποιημένα δεδομένα

ομαδοποιημένα δεδομένα

Δ. ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ S

Ως τυπική απόκλιση ορίζεται, η τετραγωνική ρίζα της διασποράς.

Δηλαδή

$$s = \sqrt{s^2}$$

Η τυπική απόκλιση έχει ευρύτερη χρήση, διότι εκφράζεται με την ίδια μονάδα που εκφράζονται και οι παρατηρήσεις. Η τυπική απόκλιση δεν μεταβάλλεται εάν στις τιμές της μεταβλητής X προστεθεί μια σταθερά a . (Χρονόπουλος, 2006)

Δηλαδή αν $Y = X + a$ τότε $s_x = s_y$.

Εάν οι τιμές μιας μεταβλητής πολλαπλασιασθούν επί μια σταθερά a τότε η διασπορά πολλαπλασιάζεται επί την απόλυτη τιμή της σταθεράς a .

$$\text{Δηλαδή αν } Y = X \cdot a \text{ τότε } s_y = s_x \cdot |a|$$

Ε. ΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΣΗ

Η ανάλυση παλινδρόμησης (*regression analysis*) περιγράφει τη μεταβλητότητα μιας τιμής Y , χρησιμοποιώντας την πληροφορία που υπάρχει για μια ή περισσότερες μεταβλητές X_1, X_2 . Το πρόβλημα της παλινδρόμησης είναι η εύρεση ενός μοντέλου, που περιγράφει την εξάρτηση της τιμής Y , που ονομάζεται εξαρτημένη μεταβλητή (*dependent or response variable*), από μια μεταβλητή X που ονομάζεται ανεξάρτητη μεταβλητή (*independent or explanatory variable*) ή και από περισσότερες από μια μεταβλητές. Στην περίπτωση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης (*simple linear regression*) η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μία και η εξάρτηση θεωρείται γραμμική (Κουγιουμτζής, 2011).

ΣΤ. ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΣΗ

Στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (*multiple linear regression*) θεωρείται, ότι η τιμή Y εξαρτάται γραμμικά από κάποιες μεταβλητές $X_1, X_2, \dots, X_k$. Το y_i για κάποια τιμή x_{1i} της X_1 , x_{2i} της $X_2, \dots, x_{ki}$ της X_k , δίνεται ως:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Οι υποθέσεις που πραγματοποιούνται στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, πραγματοποιούνται στις ίδιες βάσεις με την απλή γραμμική παλινδρόμηση, δηλαδή γίνεται υπόθεση, πως τα σφάλματα s_j της παλινδρόμησης (όπως και η τιμή Y για κάθε τιμή των $X_1, X_2, \dots, X_k$) ακολουθούν κανονική κατανομή με σταθερή διασπορά. Γενικά το πρόβλημα και η εκτίμηση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης δε διαφέρει ουσιαστικά από αυτό της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα καινούριο στοιχείο στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι ότι πριν προχωρήσει η εκτίμηση των παραμέτρων, πρέπει να ελεγχθεί εάν πράγματι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο (Κουγιουμτζής, 2011).

Z. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ R^2

Ως συντελεστής προσδιορισμού, ορίζεται το πηλίκο:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Η R^2 μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 1.

Με τη χρήση του συντελεστή προσδιορισμού, μπορεί να ελεγχθεί, η αξία του απλού γραμμικού μοντέλου, το οποίο προσαρμόζεται στα δεδομένα. Ο συντελεστής προσδιορισμού εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y , που εξηγείται από την μεταβλητή X . Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X , ενώ αντίθετα, όσο πλησιάζει η τιμή του το 0, τόσο πιο πολύ διαφοροποιείται η μία μεταβλητή από την άλλη (Χρονόπουλος, 2006).

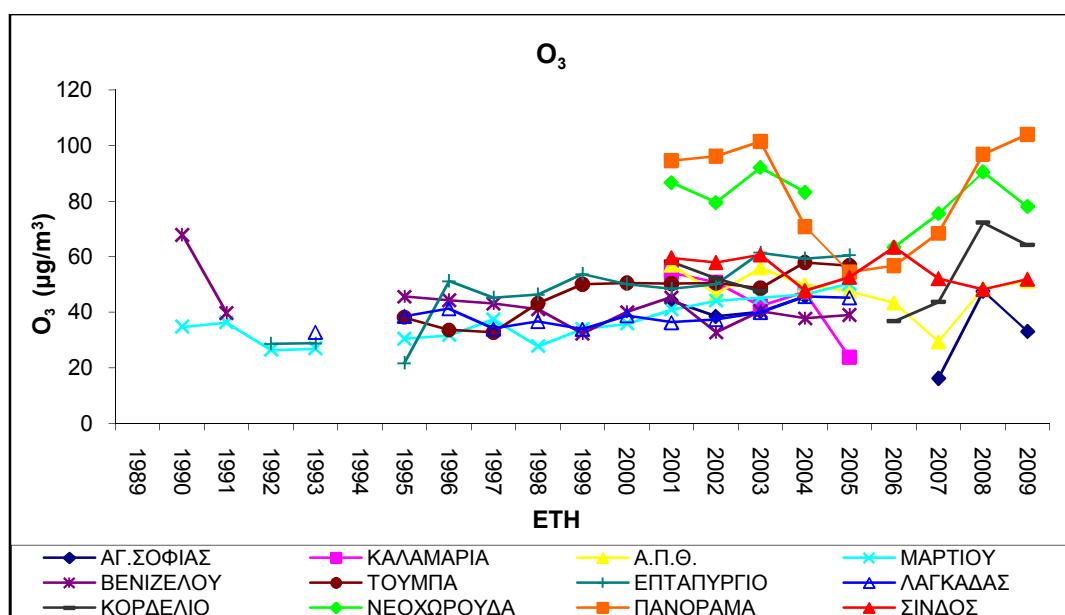
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Τα κεφάλαια 3 και 4 αποτελούν το πρώτο μέρος επεξεργασίας των δεδομένων της εργασίας, και πραγματεύονται την μεταβολή των ρύπων στο χρόνο καθώς και τις σχέσεις μεταξύ αυτών. Συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 3 παρακολουθείται η πορεία των ρύπων στο φάσμα των ετών και παράλληλα πραγματοποιούνται συσχετίσεις των σταθμών στους οποίους εκλύονται οι παραπάνω ρύποι. Στο κεφάλαιο 4 αναλύεται η πορεία των ρύπων καθώς και η κύμανση τους σε ετήσια, εποχική και ημερήσια βάση.

3.1 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΙΣ **ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ O₃, NO_x, O_x ΚΑΙ CO ΚΑΤΑ ΤΗΝ** **ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΤΩΝ 1989-2009.**

Στο συγκεκριμένο σημείο της ανάλυσης, γίνεται προσπάθεια να μελετηθούν και να απεικονιστούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων O₃, NO_x, O_x και CO έτσι ώστε να εξαχθεί μία εικόνα σχετικά με την πορεία και την αυξομείωση των συγκεντρώσεων αυτών στην διάρκεια της εικοσαετίας. Στη συγκεκριμένη μελέτη λήφθηκαν δεδομένα από επτά σταθμούς της περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας και πέντε σταθμούς από τον Δήμο Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα που λήφθηκαν από την περιφέρεια ήταν ωριαία, ενώ στη συνέχεια μετετράπησαν σε ημερήσια, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμα με τα ημερήσια δεδομένα του δήμου. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από το δήμο αναφέρονται στα έτη 1989-2005 ενώ τα δεδομένα της περιφέρειας στα έτη 2001-2009. Στην συνέχεια, υπολογίστηκε ο μέσος όρος για κάθε έτος, για κάθε σταθμό και κάθε ρύπο και τα αποτελέσματα αυτών αποτυπώνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Στο σχήμα 3.1 αποτυπώνεται η διαχρονική πορεία του O₃, για τους δώδεκα σταθμούς της μελέτης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε όλους τους σταθμούς απουσιάζουν δεδομένα, διότι δεν πραγματοποιούνταν μετρήσεις στα διαστήματα αυτά, ιδιαίτερα κατά την περίοδο 1989-1995, ενώ αντίθετα η περίοδος που υπάρχουν τα ελάχιστα κενά σε αυτά από όλους, εντοπίζεται στο διάστημα 2001-2005.



ΣΧΗΜΑ 3.1. Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του O₃ (1989-2009).

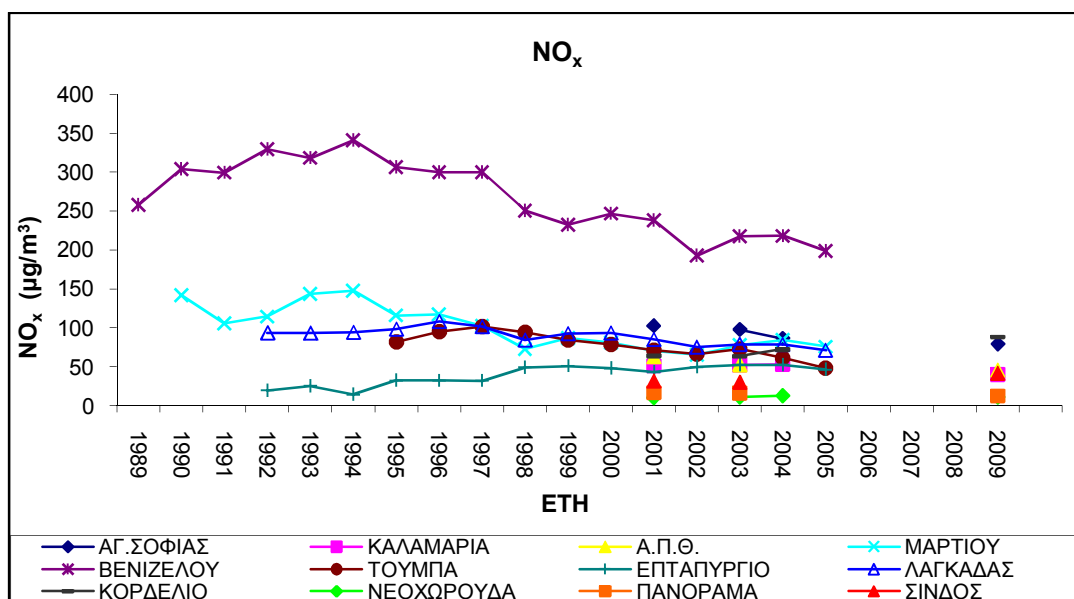
Από το διάγραμμα, διακρίνεται ότι 10 από τους δώδεκα σταθμούς, διατηρούν μία σταθερή πορεία συγκέντρωσης O₃ στη διάρκεια των ετών 1995-2006, η οποία κυμαίνεται μεταξύ των 30-50 μg/m³, ενώ στη συνέχεια εμφανίζουν αύξηση πάνω από 10 μg/m³ μέχρι και το 2008, όπου στη συνέχεια μειώνεται και επανέρχεται περίπου στις αρχικές τιμές κατά την διάρκεια της εικοσαετίας. Οι άλλοι δύο σταθμοί, της Νεοχωρούδας και του Πανοράματος, καταγράφουν πολύ μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης, που ξεπερνούν τα 80 μg/m³ (σχεδόν διπλάσιες από τις συγκεντρώσεις των υπολοίπων σταθμών) από το 2001-2003. Στη συνέχεια παρατηρείται μία πτώση της τάξης των 20 μg/m³, η οποία διατηρείται μέχρι το 2006. Από το 2006 παρατηρείται μία ραγδαία αύξηση του ρυθμού μεταβολής της συγκέντρωσης έως και το 2008, ενώ από το 2008 και μέχρι το τέλος της χρονοσειράς μειώνεται προς τις τιμές που κατείχε μέχρι και το 2003, ακολουθώντας την ίδια συμπεριφορά με τις συγκεντρώσεις και των άλλων σταθμών .

Συγκεκριμένα, οι σταθμοί (Επταπύργιο, Τούμπα και Μαρτίου) παρατηρείται να εμφανίζουν ελαφρά αύξηση γύρω από την μέση τιμή τους, όπως επίσης οριακή αύξηση παρατηρείται και για τον σταθμό του Κορδελιού. Οι υπόλοιποι σταθμοί, εμφανίζουν πολύ μικρές μειώσεις της τάξης των 2 ή 3 μg/m³ γύρω από τη μέση τιμή της συγκέντρωσης O₃ της εικοσαετίας. Σαν γενικότερη εικόνα που λαμβάνεται από όλους τούς σταθμούς της πόλης για τη συγκέντρωση του όζοντος, είναι ότι μέχρι και

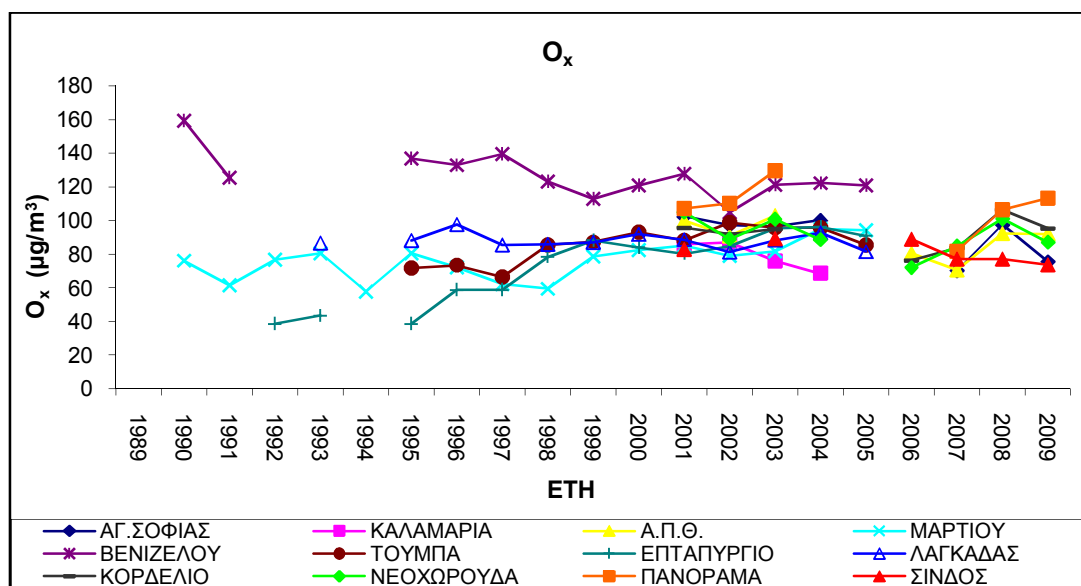
το 2006 υπάρχει μία σταθερότητα στις τιμές του εν λόγω ρύπου, την οποία όμως από το 2006 μέχρι και το 2008 ακολουθεί μία μεγάλη αύξηση. Μετά το 2008 οι τιμές δείχνουν τάση να επανέλθουν στα επίπεδα πριν την διετία. Σε γενικές γραμμές δηλαδή επικρατεί σταθερότητα όσον αφορά τη συγκέντρωση του O_3 αν εξαιρεθεί το διάστημα 2 ετών στο φάσμα της εικοσαετίας.

Συνεχίζοντας την ανάλυση, στο σχήμα 3.2 (παρακάτω), διακρίνεται η αντίστοιχη διαχρονική πορεία της συγκέντρωσης των NO_x , δηλαδή η διαχρονική πορεία της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου συνολικά (NO_2 και NO). Από το διάγραμμα διαπιστώνεται μια γενικότερη πτώση των τιμών συγκέντρωσης NO_x σε όλο το μήκος της χρονοσειράς. Πριν προχωρήσει η ανάλυση, θα πρέπει να αποσαφηνιστεί, ότι δεν υπάρχουν δεδομένα για όλους τους σταθμούς, διότι δεν πραγματοποιούνταν μετρήσεις σε όλα τα χρονικά διαστήματα, ή υπήρχε τιμή μόνο για το ένα από τα δύο οξείδια με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να εξαχθεί άθροισμα αυτών και τελικά τιμή. Συγκεκριμένα για τούς σταθμούς της περιφέρειας, υπάρχουν δεδομένα τεσσάρων ετών στο διηνεκές της χρονοσειράς με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τη πορεία της συγκέντρωσης NO_x για τους συγκεκριμένους σταθμούς. Αντιθέτως, για τους σταθμούς του δήμου, με βεβαιότητα διαπιστώνεται μείωση της συγκέντρωσης οξειδίων του αζώτου στους τέσσερις από τους πέντε σταθμούς, γεγονός που οδηγεί στη γενικευμένη διαπίστωση της μείωσης των εκπομπών NO_x στο διάστημα της εικοσαετίας, ιδιαίτερα μέσα στην πόλη, μιας και οι σταθμοί αυτοί χαρακτηρίζονται αστικοί.

Η σημαντικότερη μείωση αδιαμφισβήτητη σημειώνεται για τον σταθμό της Βενιζέλου, όπου το 2005 επιτυγχάνεται μείωση σχεδόν $70 \mu g/m^3$ σε σχέση με την μέση τιμή της εικοσαετίας. Αντίθετα για το σταθμό του Επταπυργίου, παρατηρείται μία αύξηση της τάξης των $20 \mu g/m^3$ γεγονός που οδηγεί στη διαπίστωση μιας γενικότερης ελαφράς ρύπανσης στο συγκεκριμένο σταθμό, μιάς και οι συγκεντρώσεις του O_3 εμφανίζουν παρόμοια αύξηση.



ΣΧΗΜΑ 3.2. Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης των NO_x (1989-2009).



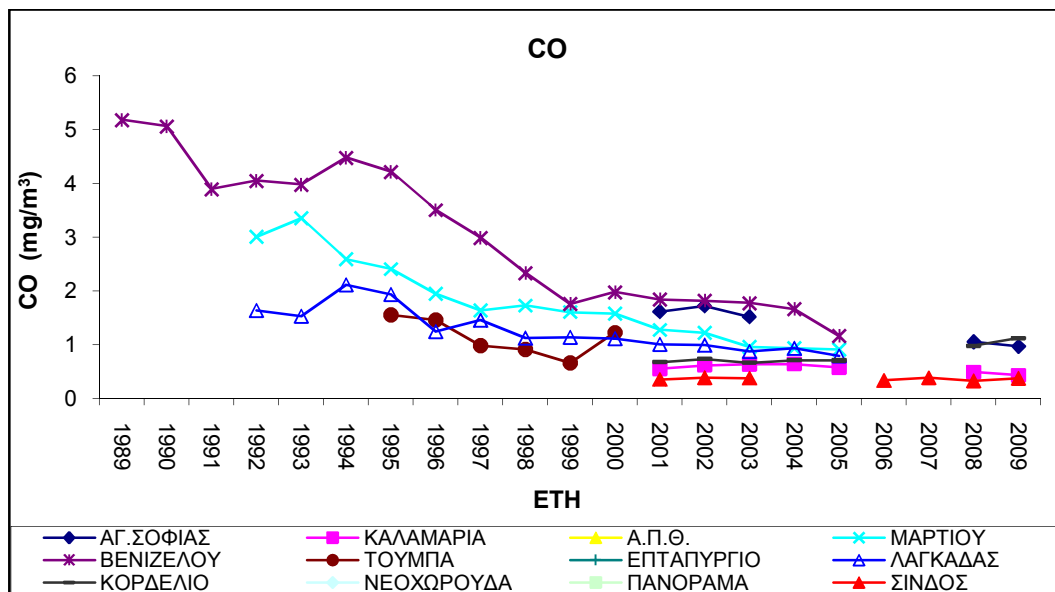
ΣΧΗΜΑ 3.3. Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης των O₃ (1989-2009).

Η παραπάνω διαπίστωση ενισχύεται και από το σχήμα 3.3 όπου διαφαίνεται η πορεία των O₃ στο διηνεκές της χρονοσειράς. Συγκεκριμένα ο σταθμός του Επταπυργίου, εμφανίζει σχεδόν αύξηση περίπου 200% της μέσης από τη αρχική τιμή της εικοσαετίας. Παρόμοια αυξητική τάση εμφανίζουν ο σταθμός της Μαρτίου σε μεγαλύτερο και ο σταθμός της Τούμπας σε μικρότερο βαθμό. Από την άλλη, όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί εμφανίζουν ελαφρά μείωση στη συγκέντρωση των O₃, της τάξης

των 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ γύρω από τη μέση τιμή τους στη διάρκεια της εικοσαετίας. Η διαφορά στους σταθμούς Μαρτίου, Τούμπας και Επταπυργίου πιθανόν να οφείλεται κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 στους ίδιους στη διάρκεια της εικοσαετίας. Αυτό που προκαλεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι πως σε πολλούς σταθμούς διακρίνεται αύξηση στην συγκέντρωση τους από το 2006 και μετά όπως και στο O_3 , η οποία οδηγεί τις τιμές στα επίπεδα αυτών προ δεκαετίας. Ωστόσο πάρα την ύπαρξη, τόσο των σταθμών που εντοπίζεται να εμφανίζουν αύξηση στη συγκέντρωσή τους, όσο και των σταθμών που εμφανίζουν αντίστοιχα μείωση, η γενικότερη εικόνα και των δώδεκα σταθμών που συμμετέχουν στη μελέτη όπως τεκμηριώνεται από το διάγραμμα, είναι η διατήρηση των τιμών συγκέντρωσης στα ίδια επίπεδα καθόλη τη διάρκεια της εικοσαετίας.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη των ρύπων, στο σχήμα 3.4 αποτυπώνεται η πορεία της συγκέντρωσης του CO . Πριν προχωρήσει η ανάλυση του διαγράμματος, επιβάλλεται η παρακάτω επισήμανση. Είτε επειδή δεν έχουν καταγραφεί δεδομένα, είτε επειδή δεν υποστηρίζουν μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO όλοι οι σταθμοί, για τέσσερις από τους σταθμούς μελέτης (Α.Π.Θ., Επταπύργιο, Νεοχωρούδα και Πανόραμα) δεν υπάρχουν δεδομένα, ενώ από τους υπολοίπους, για τρεις μόνο μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, αφού στους υπολοίπους πέντε σταθμούς υπάρχουν αρκετά μεγάλα κενά στα δεδομένα μεταξύ των ετών.

Αποτέλεσμα αυτού, είναι, να μην δύναται, η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την πορεία της συγκέντρωσης των συγκεκριμένων σταθμών στο φάσμα της εικοσαετίας, παρά μόνο για βραχέα χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, ο σταθμός της Βενιζέλου, παρουσιάζει μία ισχυρή, σταθερή μείωση της τάξης των 2 mg/m^3 των αρχικών τιμών συγκέντρωσης από την μέση τιμή της εικοσαετίας. Επιπλέον, τόσο ο σταθμός της Μαρτίου όσο και ο σταθμός του Λαγκαδά σημειώνουν πτώση στις τιμές της συγκεντρώσεως τους κατά 1,2 mg/m^3 και 0,3 mg/m^3 αντίστοιχα. Για τους υπολοίπους σταθμούς, όπως της Τούμπας, της Αγ. Σοφίας και του Κορδελιού εμφανίζεται μία ισορροπία στις τιμές συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου, αν και το παραπάνω συμπέρασμα αφορά μικρή χρονική περίοδο.



ΣΧΗΜΑ 3.4. Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης των CO (1989-2009).

Ωστόσο, σαν γενικότερο συμπέρασμα παρατηρώντας τη πορεία της συγκέντρωσης CO τριών κεντρικών αστικών σταθμών, αναφέρεται ότι πράγματι υπάρχει μείωση των εκπομπών CO, μιας και υπάρχει σαφής και σημαντική ελάττωση της συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου, σε τρεις πολύ κεντρικούς και επιβαρυνμένους σταθμούς της πόλης (Petrakakis et al 2001). Αυτή η μείωση των εκπομπών CO, πιθανόν να οφείλεται τόσο στην μείωση της καύσης ρυπογόνων υδρογονανθράκων (πετρέλαιο) και αντικατάστασης αυτών με υδρογονάνθρακες περισσότερο φιλικούς προς το περιβάλλον (φυσικό αέριο), όσο και στην μετεξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, από αναγωγική (τύπου Λονδίνου), σε οξειδωτική (τύπου Λος Άντζελες) (Δήμος Θεσσαλονίκης, 2008). Με λίγα λόγια, λόγω των καυσίμων των τροχοφόρων (εμπλουτισμένα με θείο) όσο και της χρησιμοποίησης πετρελαίου στην θέρμανση των κατοικιών, σχηματιζόταν στην πόλη ρύπανση αναγωγικού τύπου, που τα κύρια συστατικά της ήταν οξείδια του θείου και οξείδια του άνθρακα. Ωστόσο με την χρήση βελτιωμένων καυσίμων στα τροχοφόρα από την μία, όσο και με την μεταστροφή στην χρησιμοποίηση φυσικού αερίου για θέρμανση (αρχές 2000) από την άλλη, τα δεδομένα άλλαξαν. Η αναγωγική ρύπανση μετεξελίχθηκε σε οξειδωτική, που ως βάση της πλέον δεν έχει οξείδια του θείου ή οξείδια του άνθρακα, αλλά οξείδια του αζώτου και όζον.

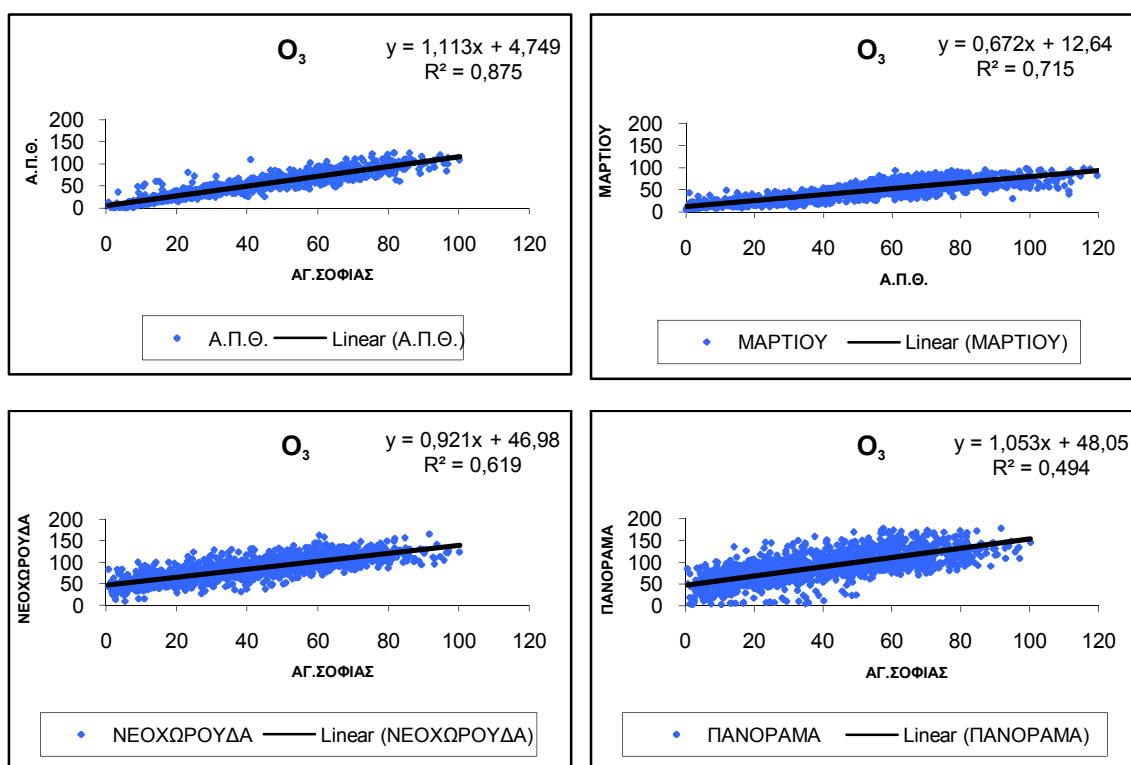
3.2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2001-2005, ΚΑΘΟΛΗ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ, ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΨΥΧΡΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.

Στα πλαίσια της μελέτης των ρύπων, θεωρήθηκε σκόπιμη η διερεύνηση της σχέσης όλων των αστικών και περιαστικών σταθμών μεταξύ τους, όσον αφορά τους ρύπους O_3 , NO_x και O_x . Στην παρακάτω μελέτη συσχέτισης, δεν συμμετέχει το CO , καθώς δεν πραγματοποιείται καταγραφή της συγκεντρώσης του από όλους τους σταθμούς, με αποτέλεσμα πιθανός έλεγχος της συσχέτισης αναφορικά με τον συγκεκριμένο ρύπο, να μην οδηγούσε σε κάποιο αποτέλεσμα. Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν δώδεκα σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα πέντε σταθμοί από τον δήμο Θεσσαλονίκης και επτά σταθμοί από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κομμάτια της συγκεκριμένης εργασίας, ως ιδανικότερη περίοδος μελέτης, θεωρείται η πενταετία 2001-2005, στην οποία και οι δώδεκα σταθμοί, σημειώνουν τις λιγότερες απώλειες σε δεδομένα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα (περίπου 1830 τιμές), από τα οποία βρέθηκαν οι δείκτες συσχέτισης όλων των σταθμών μεταξύ τους, καθόλη τη διάρκεια, κατά την θερμή και κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διαγράμματα διασποράς από τα οποία λήφθησαν οι εξισώσεις των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων, οι δείκτες προσδιορισμού R^2 καθώς και οι σταθερές α και β της ευθείας.

3.2.1. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ O_3 ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΟΛΗ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ, ΤΗΝ ΘΕΡΜΗ ΚΑΙ ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης όλων των σταθμών, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο σχετίζονται μεταξύ τους και να ληφθεί μια γενικότερη εικόνα, κυρίως της σχέσης των αστικών και περιαστικών σταθμών μεταξύ τους, όσον αφορά τους ρύπους του O_3 . Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων του O_3 για όλο το έτος, παραθέτονται στο παράρτημα (σχήμα Π1).

Συγκεκριμένα για το O₃, διαφαίνεται μεγάλη συσχέτιση των αστικών σταθμών μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός Αγ.Σοφίας με το σταθμό Α.Π.Θ., όπου εντοπίζεται μεγάλη συσχέτιση 0,94, ενώ επίσης μεγάλη συσχέτιση παρουσιάζει και ο σταθμός του Α.Π.Θ. με το σταθμό της Μαρτίου 0,86 όπως διαπιστώνεται και παρακάτω από το σχήμα 3.5. Η ίδια ή παρόμοια εικόνα, παρουσιάζεται και από τους υπόλοιπους αστικούς σταθμούς μεταξύ τους, με πολύ μεγάλες τιμές του δείκτη συσχέτισης οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές (Σχήμα Π1). Ωστόσο, η συσχέτιση μεταξύ των σταθμών φαίνεται να παρουσιάζεται ως συνάρτηση της απόστασης αυτών από το κέντρο της πόλης. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται στη κέντρο της πόλης, συσχετίζονται περισσότερο, απ'ότι οι αστικοί που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση.



ΣΧΗΜΑ 3.5. Συσχετίσεις σταθμών για το O₃ καθόλη τη διάρκεια του έτους.

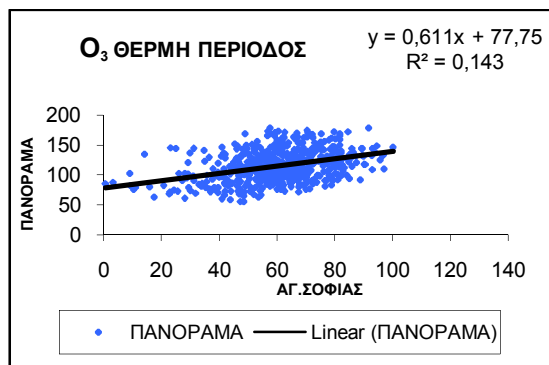
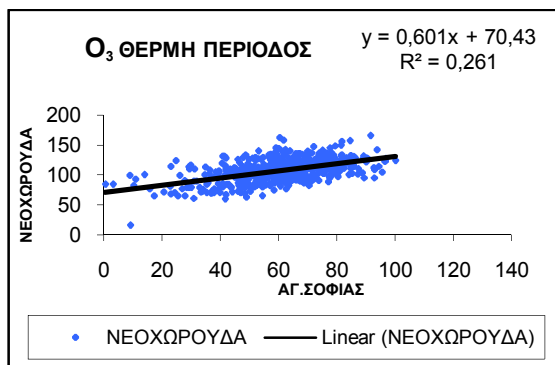
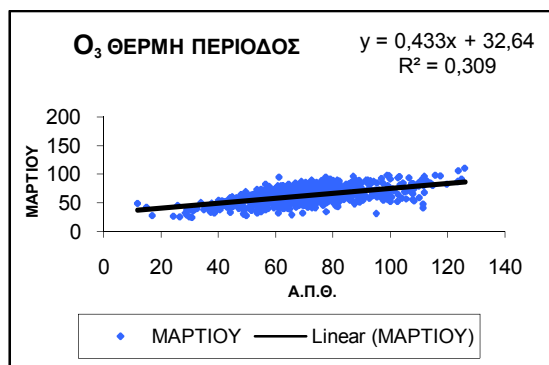
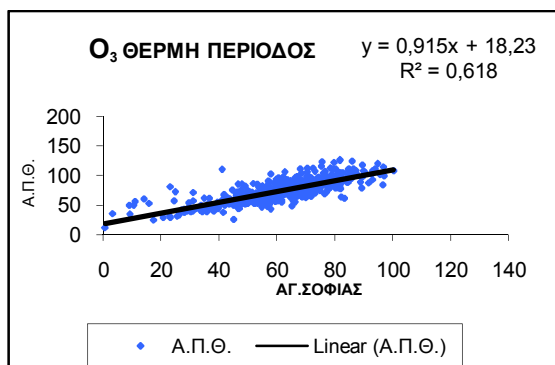
Επιπρόσθετα, επίσης μεγάλη αλληλεξάρτηση διαφαίνεται να υπάρχει μεταξύ αστικών και περιαστικών σταθμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός της Αγ. Σοφίας με τους περιαστικούς σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος όπως πιστοποιείται στο σχήμα 3.5. Οι τιμές συσχέτισης φτάνουν το 0,79 και 0,7 αντίστοιχα, συσχετίσεις που υποστηρίζονται από υψηλή στατιστική σημαντικότητα.

Η διαπίστωση αυτή θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, δεδομένου ότι μέσω αυτής, πιστοποιείται και η άμεση σχέση αστικών-περιαστικών σταθμών, όσον αφορά το συγκεκριμένο ρύπο. Αυτό συμβαίνει διότι στους πρώτους, δημιουργείται το O_3 μέσω διαφόρων χημικών διεργασιών, ενώ παράλληλα μεταφέρεται στους δεύτερους μέσω των διεργασιών διασποράς.

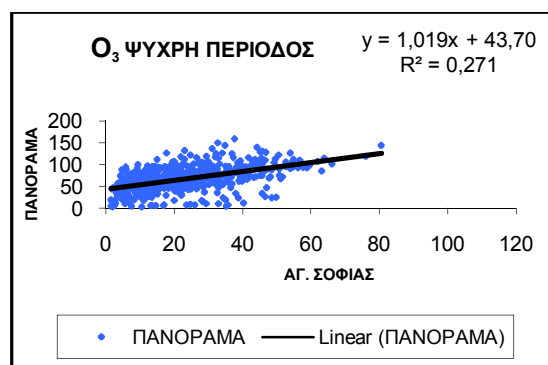
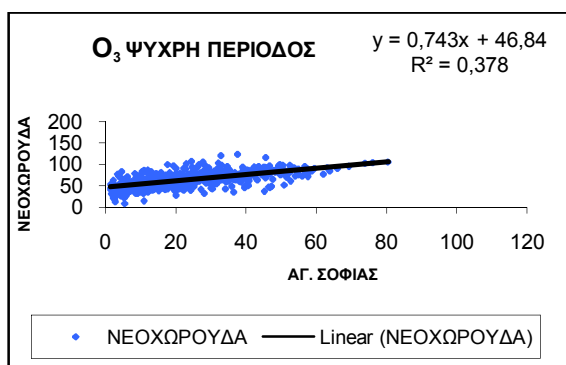
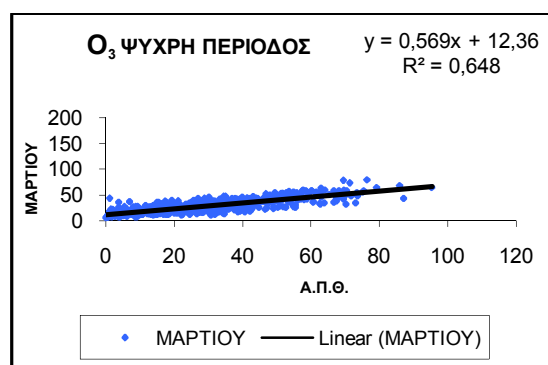
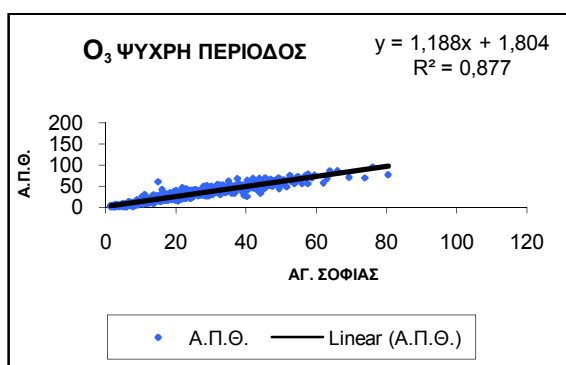
Αυτό που έχει μεγάλη σημασία και χρήζει ενδιαφέροντος είναι και οι τιμές της σταθεράς β . Παρατηρείται έντονα ότι, ενώ οι αστικοί σταθμοί μεταξύ τους συσχετίζονται καλύτερα απ'ότι οι αστικοί με τους περιαστικούς. Εντούτοις παρουσιάζονται μεγάλες τιμές της σταθεράς β μόνο μεταξύ αστικών και περιαστικών σταθμών.

Συγκεκριμένα, οι τιμές της σταθεράς β , μεταξύ των σταθμών Αγ.Σοφίας και Α.Π.Θ. ή Α.Π.Θ. και Μαρτίου είναι περίπου $5\mu g/m^3$ και $13\mu g/m^3$ αντίστοιχα, τη στιγμή που μεταξύ των σταθμών Αγ.Σοφίας-Νεοχωρούδας και Αγ.Σοφίας-Πανοράματος είναι $47\mu g/m^3$ και $48\mu g/m^3$ αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι στους περιαστικούς σταθμούς υπάρχει δυναμικό υπόβαθρου όζοντος, το οποίο βρίσκεται στις περιοχές αυτές, ανεξάρτητα των εκπομπών O_3 στην πόλη. Η εξήγηση που δίδεται για αυτό το φαινόμενο αυτό, είναι ότι το O_3 στην πόλη είναι «γηγενές», δηλαδή σχηματίζεται από τους μηχανισμούς παραγωγής, λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων εντός αυτής. Αντίθετα, το O_3 που εμφανίζεται στα περίχωρα, πιθανώς να έχει «εισαχθεί» από άλλες μακρυνότερες περιοχές, είτε να έχει σχηματιστεί από φυσικούς μηχανισμούς που δεν έχουν απαραίτητα σχέση με ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όσον αφορά τις συσχετίσεις των περιαστικών σταθμών μεταξύ τους, εμφανίζονται αρκετά υψηλές. Συγκεκριμένα, μεταξύ των σταθμών Νεοχωρούδας-Πανοράματος και Νεοχωρούδας-Σίνδου υπάρχει συσχέτιση 0,79 και 0,74 αντίστοιχα. Από τις τιμές των συσχετίσεων, αστικών-αστικών, περιαστικών-περιαστικών και αστικών-περιαστικών σταθμών που βρέθηκαν συνολικά, διακρίνεται ότι η πιο ισχυρή συσχέτιση, εντοπίζεται μεταξύ των αστικών



ΣΧΗΜΑ 3.6. Συσχετίσεις σταθμών για το O₃ κατά την θερμή περίοδο του έτους.



ΣΧΗΜΑ 3.7. Συσχετίσεις σταθμών για το O₃ κατά την ψυχρή περίοδο του έτους.

σταθμών, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα ακολούθως, βρίσκονται οι συσχετίσεις περιαστικών-περιαστικών και αστικών-περιαστικών σταθμών αντίστοιχα.

Στο προηγούμενο σχήμα (3.5) αναλύθηκε η συσχέτιση μεταξύ των σταθμών για το O₃ καθόλη την διάρκεια του έτους. Εξίσου ενδιαφέρον προκαλεί και η μεταβολή που παρουσιάζει η συσχέτιση κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους.

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 3.6 και 3.7, οι ίδιοι σταθμοί των οποίων μελετήθηκε η συσχέτιση τους καθόλη τη διάρκεια του έτους, μελετώνται τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο. Παρατηρείται ότι από τους σταθμούς που συμμετέχουν στην μελέτη, μεγαλύτερες συσχετίσεις εμφανίζονται κατά την ψυχρή παρά κατά την θερμή περίοδο του έτους μεταξύ αστικών-αστικών και αστικών-περιαστικών σταθμών αντίστοιχα.

Αναλύοντας, η συσχέτιση του σταθμού της Αγ.Σοφίας με ο σταθμό του Α.Π.Θ., παρουσιάζει τιμές 0,86 κατά την ψυχρή και 0,79 κατά την θερμή περίοδο (παράρτημα σχήματα Π4 και Π7). Αντίστοιχα, οι επίσης αστικοί σταθμοί Α.Π.Θ. με Μαρτίου, εμφανίζουν μεγαλύτερη συσχέτιση την ψυχρή παρά την θερμή περίοδο, με τιμές 0,80 και 0,54 αντίστοιχα. Ο σταθμός της Αγ. Σοφίας με τους σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος εμφανίζουν συσχέτιση 0,62 και 0,52 αντίστοιχα κατά την ψυχρή, ενώ παρουσιάζουν τιμές 0,51 και 0,38 κατά την θερμή περίοδο του έτους. Την αντίθετη συμπεριφορά δείχνουν να ακολουθούν όσον αφορά την συσχέτιση οι περιαστικοί σταθμοί μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά, μεταξύ Νεοχωρούδας-Πανοράματος και Νεοχωρούδας-Σίνδου, εμφανίζονται συσχετίσεις 0,69 και 0,55 αντίστοιχα την θερμή περίοδο και 0,54 και 0,53 την ψυχρή. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά την διάρκεια της ψυχρής, οι τιμές συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικότερες σε σχέση με την θερμή περίοδο όσον αφορά αστικούς-αστικούς και αστικούς-περιαστικούς σταθμούς, ενώ το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει όσον αφορά περιαστικούς-περιαστικούς σταθμούς.

Ωστόσο, διαφορετική στάση από τη συσχέτιση δείχνουν οι τιμές της σταθεράς β, που φαίνεται να παρουσιάζονται μεγαλύτερες κατά την θερμή, παρά την ψυχρή περίοδο. Συγκεκριμένα, οι αστικοί σταθμοί Αγ.Σοφίας-Α.Π.Θ. και Α.Π.Θ.-Μαρτίου, διακρίνεται να έχουν τιμές O₃ μεγαλύτερες κατά την θερμή, με χαρακτηριστικές τιμές 18μg/m³ και 33μg/m³ έναντι των 2 μg/m³ και 12 μg/m³ κατά

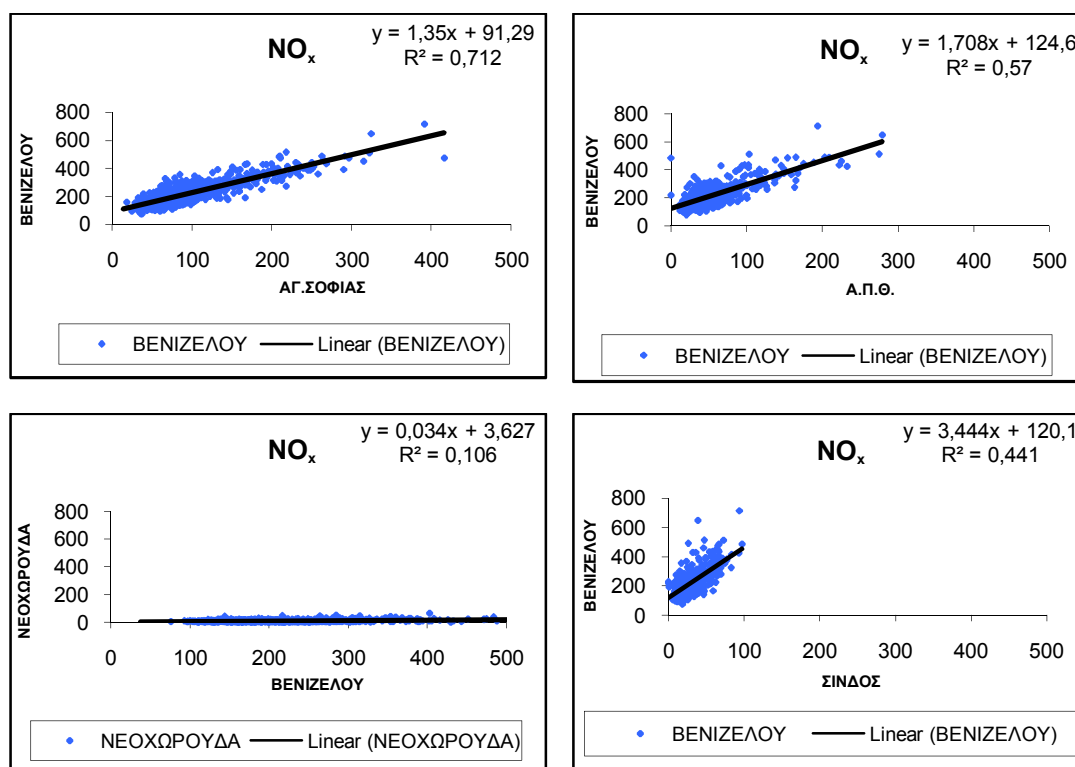
την ψυχρή περίοδο. Στο ίδιο μήκος κύματος κινούνται και οι τιμές του υπόβαθρου όζοντος και μεταξύ αστικών-περιαστικών σταθμών. Στα σχήματα 3.6 και 3.7 καταγράφονται τιμές $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά την θερμή και $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά την ψυχρή περίοδο, για τους σταθμούς Αγ.Σοφίας-Νεοχωρούδας και Αγ.Σοφίας-Πανοράματος αντίστοιχα. Τέλος, η ίδια εικόνα εμφανίζεται και για τους περιαστικούς σταθμούς μεταξύ τους, όσον αφορά την τιμή του συντελεστή β, τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο, με τις τιμές την θερμή να είναι λίγο μεγαλύτερες της ψυχρής περιόδου. Αναλυτικά, τη θερμή περίοδο μεταξύ Νεοχωρούδας-Πανοράματος και Νεοχωρούδας-Σίνδου εμφανίζονται τιμές συγκέντρωσης $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ την ψυχρή $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Η ύπαρξη μεγαλύτερων τιμών υπόβαθρου O_3 κατά την θερμή σε σχέση με την ψυχρή περίοδο του έτους, δημιουργεί ερωτηματικά που ωστόσο είναι εύκολο να απαντηθούν. Κατά την θερμή περίοδο, υπάρχει πιο έντονη φωτοχημική δραστηριότητα, δεδομένης της ύπαρξης περισσότερης ηλιοφάνειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία περισσότερου όζοντος τόσο στην πόλη, τόσο στα προάστια αυτής, όσο και σε περιοχές μακριά από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Αυτός είναι και ο λόγος, που εμφανίζεται περισσότερο όζον κατά την θερμή περίοδο ακόμη και μέσα στην πόλη και πολύ περισσότερο στις περιαστικές περιοχές.

3.2.2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ NO_x ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ, ΤΗΝ ΘΕΡΜΗ ΚΑΙ ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.

Προχωρώντας σε βάθος ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, πραγματοποιείται έλεγχος της συσχέτισης όλων των σταθμών μεταξύ τους, όσον αφορά τα οξείδια του αζώτου.

Συγκεκριμένα, μεταξύ αστικών σταθμών, διακρίνεται ότι εμφανίζονται μεγάλες συσχετίσεις, όσον αφορά τα NO_x καθόλη τη διάρκεια του έτους. Συγκεκριμένα, ο σταθμός της Αγ. Σοφίας εμφανίζει συσχέτιση της τάξης του 0,85 με το σταθμό της Βενιζέλου, ο οποίος είναι και ο περισσότερος επιβαρυνμένος σταθμός όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου, ενώ αντίστοιχα ο σταθμός του Α.Π.Θ. με τον ίδιο σταθμό δείχνει τιμή 0,75. Αυτό που προκαλεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι, ότι δεν παρατηρούνται μεγάλες τιμές της σταθεράς β , δηλαδή μεγάλες τιμές της συγκέντρωσης NO_x μεταξύ των σταθμών εντός της πόλης, παρά μόνο για τον σταθμό της Βενιζέλου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από τη συσχέτιση του σταθμού της Αγ. Σοφίας με τη Βενιζέλου, προκύπτει τιμή του συντελεστή β , $91 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$. Αντιστοίχως, η συσχέτιση και άλλων αστικών σταθμών όπως της Καλαμαριάς, του Α.Π.Θ. και του σταθμού της Μαρτίου με τον εν λόγω σταθμό, οδηγούν στη διαπίστωση συγκέντρωσης NO_x στη Βενιζέλου $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑ 3.8. Συσχετίσεις σταθμών για τα NO_x καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Από την εύρεση τόσο μεγάλων τιμών συγκέντρωσης NO_x στον σταθμό αυτό, ξεκαθαρίζεται ότι στον συγκεκριμένο προϋπάρχουν γενικά μεγάλες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου, ασχέτως των δραστηριοτήτων που οδηγούν στη παραγωγή NO_x

μέσα στη πόλη. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις του ρύπου που μελετάται, για το συγκεκριμένο σταθμό, πιθανόν να οφείλονται σε εκπομπές NO_x στην περιοχή του σταθμού, είτε να εισάγονται μέσω διεργασιών διάχυσης-διασποράς από περιοχές πολύ κοντά στο σταθμό. Το γεγονός ύπαρξης εισαγόμενων ρύπων NO_x στη συγκεκριμένη περιοχή αιτιολογεί και την πολύ μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις NO_x του σταθμού της Βενιζέλου από τους υπολοίπους αστικούς σταθμούς.

Προχωρώντας, στην ανάλυση, εντοπίζεται ασθενής συσχέτιση στα NO_x όσον αφορά τους αστικούς- περιαστικούς σταθμούς, πολύ μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε για το O₃ για τους ίδιους σταθμούς, οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικές (παράρτημα, σχήμα Π2). Συγκεκριμένα οι συσχετίσεις Βενιζέλου-Νεοχωρούδας και Βενιζέλου-Πανοράματος είναι 0,33 και 0,52 με τιμές της σταθεράς προσδιορισμού R² 0,11 και 0,27 αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι αναμενόμενη, αφού η Νεοχωρούδα και το Πανοράμα είναι περιαστικοί σταθμοί, με πολύ μικρότερες τιμές συγκεντρώσεις NO_x. Σαν αποτέλεσμα αυτό έχει, οι περιαστικοί σταθμοί, να επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό από τις εκπομπές πρωτογενών ρύπων σε σχέση με το όζον.

Παραφωνία στη παραπάνω διαπίστωση, αποτελεί ο σταθμός της Σίνδου ο οποίος εμφανίζει αρκετά μεγάλο βαθμό συσχέτισης με όλους τους αστικούς σταθμούς, δεδομένου ότι συγκαταλέγεται στους περιαστικούς σταθμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σταθμός της Βενιζέλου με τη Σίνδο, καθώς επίσης και ο σταθμός της Μαρτίου με αυτή, που έχουν βαθμούς συσχέτισης 0,67 και 0,75 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές και αυτό οδηγεί στο παρακάτω προβληματισμό. Ο σταθμός της Σίνδου σαν περιαστικός σταθμός, δεν θα έπρεπε να αλληλοεξαρτάται από τους υπόλοιπους αστικούς σταθμούς, δεδομένου ότι οι περιαστικοί σταθμοί επηρεάζονται λιγότερο από ρύπους οξειδίων του αζώτου σε αντίθεση με τους αστικούς, αφού η εικόνα που παρουσιάζουν οι πρώτοι είναι εντελώς διαφορετική από τους δεύτερους σε σχέση με τα NO_x. Κατ'αυτό τον τρόπο, δεν θα έπρεπε οι αστικοί να συσχετίζονται ισχυρά με τους αντίστοιχους περιαστικούς σταθμούς, όπως όντως βρέθηκε ότι συμβαίνει παραπάνω, με τους σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος. Λύση σε αυτό το προβληματισμό, δίνει το γεγονός ότι η Σίνδος, χαρακτηρίζεται εκτός από περιαστικός σταθμός και βιομηχανικός, δεδομένου ότι εκεί βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή της Σίνδου. Αν λοιπόν ληφθεί υπόψη, ότι από τις βιομηχανικές μονάδες εκλύονται σημαντικές ποσότητες NO_x, οι

οποίες σε μικρό βαθμό εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα της περιοχής με οξείδια του αζώτου, είναι λογικό να εμφανίζεται συσχέτιση με τους σταθμούς του κέντρου της πόλης.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι η συσχέτιση μεταξύ περιστατικών-περιστατικών σταθμών όπως διακρίνεται και από τον σχήμα Π2 του παραρτήματος, είναι ασθενής και στατιστικά μη σημαντική, γεγονός που αναμενόταν δεδομένου ότι οι σταθμοί αυτοί δεν συγκεντρώνουν παρά μόνο πολύ μικρές ποσότητες NO_x 's.

Προχωρώντας σε βαθύτερη ανάλυση, στους πίνακες Π5 και Π8 του παραρτήματος, που αναφέρονται στην αντίστοιχη θερμή και ψυχρή περίοδο του έτους, διακρίνεται ότι την ψυχρή οι συσχετίσεις μεταξύ αστικών-αστικών σταθμών είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες συσχετίσεις την θερμή περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, οι συσχετίσεις μεταξύ Αγ. Σοφίας-Βενιζέλου και Α.Π.Θ. - Βενιζέλου αγγίζουν τις τιμές 0,86 και 0,80 αντίστοιχα κατά την ψυχρή, ενώ κατά την θερμή περίοδο, οι αντίστοιχες συσχετίσεις μειώνονται στο 0,62 και 0,34. Επιπλέον κατά την ψυχρή περίοδο οι συγκεκριμένες τιμές των συσχετίσεων είναι στατιστικά σημαντικότερες (0,75 και 0,63 αντίστοιχα) από την θερμή (0,38 και 0,11) όπως πιστοποιείται και στα στα σχήματα 3.9 και 3.10. Επιπρόσθετα, την ίδια τάση δείχνει να ακολουθά και η τιμή του συντελεστή β για τα NO_x . Κατά την ψυχρή περίοδο οι τιμές της σταθεράς αυτής, αυξάνουν σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της την θερμή γεγονός, που πιθανόν να συμβαίνει για τους ακόλουθους λόγους. Την χειμερινή περίοδο αυξάνονται οι εκπομπές των NO_x λόγω των περισσότερων μετακινήσεων εντός της πόλης σε σχέση με την θερινή περίοδο. Επιπρόσθετα, τα NO_x , έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής την χειμερινή περίοδο εξαιτίας και των μεγαλύτερων συγκεντρώσεων αυτών την εν λόγω περίοδο. Τέλος μία ακόμη πιθανή αιτία είναι η μικρότερης κλίμακας εξαέρωση που υπάρχει εντός της πόλης την χειμερινή περίοδο σε σχέση με την θερινή.

Η παραπάνω εικόνα είναι γενική σε όλους τους αστικούς σταθμούς. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ η τιμή του συντελεστή αυτού, δεν ξεπερνά τα $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ακόμη και την ψυχρή περίοδο σχεδόν σε όλους τους αστικούς σταθμούς, στο σταθμό της Βενιζέλου η τιμή αυτή εκτοξεύεται πάνω από τα $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ την θερμή και πάνω από τα $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ την ψυχρή περίοδο κατά μέσο όρο, όπως μπορεί να διακριθεί και από τους πίνακες 3.1 και 3.2 παρακάτω.

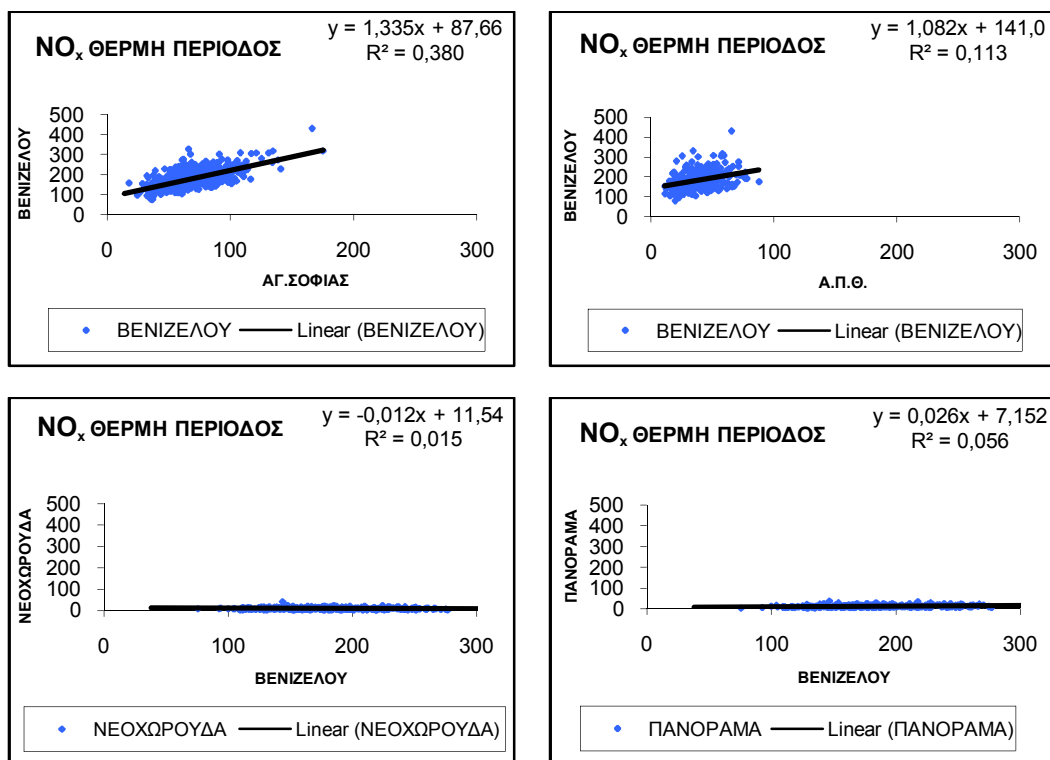
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Τιμές της σταθεράς β όπως προκύπτουν από τις συσχετίσεις αστικών – αστικών σταθμών, για τα NO_x καθόλη την θερμή περίοδο του έτους.

β (μg/m³)	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΤΟΥΜΠΑ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ
BENIZEΛΟΥ	88	150	141	91	125	136	94	133

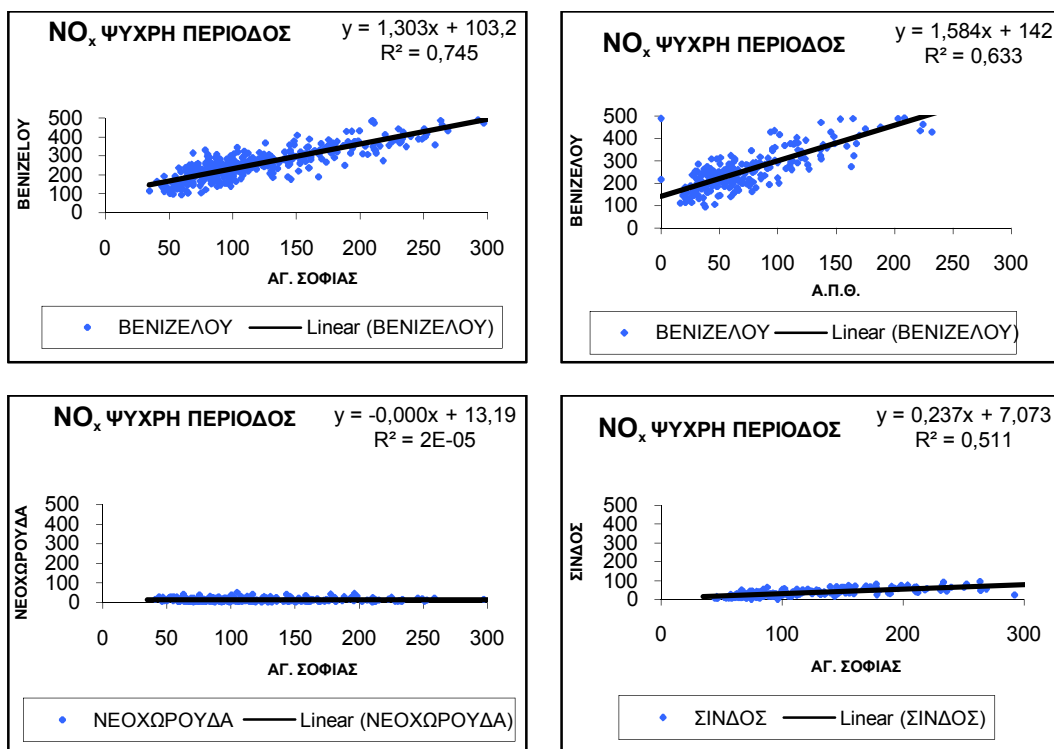
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2. Τιμές της σταθεράς β όπως προκύπτουν από τις συσχετίσεις αστικών – αστικών σταθμών, για τα NO_x καθόλη την ψυχρή περίοδο του έτους.

β (μg/m³)	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΤΟΥΜΠΑ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ
BENIZEΛΟΥ	103	115	142	111	164	177	144	146

Από τις τιμές που παρατηρούνται τόσο για τις τιμές των συσχετίσεων, της στατιστικής σημαντικότητας τους, όσο και των συντελεστών β, διαπιστώνονται δύο πράγματα. Πρώτον, ότι κατά την ψυχρή περίοδο υπάρχει καθολική αύξηση των τιμών σε σχέση με την θερμή και δεύτερον ότι ο σταθμός της Βενιζέλου έχει αυξημένο συγκέντρωση σε NO_x όπως τεκμηριώνεται από και από τους πίνακες 3.1 και 3.2 παραπάνω, σε σχέση με όλους τους αστικούς σταθμούς. Η πρώτη διαπίστωση, αιτιολογείται αν σκεφτεί κανείς, ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες εντός της πόλης και άρα και οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, αυξάνονται κατά την ψυχρή σε σχέση με τη θερμή περίοδο του έτους, με αποτέλεσμα τόσο η συσχέτιση όσο και οι τιμές των υπολοίπων συντελεστών να είναι μεγαλύτερες. Η δεύτερη διαπίστωση είναι όχι μόνο αναμενόμενη, αλλά και διαφωτιστική, με δεδομένο τις τιμές που παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου στη Βενιζέλου σε σχέση με όλους τους υπολοίπους σταθμούς της μελέτης. Ο σταθμός της Βενιζέλου εμφανίζει κατά πολύ τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις NO_x από όλους τους σταθμούς. Οι τιμές του συντελεστή β από όλους τους αστικούς σταθμούς που βρέθηκαν, μαρτυρούν μία μεγάλη τιμή συγκέντρωσης οξειδίων του αζώτου που προϋπάρχει και το οποίο ευθύνεται για τις μεγάλες συγκεντρώσεις NO_x που καταγράφονται στο συγκεκριμένο σταθμό.



ΣΧΗΜΑ 3.9. Συσχετίσεις σταθμών για τα NO_x κατά την θερμή περίοδο του έτους.



ΣΧΗΜΑ 3.10. Συσχετίσεις σταθμών για τα NO_x κατά την ψυχρή περίοδο του έτους.

Όσον αφορά τη συσχέτιση αστικών-περιαστικών σταθμών, αυτό που συμβαίνει είναι ακριβώς αντίθετο από την συσχέτιση αστικών-αστικών σταθμών.

Παρατηρείται, ότι κατά την θερμή περίοδο οι συσχετίσεις μεταξύ αστικών-περιαστικών σταθμών είναι μεγαλύτερες σε σχέση με την ψυχρή περίοδο, αν και όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση σε ετήσια βάση, οι συσχετίσεις των αστικών-περιαστικών σταθμών είναι ασθενείς και στατιστικά μη σημαντικές (παράρτημα σχήματα Π5 και Π8). Δηλαδή, δεν υπάρχει μεγάλη συσχέτιση των αστικών-περιαστικών σταθμών, αφού οι δεύτεροι, δεν εμφανίζουν παρά μικρές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου σε αντίθεση με τους πρώτους. Το ίδιο ακριβώς και για τον ίδιο λόγο, συμβαίνει και με τις συσχετίσεις μεταξύ περιαστικών-περιαστικών σταθμών, όπου παρά το γεγονός ότι οι συσχετίσεις την θερμή είναι μεγαλύτερες από αυτές την ψυχρή περίοδο, ιδιαίτερα αυτές της ψυχρής περιόδου, πλησιάζουν το μηδέν.

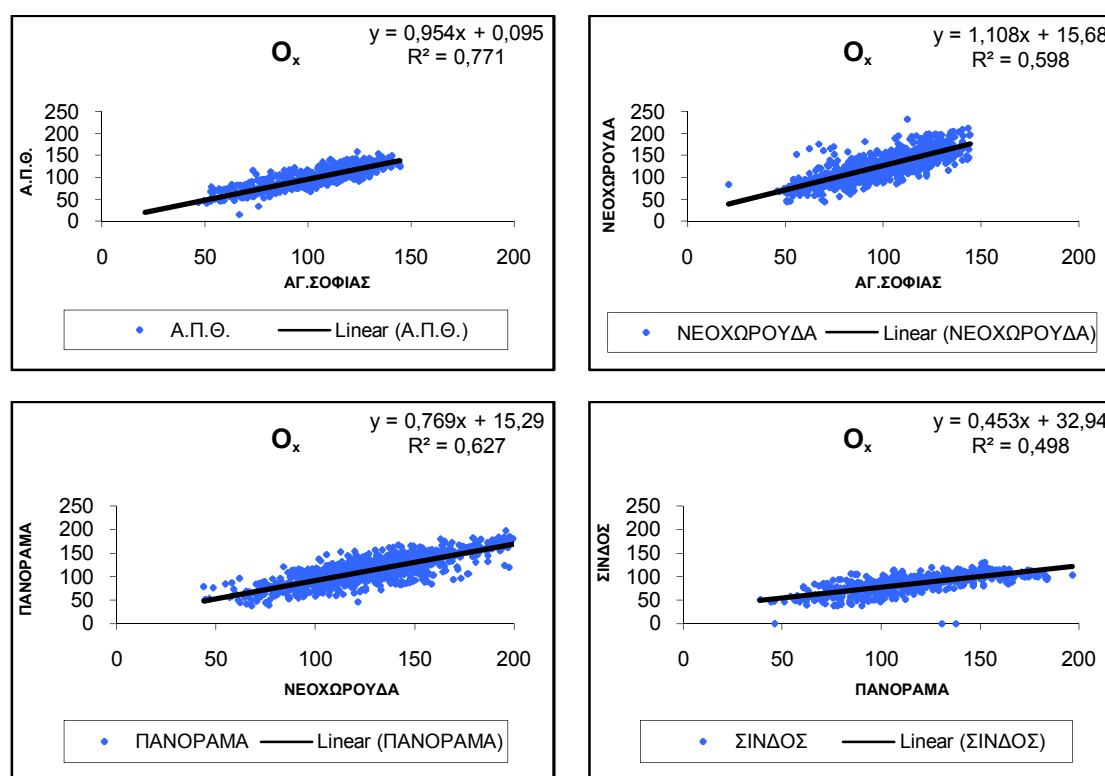
Αυτό που αξίζει κανείς να διευκρινίσει, είναι η διαφοροποίηση που πρέπει να υπάρξει στην αντιμετώπιση των περιαστικών σταθμών όσον αφορά τη Σίνδο. Η Σίνδος συγκαταλέγεται μεν στους περιαστικούς σταθμούς όπως προαναφέρθηκε, όμως από την άλλη, δεν παύει να χαρακτηρίζεται και ως βιομηχανικός σταθμός. Αυτός ακριβώς ο διαχωρισμός, αιτιολογεί και τη διαφορετική συμπεριφορά που παρουσιάζει, όσον αφορά τις συσχετίσεις αυτής με τους υπόλοιπους αστικούς σταθμούς τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο. Συγκεκριμένα, ενώ οι σταθμοί Νεοχωρούδας και Πανοράματος δεν παρουσιάζουν αξιόλογες συσχετίσεις με τους αστικούς σταθμούς όπως αναφέρθηκε, ο σταθμός της Σίνδου εμφανίζει μεγάλες συσχετίσεις ιδιαίτερα τη ψυχρή περίοδο. Ο σταθμός της Σίνδου, λόγω της εγκατεστημένης βιομηχανικής περιοχής που έχει σαν αποτέλεσμα, την αύξηση των εκλύσεων NO_x , εμφανίζει αυξημένες τιμές συγκέντρωσης σε σχέση με τους υπολοίπους περιαστικούς σταθμούς.

Επιπρόσθετα, το γεγονός της εμφάνισης αρκετά μεγάλων τιμών συσχέτισης με τους αστικούς σταθμούς, οι οποίες τυγχάνουν να είναι στατιστικά σημαντικές κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο, καθώς και η ομοιότητα της χρονικής περιόδου κατά την οποία οι συσχετίσεις της Σίνδου με τους υπολοίπους αστικούς σταθμούς είναι μεγαλύτερες, (την ψυχρή περίοδο σε αντίθεση με το Πανόραμα και την Νεοχωρούδα) θα ωθούσαν κάποιον σε μία σκέψη. Την σκέψη της πιθανότητας, ο σταθμός της Σίνδου να έπρεπε να συγκαταλεχθεί στους αστικούς σταθμούς. Η σκέψη αυτή προς στιγμήν φαντάζει ορθή, ωστόσο ο σταθμός της Σίνδου είναι όντως περιαστικός αφού βρίσκεται εκτός της πόλης και ο λόγος που εμφανίζει αυτού του είδους την ομογενοποίηση με τους αστικούς σταθμούς, πολύ περισσότερο όσον

αφορά την συσχέτιση με τους αστικούς για τα NO_x παρά για το O₃, είναι οι εκπομπές που πραγματοποιούνται στην περιοχή γύρω από τον σταθμό, από τις βιομηχανίες.

3.2.3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ O_x ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΘΩΛΗ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ, ΤΗΝ ΘΕΡΜΗ ΚΑΙ ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.

Μετά την πραγμάτευση της συσχέτισης όλων των σταθμών, τόσο για το O₃ όσο και για τα NO_x και με σκοπό την ολοκλήρωση της μελέτης για όλους τους ρύπους που ενδιαφέρουν, διερευνάται η συσχέτιση μεταξύ των σταθμών για τα O_x.



ΣΧΗΜΑ 3.11. Συσχετίσεις σταθμών για το O_x καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Αναλυτικά, διακρίνεται πολύ μεγάλη συσχέτιση, όσον αφορά τα O_x μεταξύ αστικών σταθμών καθόλη την διάρκεια του έτους. Συγκεκριμένα, από το σχήμα Π3 του παραρτήματος, πιστοποιείται ότι η συσχέτιση μεταξύ Αγ. Σοφίας-Α.Π.Θ. είναι 0,88. Η τιμή αυτή, είναι πολύ μεγάλη και προσεγγίζει τις αντίστοιχες τιμές των O₃

και NO_x , επιβεβαιώνοντας την υψηλή συσχέτιση μεταξύ των αστικών σταθμών για όλους τους ρύπους.

Όσον αφορά τις συσχετίσεις αστικών-περιαστικών σταθμών επίσης καθόλο το έτος, και αυτές διακρίνονται από υψηλή συσχεσιμότητα, μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες συσχετίσεις των δύο κατηγοριών σταθμών για τους ρύπους O_3 και NO_x . Αναλυτικά, η συσχέτιση Αγ.Σοφίας-Νεοχωρούδας αγγίζει την τιμή 0,77 επιβεβαιώνοντας τα παραπάνω. Ακόμη, θα πρέπει να τονιστεί ότι η συσχέτιση όλων των σταθμών μεταξύ τους είναι γενικευμένα υψηλή με αποτέλεσμα και οι συσχετίσεις περιαστικών-περιαστικών σταθμών να είναι επίσης υψηλές. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί Νεοχωρούδας-Πανοράματος και Πανοράματος-Σίνδου εμφανίζουν τιμές 0,79 και 0,71 αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι όσον αφορά τις τιμές της σταθεράς β , γενικότερα σε όλες τις κατηγορίες συσχετίσεων σταθμών (αστικούς-αστικούς, αστικούς-περιαστικούς, περιαστικούς-περιαστικούς), η τιμή της βρίσκεται στα ίδια επίπεδα. Όπως πιστοποιείται και στο σχήμα 3.11 παραπάνω, με εξαίρεση την τιμή της σταθεράς μεταξύ των σταθμών Αγ.Σοφίας-Α.Π.Θ. η οποία είναι μηδενική, στις περιπτώσεις Αγ.Σοφίας-Νεοχωρούδας και Νεοχωρούδας-Πανοράματος, λαμβάνει τιμή $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που είναι ίδια και για τις δύο κατηγορίες σταθμών. Τις μεγαλύτερες τιμές της συγκεκριμένης σταθεράς, συγκεντρώνει ο σταθμός της Σίνδου, αφού είναι ο μόνος σταθμός που κατά την συσχέτιση του με όλους τους σταθμούς (αστικούς-περιαστικούς) εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές από το γενικότερο σύνολο τιμών της σταθεράς αυτής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η τιμή της σταθεράς μεταξύ Πανοράματος-Σίνδου $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, που είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις άλλες τιμές του σχήματος 3.11.

Με δεδομένη την υψηλή συσχέτιση όλων των σταθμών μεταξύ τους αλλά και τις παρόμοιες τιμές του β σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση την Σίνδο, αποδίδει κανείς την συμπεριφορά αυτή των σταθμών, στην ίδια φύση του ρύπου. Τα O_x όπως έχει αναφερθεί, αποτελούνται τόσο από O_3 , όσο και από NO_2 . Οι περιαστικοί σταθμοί συγκεντρώνουν περισσότερο O_3 , ενώ αντίστοιχα οι αστικοί περισσότερο NO_2 . Καταυτό τον τρόπο, η συσχέτιση δύο σταθμών που περιλαμβάνουν και τους δύο αυτούς ρύπους αναμένεται υψηλή αφού η συγκέντρωση των O_x εξισορροπείται και στους δύο σταθμούς. Εάν μετρηθεί η συγκέντρωση του NO_2 σε έναν αστικό σταθμό

θα βρεθεί μεγαλύτερη από την συγκέντρωση ενός περιαστικού σταθμού. Από την άλλη, αν εξεταστεί η συγκέντρωση του O_3 σε έναν περιαστικό σταθμό, θα βρεθεί μεγαλύτερη από την αντίστοιχη συγκέντρωση του αστικού. Αν τέλος οι συγκεντρώσεις των O_3 και NO_2 , ληφθούν συνολικά ως O_x , οι συγκεντρώσεις και των δύο σταθμών θα βρίσκονται στα ίδια επίπεδα (Kley *et al.* 1993). Από το παραπάνω παράδειγμα, κατανοεί κανείς τον λόγο για τις τόσο υψηλές συσχετίσεις μεταξύ όλων των σταθμών καθόλο το έτος, καθώς και για τις παραπλήσιες τιμές τους όσον αφορά τη σταθερά β.

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των O_x για όλο το έτος, θα πρέπει να γίνει αναφορά στην πιθανή αιτία που η Σίνδος συγκεντρώνει υψηλότερες τιμές σταθεράς β σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο σταθμό, κατά την συσχέτιση της με όλους. Η Σίνδος χαρακτηρίζεται όπως έχει αναφερθεί ξανά ως περιαστικός-βιομηχανικός σταθμός. Ως περιαστικός σταθμός, συγκεντρώνει μεγάλες ποσότητες O_3 , ενώ εξίσου μεγάλες τιμές συγκεντρώνει και σε NO_2 , δεδομένων των εκπομπών από την λειτουργία βιομηχανικής περιοχής γύρω από τον σταθμό. Όλοι οι σταθμοί που έχουν εξεταστεί μέχρι τώρα χαρακτηρίζονται είτε ως αστικοί, με δεδομένες τις υψηλότερες τιμές του NO_2 έναντι του O_3 , είτε ως περιαστικοί με δεδομένες τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε O_3 έναντι του NO_2 . Λόγω της θέσης του, ο σταθμός της Σίνδου εμφανίζει εξίσου υψηλές τιμές και για τους δύο ρύπους που συνθέτουν τα O_x και γι'αυτόν τον λόγο πιθανότατα, να συγκεντρώνει υψηλότερες τιμές της σταθεράς β από τους άλλους σταθμούς.

Τόσο από την ανάλυση των σχημάτων 3.12 και 3.13, όσο και από τα σχήματα Π6 και Π9 του παραρτήματος, η μελέτη συνεχίζει και εστιάζει ερευνώντας τις συσχετίσεις των σταθμών την θερμή και την ψυχρή περίοδο.

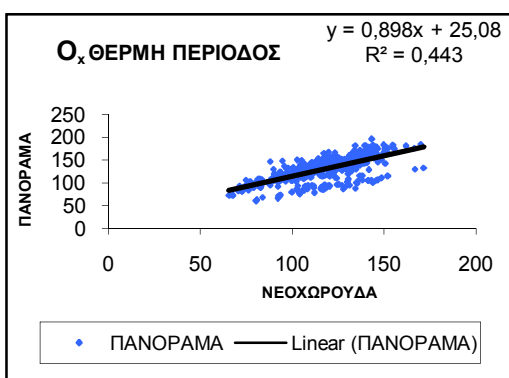
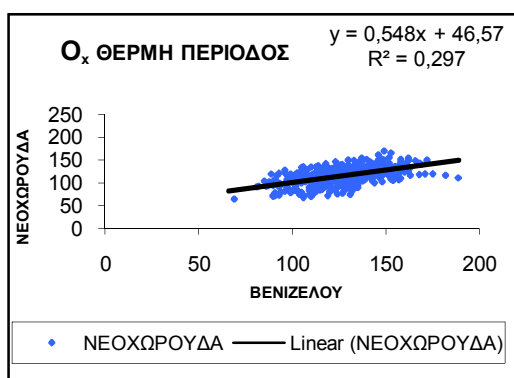
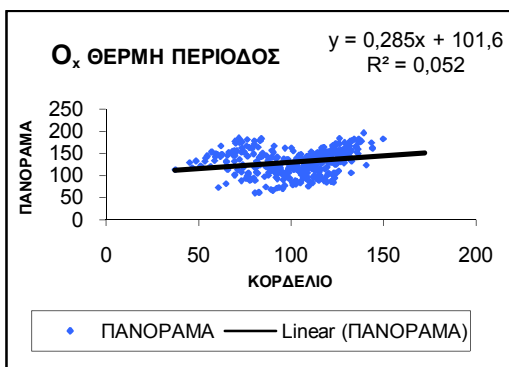
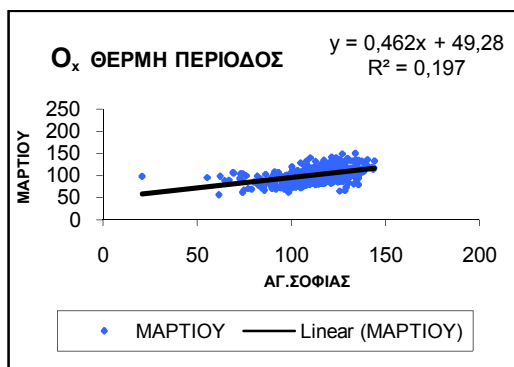
Από τις πρώτες παρατηρήσεις, διακρίνονται υψηλότερες συσχετίσεις μεταξύ των σταθμών την ψυχρή περίοδο σε σχέση με την θερμή μεταξύ αστικών σταθμών, που ωστόσο δεν αντιπροσωπεύει καθολικά τις περιπτώσεις όλων των αστικών σταθμών. Αναλυτικά, η συσχέτιση μεταξύ Αγ. Σοφίας-Μαρτίου είναι 0,44 την ψυχρή και 0,69 την θερμή περίοδο, γεγονός που πιστοποιεί την παραπάνω κατάσταση μεταξύ αστικών σταθμών. Ωστόσο, η περίπτωση Μαρτίου-Βενιζέλου κατά την οποία η συσχέτιση την θερμή είναι μεγαλύτερη της ψυχρής περιόδου, 0,55 έναντι 0,38 αντίστοιχα, αποτυπώνει και την άλλη όψη της κατάστασης. Σε αυτήν, δεν υπάρχει

ομοιογένεια και επικράτηση κάποιου κανόνα ως προς την περίοδο κατά την οποία η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη στους αστικούς σταθμούς. Επίσης, η συσχέτιση μεταξύ περιαστικών σταθμών παρουσιάζει σχεδόν την ίδια εικόνα με τους αστικούς. Διακρίνονται από την μία, περιαστικοί σταθμοί οι οποίοι καταγράφουν μεγαλύτερη συσχέτιση κατά την θερμή περίοδο αλλά και από την άλλη, σταθμοί που μετρούν μεγαλύτερη συσχέτιση την ψυχρή. Συγκεκριμένα, μεταξύ των σταθμών Πανοράματος-Νεοχωρούδας, η συσχέτιση παρουσιάζεται ελαφρώς μεγαλύτερη την θερμή έναντι της ψυχρής περιόδου με τιμές 0,67 και 0,65 αντίστοιχα. Αντίθετα, μεταξύ των σταθμών Πανοράματος-Σίνδου, εμφανίζεται μεγαλύτερη συσχέτιση την ψυχρή έναντι της θερμής περιόδου με τιμές 0,70 και 0,66 αντίστοιχα.

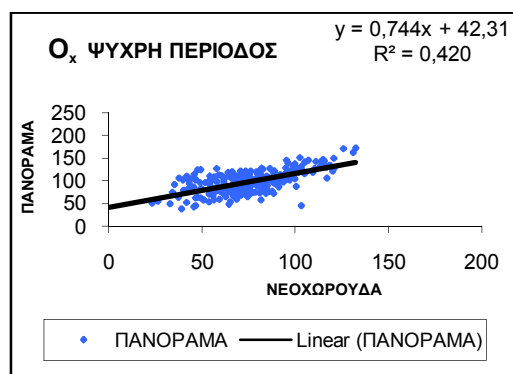
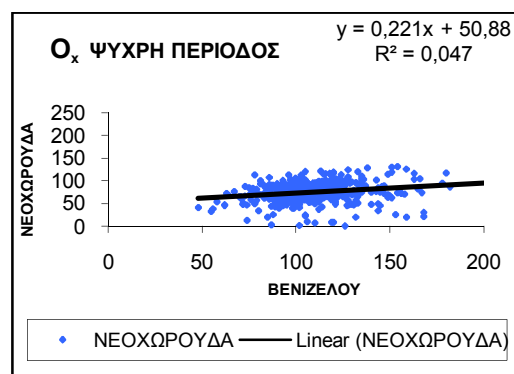
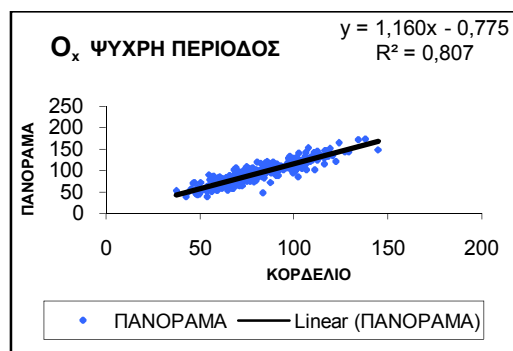
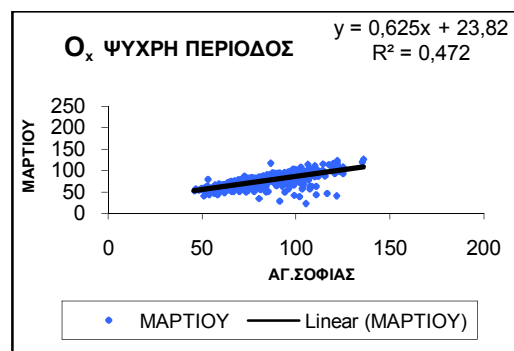
Κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο, κατανέμονται και οι συσχετίσεις των αστικών-περιαστικών σταθμών με χαρακτηριστικά παραδείγματα τους σταθμούς Κορδελιό-Πανόραμα και Βενιζέλου-Νεοχωρούδα. Η συσχέτιση του πρώτου ζεύγους σταθμών, παρουσιάζει παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή την ψυχρή περίοδο έναντι της θερμής με τιμές 0,90 και 0,23 αντίστοιχα. Στον αντίποδα το δεύτερο ζεύγος εμφανίζει μεγαλύτερη συσχέτιση την θερμή παρά την ψυχρή περίοδο με τιμές 0,55 και 0,22 αντίστοιχα. Από την παραπάνω κατάσταση που διαμορφώνεται, εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν εμφανίζεται συγκεκριμένη ομάδα σταθμών η οποία να εμφανίζει καθολικά μεγαλύτερη συσχέτιση την θερμή ή ψυχρή περίοδο αντίστοιχα.

Όσον αφορά την σταθερά β , στην πλειοψηφία και των τριών κατηγοριών σταθμών (αστικοί-αστικοί, περιαστικοί-αστικοί και περιαστικοί-περιαστικοί) εμφανίζεται μεγαλύτερη την θερμή περίοδο, με κάποιες εξαιρέσεις ωστόσο να εξακολουθούν να υπάρχουν.

Όπως διακρίνεται και στα σχήματα 3.12 και 3.13, τα ζεύγη Αγ.Σοφίας-Μαρτίου, και Κορδελιό-Πανόραμα παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή της σταθεράς β την θερμή παρά την ψυχρή περίοδο με τιμές $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$, έναντι $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Από την άλλη, στις λίγες εξαιρέσεις συγκαταλέγονται, τα ζεύγη Νεοχωρούδα-Πανόραμα και Βενιζέλου-Νεοχωρούδα, όπου παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές της εν λόγω σταθεράς την ψυχρή έναντι της θερμής περιόδου, με τιμές $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, έναντι $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, γεγονός που οδηγεί στην δημιουργία μιας ασαφούς εικόνας.



ΣΧΗΜΑ 3.12. Συσχετίσεις σταθμών για τα O_x κατά την θερμή περίοδο του έτους.



ΣΧΗΜΑ 3.13. Συσχετίσεις σταθμών για τα O_x κατά την ψυχρή περίοδο του έτους.

Το γεγονός αδυναμίας εμφάνισης μίας πιο σαφούς εικόνας, όσον αφορά την συσχέτιση ακόμη και μεταξύ αστικών σταθμών ή και μεταξύ περιαστικών σταθμών δημιουργεί ερωτήματα. Οι περιαστικοί σταθμοί περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες O_3 , την θερμή περίοδο (φωτοχημικές αντιδράσεις) και συνεπώς εμφανίζουν περισσότερο τα χαρακτηριστικά του O_3 . Με δεδομένο αυτό όσον αφορά τα O_x , οι συσχετίσεις των περιαστικών σταθμών θα έπρεπε να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές την θερμή περίοδο. Στόν αντίποδα, οι αστικοί σταθμοί περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες συνήθως NO_2 έναντι του O_3 την ψυχρή περίοδο και συνεπώς τα O_x προσαρμόζονται περισσότερο στα χαρακτηριστικά των NO_x . Καταυτό τον τρόπο, θα έπρεπε και μεταξύ των αστικών σταθμών να υπάρχουν μεγαλύτερες συσχετίσεις την ψυχρή περίοδο. Τα ερωτηματικά αυτά φαίνεται να απαντώνται, παρατηρώντας απο τους πίνακες Π6 και Π9 του παραρτήματος, ότι οι συσχετίσεις την θερμή και δὴ την ψυχρή περίοδο, είναι ελάχιστα ή καθόλου στατιστικά σημαντικές. Η διαπίστωση αυτή, εξηγεί πλήρως τα παραπάνω χαρακτηριστικά και παράλληλα δεν αφήνει περιθώρια περαιτέρω ανάλυσης των O_x , αφού με δεδομένη την απουσία της στατιστικής σημαντικότητας, δεν θεωρείται ότι επιπλέον ανάλυση θα οδηγήσει σε κάποιο αξιόλογο συμπέρασμα.

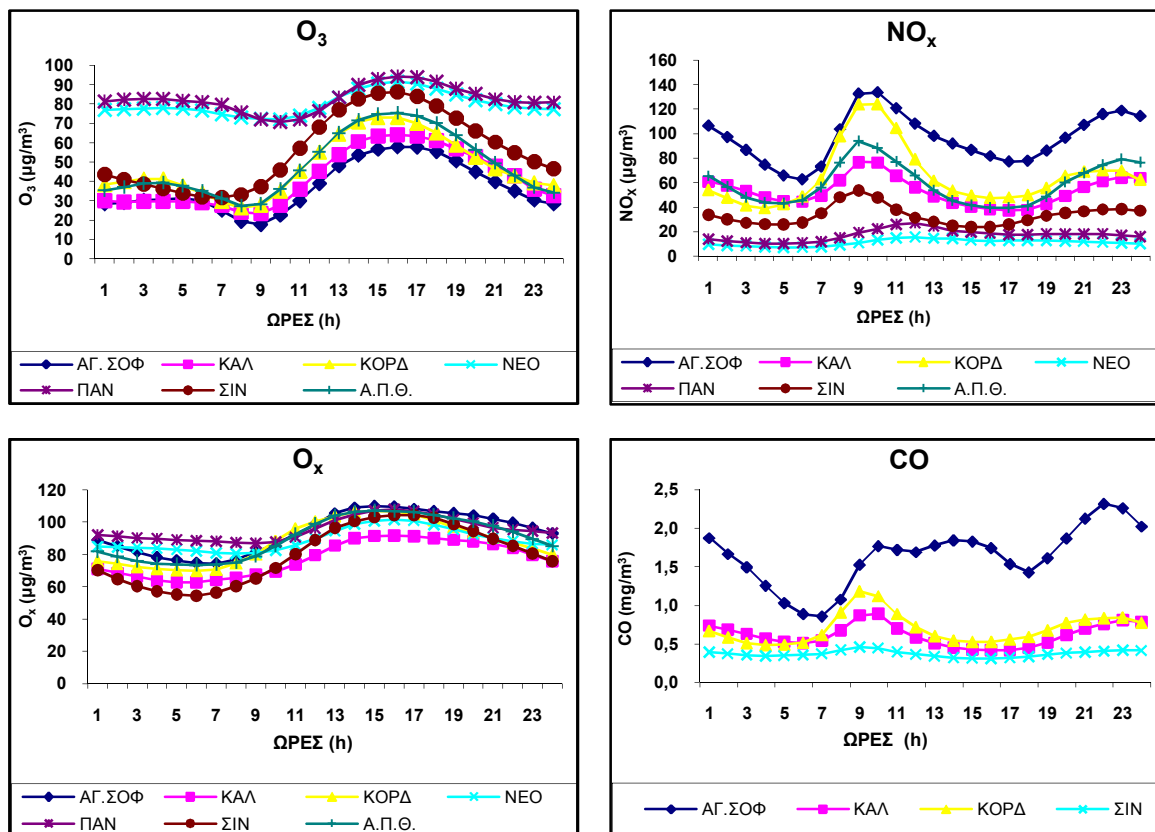
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2001-2005.

Στο σημείο αυτό του κεφαλαίου συγκεντρώθηκαν ωριαία δεδομένα των εξής ρύπων: O_3 , NO , NO_2 και CO . Από την άθροιση των δεδομένων NO και NO_2 προέκυψαν τα NO_x , ενώ από την άθροιση δεδομένων O_3 και NO_2 προέκυψαν τα O_x .

Από τα δεδομένα O_3 , NO_x , O_x και CO , λήφθηκε η μέση τιμή συγκέντρωσης τους για κάθε ώρα της ημέρας στην διάρκεια της πενταετίας 2001-2005, με αποτέλεσμα την δημιουργία 24 μέσων ωριαίων τιμών συγκέντρωσης των παραπάνω ρύπων για κάθε σταθμό της περιφέρειας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι στο συγκεκριμένο σημείο μελέτης της εργασίας δεν συμμετέχουν δεδομένα από τον δήμο για τον απλό λόγο ότι τα δεδομένα του δήμου είναι ημερήσια. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας προβάλλονται στο σχήμα 4.1.

Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται η κύμανση της συγκέντρωσης του O_3 κατά την διάρκεια της ημέρας. Από εκεί φαίνεται να επικρατεί μια ομοιογένεια όσον αφορά την μεταβολή της συγκέντρωσης του O_3 κατά την διάρκεια της ημέρας. Μεγαλύτερες τιμές όζοντος καταγράφονται στους σταθμούς του Πανοράματος και της Νεοχωρούδας με τιμές $94 \mu g/m^3$ και $92 \mu g/m^3$ αντίστοιχα. Οι δύο παραπάνω σταθμοί, εκτός των μεγίστων της συγκέντρωσης που καταγράφουν, διαφέρουν ιδιαίτερα από τους υπολοίπους, μιας και είναι οι δύο σταθμοί, με την μικρότερη διακύμανση στη συγκέντρωσή τους, γεγονός καθόλου τυχαίο, καθώς και οι δύο ανήκουν στη κατηγορία των περιστατικών σταθμών που παραδοσιακά συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες τιμές όζοντος. Στον αντίποδα βρίσκονται οι σταθμοί της Αγ. Σοφίας και του Καλαμαριάς με τιμές $18 \mu g/m^3$ και $23 \mu g/m^3$ αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές O_3 σχεδόν σε όλους τους σταθμούς καταγράφονται ταυτόχρονα μεταξύ των ωρών 15:00-17:00 ενώ οι ελάχιστες τις πρωινές ώρες στο χρονικό διάστημα 8:00- 9:00.



ΣΧΗΜΑ 4.1. Μέση ωριαία κύμανση των ρύπων των σταθμών της περιφέρειας κατά την διάρκεια της περιόδου 2001-2005

Στο δεύτερο διάγραμμα δεξιά περιγράφεται η μεταβολή των οξειδίων του αζώτου (διοξείδιο και μονοξείδιο NO_2 και NO του αζώτου) επίσης κατά την διάρκεια της ημέρας. Σε αντιδιαστολή με το διάγραμμα του O_3 που ο σταθμός της Αγ. Σοφίας καταγράφει τις ελάχιστες τιμές, στο διάγραμμα των NO_x εμφανίζει τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης με τιμή $134 \mu g/m^3$ ενώ αντίθετα οι σταθμοί Πανοράματος και Νεοχωρούδας παρουσιάζουν τις ελάχιστες τιμές $10 \mu g/m^3$ και $7 \mu g/m^3$ αντιστοίχα ενώ στο διάγραμμα του O_3 εμφάνιζαν τις μέγιστες. Συνεχίζοντας, στο ίδιο κλίμα αντίθεσης με το διάγραμμα O_3 , δείχνουν να καταγράφονται και οι ώρες εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των NO_x . Μέγιστες τιμές συγκέντρωσης πιστοποιούνται μεταξύ του χρονικού διαστήματος 9:00- 10:00 (πρωτεύον μέγιστο) και 22:00- 24:00 (δευτερεύον μέγιστο) ενώ ελάχιστες 15:00- 17:00 σε αντιδιαμετρική αντίθεση με τις μεταβολές του O_3 .

Οι αντιθέσεις που παρατηρούνται στα συγκεκριμένα διαγράμματα, πιστοποιούν την άρρηκτη εξάρτηση του όζοντος από τα οξειδία του αζώτου. Όπως έχει προαναφερθεί ο δευτερογενής ρύπος NO_2 που δημιουργείται μέσω του πρωτογενούς ρύπου NO που εκπέμπεται μαζί με το CO και άλλους, κατά την ατελή καύση υδρογονανθράκων (πετρέλαιο κίνησης, θέρμανσης ή βενζίνη) σε μηχανές εσωτερικής καύσης (τροχοφόρα κυρίως και σε μικρότερο βαθμό καυστήρες θέρμανσης) αποτελεί την πρώτη ύλη στην μετατροπή O_3 σύμφωνα με τις σχέσεις (1), (2) και (13) που αναφέρθηκαν αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο της μελέτης.

Οι εν λόγω σχέσεις είναι ικανές να εξηγήσουν την αντίθεση που εμφανίζεται στα δύο διαγράμματα. Από τις πρώτες πρωινές ώρες εμφανίζεται κίνηση τροχοφόρων οχημάτων στο κέντρο της πόλης, η οποία κορυφώνεται στο διάστημα 9:00- 10:00. Εκείνη τη περίοδο εμφανίζεται και το μέγιστο της συγκέντρωσης των NO_x , ιδιαίτερα σε σταθμούς στο κέντρο της πόλης (Αγ. Σοφίας) αφού εκείνη τη στιγμή εκλύονται οι περισσότερες ποσότητες NO και NO_2 από τις εξατμίσεις των οχημάτων. (Ντουμανάκης και Νικολάου 2011)

Από την άλλη μεταξύ 22:00- 24:00 υπάρχει κορύφωση λειτουργίας καυστήρων για οικιακή θέρμανση, με αποτέλεσμα επίσης την έκλυση σημαντικών ποσοτήτων NO_x ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης και πολύ λιγότερο στα προάστια αυτής (Πανόραμα και Νεοχωρούδα) όπως τεκμηριώνει και το διάγραμμα. Ωστόσο, μιας και στους καυστήρες οικιακής θέρμανσης, αποδίδονται εκπομπές NO_x σε ποσοστό που φτάνει μόνο το 11% (Hao et al, 2005), η κορύφωση αυτή θα πρέπει να οφείλεται και σε άλλες πιθανές αιτίες. Μία από αυτές, μπορεί να είναι η μείωση του ύψους του οριακού στρώματος που αρχίζει αμέσως μετά την δύση του ήλιου, που σαν αποτέλεσμα έχει την αύξηση της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου, δεδομένου ότι ο χώρος ανάπτυξης των ρύπων γίνεται πυκνότερος.

Μία επιπλέον πιθανή αιτία είναι η μετατροπή του όζοντος σε οξειδία του αζώτου, αφού στο χρονικό διάστημα που εντοπίζεται η κορύφωση των NO_x καταγράφονται μικρές ή και ελάχιστες τιμές O_3 σε πολλούς σταθμούς. Από τη στιγμή που δημιουργείται η πρώτη ύλη για την μετατροπή σε O_3 , δηλαδή τα NO_x , για όλους τους παραπάνω λόγους, στο διάστημα 9:00- 10:00 αρχίζει και η δημιουργία όζοντος η οποία κορυφώνεται μεταξύ 15:00-17:00 όπου και παρατηρείται μέγιστο της συγκέντρωσης O_3 σε σταθμούς των προαστίων της πόλης και ελάχιστο της

συγκέντρωσης NO_x ιδιαίτερα σε σταθμούς στην καρδιά της πόλης. Αυτό εξηγείται αν λάβει κανείς υπόψιν ότι τα NO_x μετά την δημιουργία τους μεταφέρονται με διάφορους μηχανισμούς διασποράς σε περιφερειακούς σταθμούς όπου και μετατρέπονται σε O_3 . Έτσι, ενώ θα ανέμενε κανείς το μέγιστο των συγκεντρώσεων O_3 σε αστικούς σταθμούς, αυτό εμφανίζεται στους σταθμούς εκτός της πόλης. Αυτό που συμβαίνει με τα NO_x και το O_3 τις πρωινές ώρες συμβαίνει με τον ίδιο μηχανισμό και τις βράδυνες.

Στο τρίτο διάγραμμα αποτυπώνεται η μεταβολή των O_x κατά την διάρκεια της ημέρας. Το διάγραμμα πιστοποιεί για μία ακόμη φορά την άμεση σχέση του όζοντος με τα οξείδια του αζώτου. Η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης εμφανίζεται στο σταθμό Αγ. Σοφίας με τιμή $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η ελάχιστη στο σταθμό της Σίνδου με συγκέντρωση $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Παρατηρείται, ότι η μέγιστη τιμή της συγκέντρωσης των O_x εμφανίζεται κατά τις απογευματινές ώρες 15:00-17:00h σε όλους τους σταθμούς ενώ ελάχιστη το ξημέρωμα, 5:00-7:00h. Παρατηρείται ότι το διάγραμμα των O_x φέρει χαρακτηριστικά του γραφήματος του O_3 αν παρατηρηθεί ότι οι ώρες που καταγράφονται οι μέγιστες τιμές των O_x είναι ίδιες με αυτές του O_3 . Από την άλλη, εκτός των χαρακτηριστικών του O_3 φέρει και χαρακτηριστικά του NO_2 , το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα, λόγω του συνονθυλεύματος χαρακτηριστικών και των δύο ρύπων, οι γραφικές παραστάσεις όλων των σταθμών να έρχονται πιο κοντά. Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται το εύρος των ακρότατων τιμών όλων των σταθμών και άρα η διακύμανσή τους όσον αφορά τα O_x . Αυτό συμβαίνει γιατί τα O_x είναι άθροισμα των NO_2 και του O_3 , με αποτέλεσμα αν δει κάποιος τη διαδικασία μετατροπής O_3 σε NO_2 και αντίθετα, συνολικά, θα κατανοήσει ότι δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές στη συγκέντρωση, λόγω των παραπάνω αλληλομετατροπών, που όπως διακρίνεται και από το διάγραμμα, έχουν σταθερό λόγο, χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

Στο τέταρτο διάγραμμα εμφανίζεται η κύμανση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα. Στο γράφημα παρατηρείται ότι το CO μεταβάλλεται ομοιογενώς στους σταθμούς Κορδελιού, Καλαμαριάς και Σίνδου ως προς τη χρονική και χωρική εμφάνιση των μέγιστων και ελαχίστων τιμών συγκέντρωσης, ενώ εμφανίζει διαφοροποιήσεις με τους σταθμούς του κέντρου της πόλης, κυρίως όσον αφορά το χρόνο εμφάνισης της μέγιστης συγκέντρωσης CO. Καταυτό τον τρόπο, ελάχιστο στις συγκεντρώσεις του CO εμφανίζεται σε όλους τους σταθμούς τις

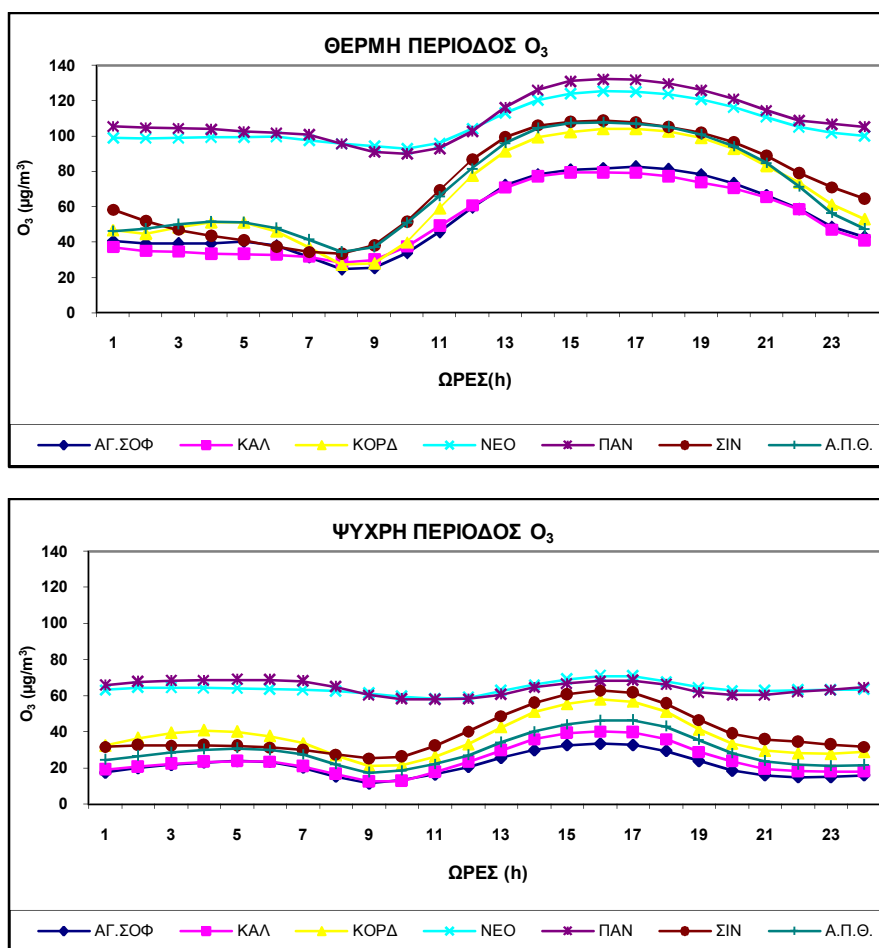
πρωινές ώρες μεταξύ 3:00-7:00h και 15:00-17:00h. Μέγιστο στους σταθμούς Κορδελιού, Καλαμαριάς και Σίνδου παρουσιάζεται μεταξύ του διαστήματος 9:00-11:00h και 22:00- 24:00h, ενώ στο σταθμό της Αγ. Σοφίας εμφανίζονται τρία μέγιστα 9:00h, 15:00h και 22:00 h. Η αποτύπωση των τιμών αυτών μπορεί να εξηγηθεί αν λάβει κανείς υπόψη του τις πηγές του CO που όπως προαναφέρθηκε, εκπέμπεται κατά την ατελή καύση υδρογονανθράκων σε μηχανές εσωτερικής καύσης (αυτοκίνητα, καυστήρες θέρμανσης). Στους σταθμούς του Κορδελιού, Καλαμαριάς και Σίνδου εμφανίζεται η μεγαλύτερη τιμή στην συγκέντρωση τις πρωινές ώρες, όπου η κίνηση των οχημάτων κορυφώνεται. Η εμφάνιση μεγάλων τιμών CO τις βραδινές ώρες αιτιολογείται από το γεγονός ότι εκείνες τις ώρες λειτουργούν οι καυστήρες για τη θέρμανση των οικιών ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Αντιθέτως, το ελάχιστο τις πρώτες πρωινές ώρες σε όλους τους σταθμούς, καταγράφεται, διότι σε εκείνο το χρονικό διάστημα αδρανοποιείται ο μηχανισμός παραγωγής CO αφού σταματά και η κίνηση των οχημάτων και η καύση πετρελαίου στους καυστήρες των οικιών. Το επιπρόσθετο μέγιστο στο σταθμό της Αγ. Σοφίας στις 14:00h αποτυπώνεται πιθανόν λόγω της επιστροφής από τις διάφορες εργασίες στο κέντρο των οχημάτων όπου την στιγμή εκείνη κορυφώνεται. Ολοκληρώνοντας την ανάλυση της ημερήσιας μεταβολής του CO, θα πρέπει να σημειωθεί ότι μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης εμφανίζεται στους σταθμούς της Αγ. Σοφίας με $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ η ελάχιστη εμφανίζεται στο σταθμό της Σίνδου με $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2 ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΨΥΧΡΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2001-2005.

Εμβαθύνοντας την έρευνα για την συμπεριφορά της συγκέντρωσης των ρύπων κατά την πορεία τους στο εικοσιτετράωρο, συγκεντρώθηκαν ωριαία δεδομένα των εξής ρύπων: O_3 , NO, NO_2 και CO όπου από την άθροιση των δεδομένων NO και NO_2 προέκυψαν τα NO_x , ενώ από την άθροιση δεδομένων O_3 και NO_2 προέκυψαν τα O_x .

Στη συνέχεια, χωρίστηκε η χρονοσειρά των δεδομένων O_3 , NO_x , O_x και CO σε δυο κατηγορίες. Στη πρώτη κατηγορία κατατάχθηκαν τα δεδομένα των παραπάνω ρύπων κατά τους ψυχρούς μήνες του χρόνου (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος

Φεβρουάριος και Μάρτιος) ενώ στη δεύτερη κατηγορία περιελήφθησαν τα δεδομένα των ίδιων ρύπων κατά τους θερμούς μήνες του έτους (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος). Από τις δύο χρονοσειρές που σχηματίστηκαν (ψυχρή και θερμή περίοδο), λήφθηκε η μέση τιμή συγκέντρωσης για κάθε ώρα της ημέρας στην διάρκεια της πενταετίας 2001-2005, με αποτέλεσμα την δημιουργία 24 μέσων ωριαίων τιμών συγκέντρωσης για τους τέσσερις παραπάνω ρύπους και για όλους τους σταθμούς της περιφέρειας. Στο συγκεκριμένο κομμάτι της έρευνας, επίσης δεν συμμετέχουν δεδομένα από τον δήμο για τον λόγο ότι τα δεδομένα του δήμου είναι ημερήσια. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τόσο για την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο, αναλύονται και καταγράφονται παρακάτω.



ΣΧΗΜΑ 4.2. Μέση κύμανση του O₃ των σταθμών της περιφέρειας κατά την διάρκεια της θερμής & ψυχρής περιόδου των ετών 2001-2005

Κατά την θερμή περίοδο η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης όζοντος καταγράφεται στο Πανόραμα με 132 μg/m³ ενώ ακολουθεί η Νεοχωρούδα με 125 μg/m³. Από την άλλη, η μικρότερη τιμή εμφανίζεται στο σταθμό της Αγ. Σοφίας με 25 μg/m³ ενώ πολύ κοντά σε αυτή βρίσκονται και όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί εκτός των σταθμών

Πανοράματος και Νεοχωρούδας όπου η ελάχιστη τιμή τους είναι σχεδόν τετραπλάσια της ελάχιστης τιμής όλων των σταθμών. Η ώρα που εμφανίζεται η μέγιστη τιμή O_3 είναι μεταξύ 16:00-17:00h ενώ η ελάχιστη μεταξύ 8:00-9:00h.

Προχωρώντας στην ανάλυση του όζοντος κατά την ψυχρή περίοδο φαίνεται, ότι μέγιστη τιμή O_3 παρουσιάζεται στον σταθμό της Νεοχωρούδας με $71 \mu g/m^3$ ενώ ακολουθεί πολύ κοντά ο σταθμός Πανοράματος με $68 \mu g/m^3$. Η πιο μικρή τιμή καταγράφεται στους σταθμούς της Αγ. Σοφίας και Καλαμαριάς με $12 \mu g/m^3$ αντίστοιχα. Το μέγιστο εμφανίζεται μεταξύ 15:00-16:00h ενώ το ελάχιστο μεταξύ 9:00-10:00.

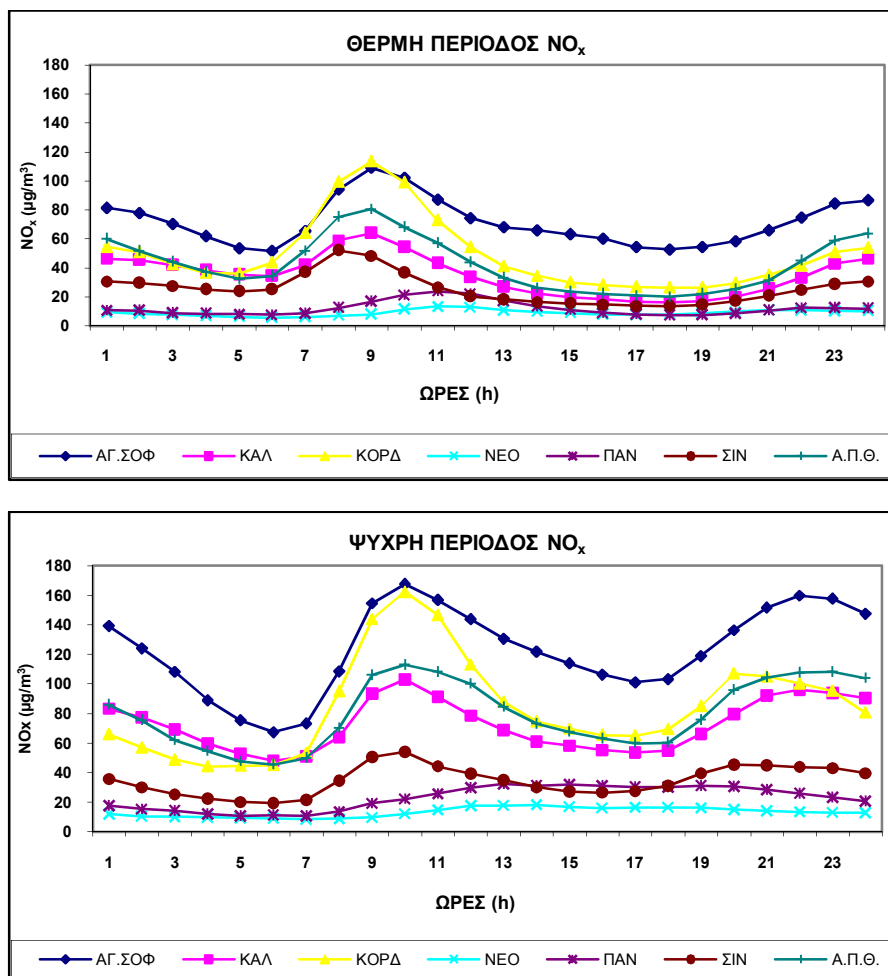
Καταφεύγοντας σε σύγκριση αναλύοντας τα διαγράμματα του όζοντος όπως προκύπτουν τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, εμφανίζονται αξιοσημείωτες διαφορές όσο και ομοιότητες. Όσον αφορά τις τιμές της συγκέντρωσης τη θερμή και ψυχρή περίοδο διαφαίνεται ότι τόσο οι μέγιστες όσο και οι ελάχιστες τιμές O_3 κατά την θερμή περίοδο είναι δυο φορές μεγαλύτερες έναντι της ψυχρής περιόδου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχηματισμός O_3 ευνοείται από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία και τη φωταύγεια. Κατά την θερμή επικρατεί ηλιοφάνεια πολλές περισσότερες ημέρες απ'ότι την ψυχρή περίοδο. Συνεπώς είναι απόλυτα κατανοητή η μεγάλη διαφορά στις τιμές του O_3 ανάμεσα στις δύο περιόδους. Επιπρόσθετα, ενδιαφέρον παρουσιάζεται στις ώρες στις οποίες εμφανίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές, όπου κατά την ψυχρή περίοδο οι ώρες εμφάνισης των ακρότατων τιμών μετατοπίζονται μία ώρα προς τα πίσω σε σχέση με την θερμή περίοδο. Όπως έχει προαναφερθεί το O_3 είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την παρουσία NO_x .

Από τα διαγράμματα NO_x όπως φαίνεται και στις δύο περιόδους εμφανίζεται η διαφορά εμφάνισης των ακρότατων κατά μία ώρα. Την θερμή περίοδο ο δείκτης των ρολογιών μετακινείται μία ώρα μπροστά. Καταυτό τον τρόπο, αλλάζουν και οι προγραμματισμένες μετακινήσεις των οχημάτων κατά μία ώρα και κατ'επέκταση μετατοπίζονται κατά μία ώρα και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές συγκέντρωσης των NO_x 's. Αυτό έχει σαν συνέπεια, τη δημιουργία όζοντος κατά μία ώρα αργότερα τη θερμή σε σχέση με την ψυχρή περίοδο όπως αναλύθηκε και στα διαγράμματα. Τέλος, εντύπωση προκαλεί, η ομοιογένεια που παρουσιάζουν όλοι οι σταθμοί και στα δύο διαγράμματα. Επίσης, οι σταθμοί που καταλαμβάνουν μέγιστες (Πανόραμα και

Νεοχωρούδα) και ελάχιστες (Αγ. Σοφίας και Καλαμαριάς) τιμές τη θερμή, εμφανίζονται να καταλαμβάνουν τις ίδιες θέσεις και κατά τη ψυχρή περίοδο.

Προχωρώντας στην ανάλυση του διαγράμματος των NO_x (σχήμα 4.3) τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο, διαφαίνεται ότι οι σταθμοί που βρίσκονται κοντά στο κέντρο της πόλης εμφανίζουν μέγιστες τιμές συγκέντρωσης, με τον σταθμό της Αγ.Σοφίας να κρατά τα πρωτεία με $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά την ψυχρή περίοδο και τον σταθμό του Κορδελιού να έρχεται πρώτο κατά την θερμή με $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στον αντίποδα, τόσο στην θερμή όσο και στην ψυχρή περίοδο, ελάχιστη τιμή πιστοποιείται από το σταθμό Νεοχωρούδας με 6 και $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Πολύ σημαντική επισήμανση αποτελεί η μεγάλη διαφορά που παρατηρείται στις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου. Όπως αποκαλύπτεται από τα διαγράμματα και σε αντίθεση με το όζον, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις επικρατούν τη ψυχρή περίοδο παρά την θερμή. Αυτό εξηγείται διότι, όπως αναλύθηκε και σε παραπάνω κομμάτι, τα NO_x παράγονται κατά την ατελή καύση υδρογονανθράκων και κυρίως βενζίνης και πετρελαίου. Την ψυχρή περίοδο πραγματοποιούνται περισσότερες καύσεις και κατά συνέπεια, περισσότερες εκπομπές NO_x αφού οι ανάγκες για μετακίνηση εντός της πόλης και για θέρμανση είναι μεγαλύτερες. Αφενός, γιατί την ψυχρή περίοδο συγκεντρώνεται μεγαλύτερος πληθυσμός στην πόλη, αφού τη θερμή περίοδο μειώνεται λόγω διακοπών και αφετέρου γιατί το ψυχρό τμήμα του έτους υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση ενώ το θερμό όχι.

Ακολουθώντας την ίδια λογική, αναφέρεται για μία ακόμη φορά ότι κατά την θερμή περίοδο, τα μέγιστα και τα ελάχιστα των συγκεντρώσεων εμφανίζονται κατά μία ώρα μπροστά σε σχέση με την ψυχρή. Συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές καταγράφονται τη θερμή στις 10h και την ψυχρή στις 9h, ενώ οι ελάχιστες μεταξύ 16:00-18:00h και 17:00-19:00h αντίστοιχα. Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι τόσο τη θερμή όσο και στην ψυχρή περίοδο, παρατηρείται ένα δευτερεύον μέγιστο μεταξύ 23:00-24:00h και 22:00-23:00h αντίστοιχα σε πλήρη αντίθεση με το O_3 , όπου περίπου τις ίδιες ώρες που τα NO_x εμφανίζουν μέγιστες τιμές, το O_3 παρουσιάζει ελάχιστη τιμή και το αντίθετο.



ΣΧΗΜΑ 4.3. Μέση κύμανση των NO_x των σταθμών της περιφέρειας κατά την διάρκεια της θερμής & ψυχρής περιόδου των ετών 2001-2005.

Με έναυσμα την παραπάνω επισήμανση, δίνεται η ευκαιρία να αναφερθεί και κάτι ακόμη εξίσου σημαντικό, που αφορά κυρίως τους σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος. Όπως φαίνεται στα δύο διαγράμματα του όζοντος (θερμή, ψυχρή περίοδος), οι συγκεκριμένοι σταθμοί εμφανίζουν τις μεγαλύτερες ενώ στα αντίστοιχα διαγράμματα των οξειδίων του αζώτου, εμφανίζουν τις ελάχιστες τιμές. Γνωρίζοντας τη μεγάλη εξάρτηση του O₃ από τα NO_x, θα περίμενε κάποιος ο οποίος δεν είναι γνώστης του αντικειμένου δύο συγκεκριμένοι σταθμοί να παρουσιάζουν τις ελάχιστες τιμές όζοντος ενώ σταθμοί όπως της Αγ. Σοφίας και του Κορδελιού να εμφανίζουν τις μέγιστες αφού οι πρώτοι έχουν τη μικρότερη δυναμική σε παραγωγή NO_x ενώ οι δεύτεροι τη μεγαλύτερη. Αυτό όμως δεν συμβαίνει και παράλληλα προβληματίζει το

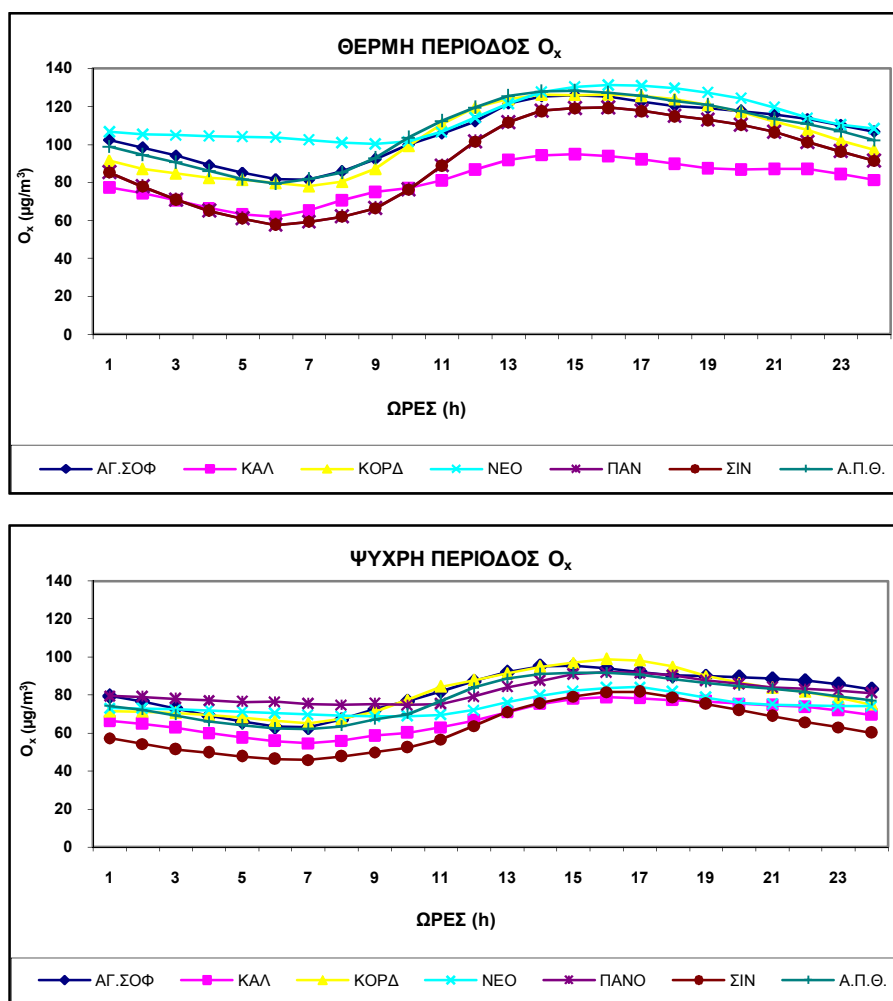
γεγονός, ότι οι δυο πρώτοι είναι περιαστικοί σταθμοί ενώ από τους δυο τελευταίους, μόνο ο σταθμός της Αγ. Σοφίας, είναι αστικός .

Η εξήγηση του φαινομένου δίνεται μέσω των μηχανισμών διάχυσης και διασποράς των ρύπων. Καμία ρυπογόνος πηγή δεν παράγει O_3 γι' αυτό και ο συγκεκριμένος ρύπος χαρακτηρίζεται δευτερογενής. Στο O_3 εύκολα μπορεί να του αποδοθεί ο χαρακτηρισμός «Ρύπος των προαστίων» (Γ1) και αυτό γιατί στις αστικές περιοχές παράγονται οι πρωτογενείς ρύποι NO_x οι οποίοι στη συνέχεια μέσω διαφόρων φωτοχημικών μηχανισμών μετατρέπονται σε όζον. Παράλληλα, μέσω μηχανισμών διασποράς διαχέονται στις περιαστικές περιοχές. Καταυτό τον τρόπο, εκτός από τις μέγιστες τιμές όζοντος στους σταθμούς των προαστίων, εξηγούνται και οι ελάχιστες τιμές στους σταθμούς στο κέντρο της πόλης (Αγ. Σοφίας).

Φτάνοντας στην ολοκλήρωση των γραφημάτων των NO_x , στην εργασία αναλύονται τα O_x . Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τόσο το διάγραμμα θερμής όσο και αυτό της ψυχρής περιόδου, συγκεντρώνει χαρακτηριστικά του γραφήματος του O_3 . Συγκεκριμένα, την θερμή περίοδο του έτους οι μέγιστες τιμές πιστοποιούνται μεταξύ 16:00-17:00h για όλους τους σταθμούς, ενώ κατά την ψυχρή οι αντίστοιχες τιμές επιτυγχάνονται μεταξύ 15:00-16:00h όπως και τα αντίστοιχα γραφήματα του O_3 . Οι ελάχιστες συγκεντρώσεις τη θερμή όσο και τη ψυχρή περίοδο πιστοποιούνται μεταξύ 06:00-07:00h. Το εύρος της διαφοράς της μεγαλύτερης συγκέντρωσης από την μικρότερη τιμή συγκέντρωσης σταθμού, είναι μεγαλύτερο την θερμή ($70 \mu g/m^3$), σε σχέση με την ψυχρή περίοδο ($53 \mu g/m^3$), λόγω της φωτοχημικής δράσης την θερμή περίοδο παρά τις μεγαλύτερα επίπεδα NO_x την ψυχρή περίοδο.

Αυτό όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη ανάλυση των O_x , καταδεικνύει ότι τη θερμή περίοδο όπου υπάρχει μεγάλη φωτοχημική αντίδραση και άρα μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε O_3 , υπάρχει μεγαλύτερη διακύμανση της συγκέντρωσης O_x σε σχέση με την ψυχρή. Παράλληλα με αυτή την λογική αναφέρεται το παράδειγμα της Σίνδου, που καταγράφει τις μικρότερες συγκεντρώσεις γενικά. Τη θερμή περίοδο μεταξύ 06:00-07:00h έχει διαφορά από την μεγαλύτερη συγκέντρωση σταθμού $46 \mu g/m^3$, ενώ την ψυχρή η διαφορά αυτή μειώνεται στα $19 \mu g/m^3$ την ίδια ώρα. Με την παραπάνω παρατήρηση, διαπιστώνεται ότι την ψυχρή περίοδο, η διαφορά των ακρότατων τιμών κάθε σταθμού, μειώνεται σε σχέση με την θερμή και αυτό οφείλεται στη μείωση της ηλιοφάνειας κατά την πρώτη περίοδο, που

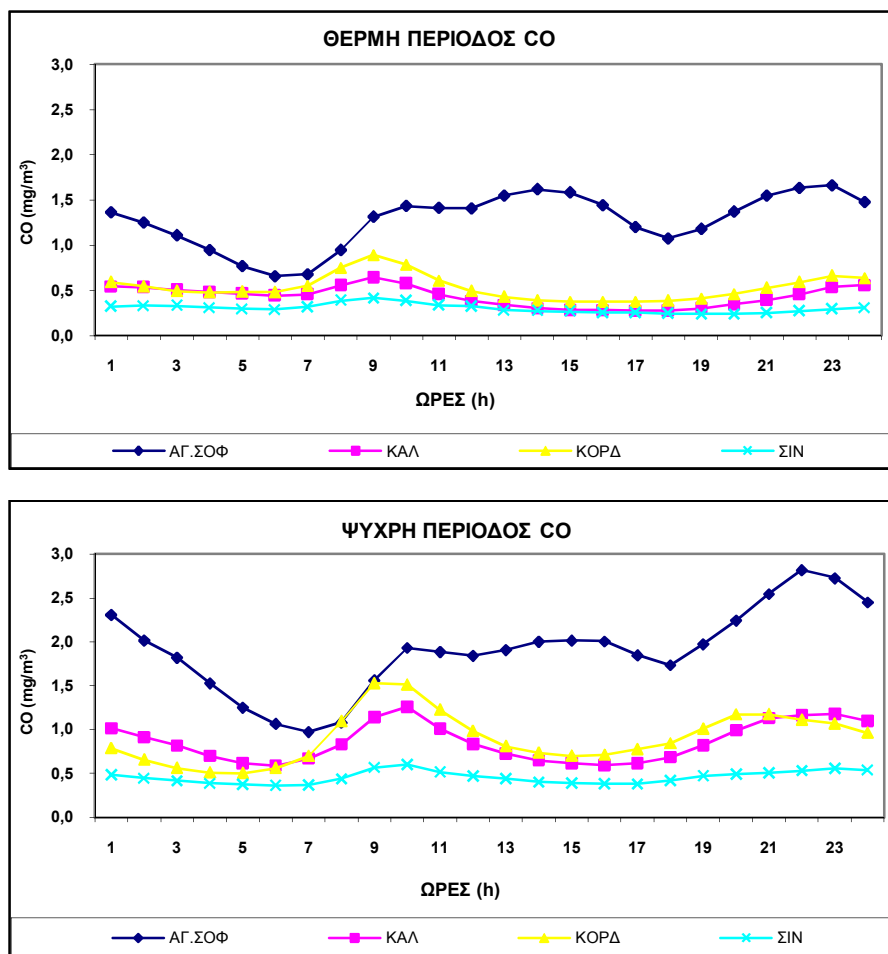
σαν αποτέλεσμα έχει την μείωση παραγωγής O_3 . Καταυτό τον τρόπο, τα O_x επηρεάζονται από τη συμπεριφορά του O_3 και εμφανίζουν την παρακάτω εικόνα όπως αποτυπώνεται στο σχήμα 4.4.



ΣΧΗΜΑ 4.4. Μέση κύμανση των O_x των σταθμών της περιφέρειας κατά την διάρκεια της θερμής & ψυχρής περιόδου των ετών 2001-2005.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του CO κατά την θέρμη και ψυχρή περίοδο. Τόσο στην πρώτη όσο και τη δεύτερη προαναφερθείσα περίοδο, σε όλους τους σταθμούς της πόλης, μέγιστη τιμή επιτυγχάνεται μεταξύ στις 9:00 -10:00h τόσο στην ψυχρή όσο και στην θερμή περίοδο. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός της Αγ.Σοφίας που εμφανίζει τη μέγιστη τιμή του στις 23:00h την θερμή με $1,7 \mu g/m^3$ και στις 22:00h με $2,8 \mu g/m^3$ την ψυχρή περίοδο. Το δευτερεύον μέγιστο πραγματοποιείται στις 9:00h την ψυχρή περίοδο ενώ στις 10:00h την θερμή όπως και οι υπόλοιποι σταθμοί. Όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν δύο μέγιστα. Αυτό που κινεί το ενδιαφέρον, είναι ότι το δεύτερο μέγιστο που αποτυπώνεται στο σταθμό της Αγ.Σοφίας, είναι μεγαλύτερο από

το πρώτο του ίδιου σταθμού και μεγαλύτερο γενικότερα από τα μέγιστα όλων των σταθμών.



ΣΧΗΜΑ 4.5. Μέση κύμανση των CO των σταθμών της περιφέρειας κατά την διάρκεια της θερμής & ψυχρής περιόδου των ετών 2001-2005.

Ως πιο πιθανή αιτία για την διαφορά του σταθμού από τους άλλους είναι η εξής. Τις νυχτερινές ώρες μετά τις 10:00h έχουν ελευθερωθεί ήδη μεγάλες ποσότητες CO, λόγω οικιακής θέρμανσης και λόγω της φυγής των τροχοφόρων από το κέντρο της πόλης. Ο σταθμός της Αγ.Σοφίας βρίσκεται στην καρδιά του κέντρου και επιβαρύνεται περισσότερο από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς, που ενώ και αυτοί μετρούν αυξημένες τιμές εκλύσεων CO, δεν ξεπερνούν τις τιμές του συγκεκριμένου σταθμού, αφού δεν έχουν εκείνες τις ώρες τη ίδια δυναμική στη κυκλοφορία όπως ο συγκεκριμένος σταθμός. Την πιο μικρή τιμή CO, εμφανίζει ο σταθμός της Σίνδου, με $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά την θέρμη μεταξύ και 19:00-20:00h, ενώ ο ίδιος επίσης κατά την ψυχρή περίοδο εμφανίζει την πιο μικρή τιμή από όλους τους σταθμούς μεταξύ 13:00-18:00h και 3:00-7:00h με συγκέντρωση $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι σταθμοί του γραφήματος εκτός αυτού της Σίνδου, λαμβάνουν τις ελάχιστες τιμές

τους, μεταξύ 18:00-20:00h και 3:00-7:00h κατά την θερμή, ενώ κατά την ψυχρή περίοδο οι ελάχιστη τιμή μετατοπίζεται μία ώρα πίσω.

Σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των γραφημάτων των NO_x , φαίνονται να βρίσκονται και αυτά του CO, αφού και σε αυτά πιστοποιείται η έκλυση μεγαλύτερων ποσοτήτων CO κατά την ψυχρή περίοδο σε σχέση με την θερμή. Αιτία αυτού του φαινομένου αποτελούν οι περισσότερες καύσεις υδρογονανθράκων για λόγους μετακίνησης πληθυσμού και οικιακής θέρμανσης κατά την ψυχρή περίοδο του έτους όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Παρατηρείται ότι μέγιστη συγκέντρωση CO κατά την ψυχρή περίοδο, που καταγράφεται για όλους τους σταθμούς, είναι διπλάσια της μέγιστης συγκέντρωσης που καταγράφεται την θερμή περίοδο. Κλείνοντας την ανάλυση των CO, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί σαν συμπέρασμα, ότι η λήψη των ακρότατων τιμών συγκέντρωσης CO κατά την θερμή πραγματοποιείται μία ώρα μετά σε σχέση με την ψυχρή περίοδο όπως συμβαίνει και με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των NO_x . Ο λόγος είναι ο ίδιος που προαναφέρθηκε και στην ανάλυση των NO_x , η μετάβαση από την χειμερινή στην θερινή ώρα. Η αλλαγή αυτή μεταθέτει κατά μία ώρα τις καθημερινές ημερήσιες υποχρεώσεις του πληθυσμού με αποτέλεσμα να μετατίθενται και οι μετακινήσεις των τροχοφόρων και τελικά να πραγματοποιείται κορύφωση ή ελαχιστοποίηση της έκλυσης CO με διαφορά μίας ώρας μεταξύ των δύο περιόδων.

4.3 ΜΕΣΗ ΕΠΟΧΙΚΗ ΚΥΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ **ΑΣΤΙΚΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ** **ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 2001-2005.**

Σε αυτό το σημείο της εργασίας συγκεντρώθηκαν δεδομένα O_3 , NO, NO_2 και CO από όλους τους σταθμούς, του Δήμου Θεσσαλονίκης και της περιφέρειας Κ. Μακεδονίας. Τα δεδομένα του δήμου, αποτελούν μέσες ημερήσιες τιμές συγκεντρώσεων, ενώ τα δεδομένα της περιφέρειας μέσες ωριαίες τιμές συγκεντρώσεις ρύπων. Για το σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης τα δεδομένα της περιφέρειας μετατράπηκαν σε ημερήσια. Στην συνέχεια οι πέντε σταθμοί του δήμου (Βενιζέλου, Μαρτίου, Λαγκαδά, Τούμπα, Επταπύργιο) καθώς και οι επτά σταθμοί της

περιφέρειας (Σίνδος, Νεοχωρούδα, Κορδελιό, Αγ. Σοφίας, Α.Π.Θ., Πανόραμα, Καλαμαριά), χωρίστηκαν σε αστικούς και περιαστικούς σταθμούς ανάλογα με την θέση που καταλαμβάνουν στην πόλη. Συγκεκριμένα οι σταθμοί της περιφέρειας, χαρακτηρίστηκαν ως αστικοί ή αγροτικοί-περιαστικοί σύμφωνα με το πώς χαρακτηρίζονται στις ετήσιες εκθέσεις της για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στη συνέχεια, αφού πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των σταθμών, λήφθηκε η μέση μηνιαία τιμή συγκέντρωσης για το O_3 , τα NO_x (NO και NO_2), τα O_x (O_3 και NO_2) και το CO για το χρονικό διάστημα 2001-2005.

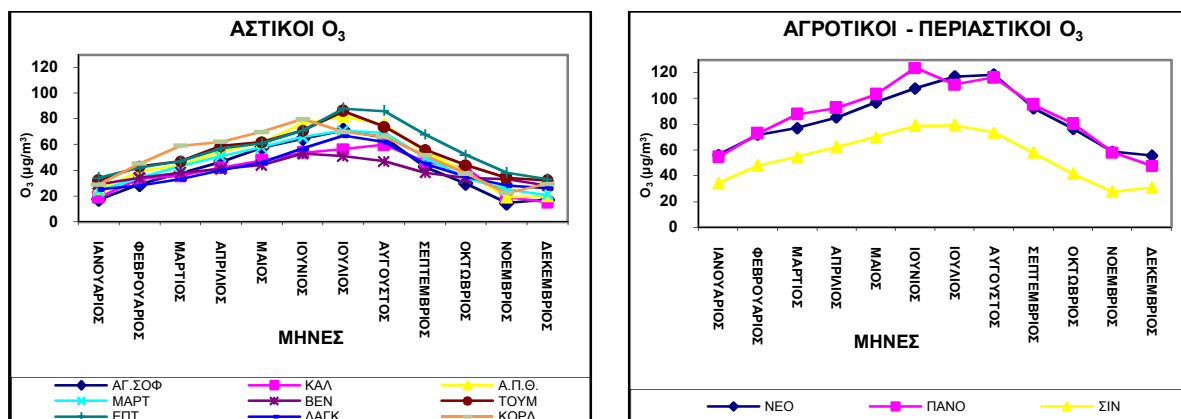
Επιτακτική, αποτελεί η διευκρίνιση του λόγου για τον οποίο επιλέχθηκε η παραπάνω πενταετία για την μελέτη των τεσσάρων ρύπων. Ο λόγος είναι ότι στην επεξεργασία λήφθηκαν δεδομένα τόσο από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, όσο και από το Δήμο Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα τόσο από το δήμο όσο και από την περιφέρεια, παρουσίαζαν κάποια κενά κατά μήκος της χρονοσειράς τους, τα οποία δεν συνέπιπταν. Για το σκοπό αυτό, κρίθηκε σκόπιμη η επιλογή των παραπάνω ετών (2001-2005) κατά την οποία υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πληρότητα δεδομένων και από τους δύο φορείς. Επιπρόσθετα, για την διευκόλυνση στην εξαγωγή συμπερασμάτων, συγκεντρώθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές συγκεντρώσεων και των τεσσάρων υπό μελέτη ρύπων και ληφθηκε ο μέσος όρος κάθε μηνός του έτους όλων των αστικών και περιαστικών σταθμών. Ακολουθώντας, από τα δεδομένα του κάθε σταθμού συλλέχθηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη ετήσια τιμή συγκέντρωσης και για τους τέσσερις ρύπους, τόσο για τους αστικούς όσο και για τους περιαστικούς σταθμούς και από εκεί εξάχθηκε η διαφορά των δύο ακρότατων τιμών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας καθώς και οι γραφικές απεικονίσεις τους παραθέτονται παρακάτω.

Αναλύοντας το διάγραμμα του όζοντος που αφορά τους αστικούς σταθμούς (σχήμα 4.6) φαίνεται ότι τη μέγιστη τιμή O_3 εμφανίζεται στο σταθμό του Επταπυργίου $88 \mu g/m^3$ ενώ ακολουθεί ο σταθμός της Τούμπας με $86 \mu g/m^3$. Η χαμηλότερη τιμή εντοπίζεται στο σταθμό της Καλαμαριάς με $15 \mu g/m^3$. Όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ την ελάχιστη στο μέσο του χειμώνα (Δεκέμβριο και Ιανουάριο).

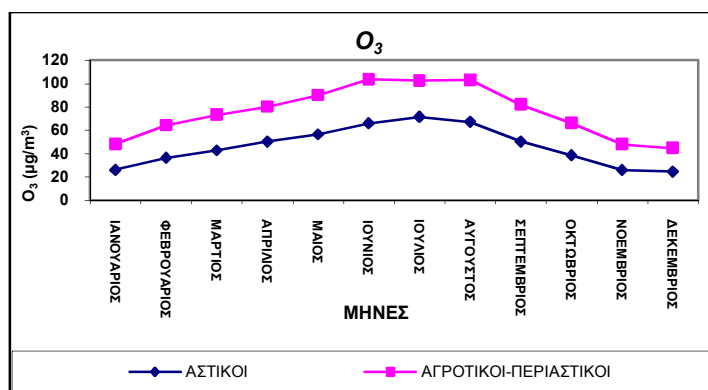
Το συγκεκριμένο εποχικό μέγιστο, συμβαίνει λόγω της έντονης ηλιακής δραστηριότητας που υπάρχει τους θερμούς μήνες του έτους σε σχέση με τους

ψυχρούς, αφού το O_3 εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τη δημιουργία του, από την φωταύγεια. Ωστόσο, εκτός της ηλιακής δραστηριότητας και η μείωση της συγκέντρωσης του ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, δρα καταλυτικά ως προς το σχηματισμό μεγίστων τιμών κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Η μείωση αυτή η οποία πραγματοποιείται κυρίως κατά την διάρκεια της νύχτας, οφείλεται στην καταστροφή του, από μόρια NO που παράγονται κυρίως από οικιακή θέρμανση (Lin *et al.* 2009). Θα πρέπει να τονιστεί, ότι το χρονικό διάστημα που παρατηρείται το μέγιστο του όζοντος, συμπίπτει με την εποχικότητα του μεγίστου όζοντος σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου σε περιοχές επιβαρυνμένες με ρύπους, σε αντίθεση με μη επιβαρυνμένους από ρύπους σταθμούς, όπου το μέγιστο της συγκέντρωσης O_3 εμφανίζεται την εαρινή περίοδο (Monks, 2000). Καταυτή τη λογική, λόγω της καλύτερης ποιότητας ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος κυρίως στους σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος, το μέγιστο εμφανίζεται ένα μήνα πριν, τον Ιούνιο επιβεβαιώνοντας πλήρη σύμπτωση με τα παραπάνω.

Προχωρώντας περαιτέρω την ανάλυση, η πιο μεγάλη συγκέντρωση από τους σταθμούς που βρίσκονται εκτός των ορίων της πόλης καταγράφεται στο σταθμό του Πανοράματος $88 \mu g/m^3$, ενώ η ελάχιστη στο σταθμό της Σίνδου $28 \mu g/m^3$ γεγονός που θα ωθούσε στο συμπέρασμα ότι η Σίνδος συγκλίνει με τους αστικούς σταθμούς περισσότερο, λαμβάνοντας υπόψιν ότι βρίσκεται σε βιομηχανική-αγροτική περιοχή. Αυτό που θα πρέπει να παρατηρηθεί και αποτελεί κοινό τόπο, είναι ότι από τους αστικούς σταθμούς, μεγαλύτερη συγκέντρωση πιστοποιείται σε αυτούς που βρίσκονται εντός των ορίων της πόλης αλλά όσο το δυνατόν πιο μακριά (Τούμπα) και σε μεγαλύτερο υψόμετρο (Επταπύργιο) από το κέντρο αυτής σε σχέση με τους υπόλοιπους σταθμούς, ενώ παράλληλα από τους περιαστικούς, μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται από σταθμούς που επίσης βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο μακριά από το κέντρο αυτής, σε σχέση πάντα με τους υπόλοιπους περιαστικούς σταθμούς της μελέτης (Πανόραμα). Αυτή η παρατήρηση έρχεται να επιβεβαιώσει για ακόμη μία φορά ότι το όζον δεν αποτελεί ρύπο της πόλης αλλά ρύπο των προαστίων.

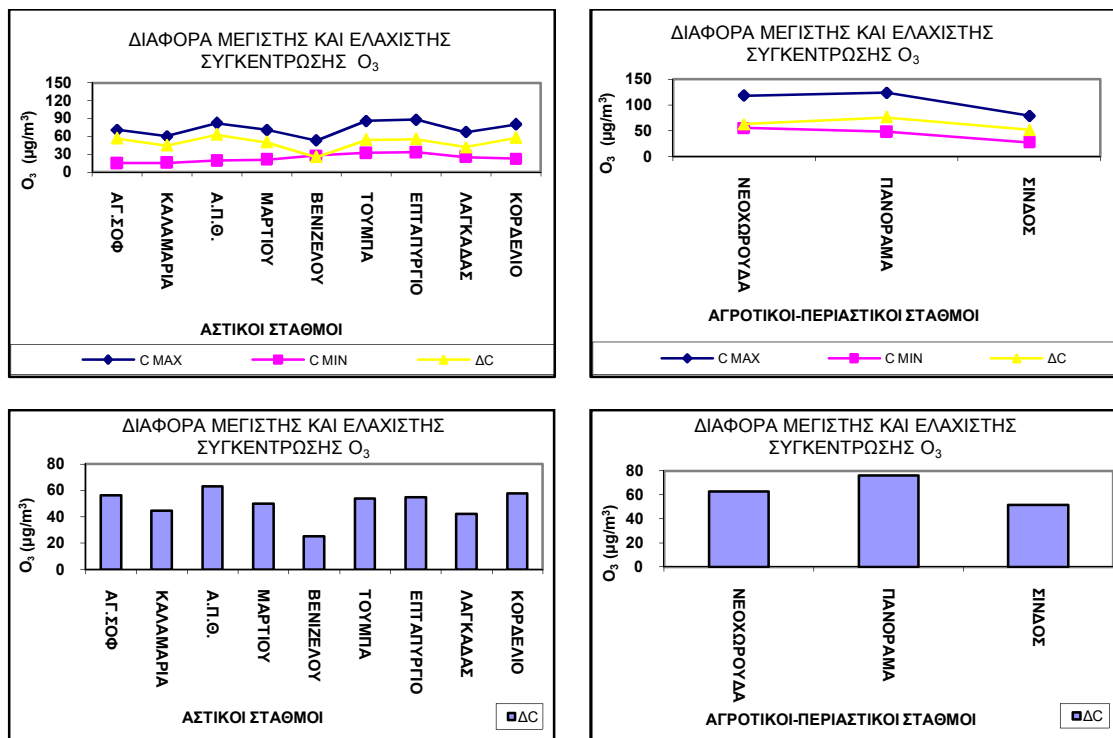


ΣΧΗΜΑ 4.6. Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας του O_3 , για τους αστικούς και για τους περιαστιακούς (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα), σταθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους.



ΣΧΗΜΑ 4.7. Συγκενρωτική απεικόνιση των μέσων τιμών συγκέντρωσης O_3 όλων των αστικών και περιαστικών σταθμών για κάθε μήνα κατά τη διάρκεια των ετών 2001-2005.

Το τελευταίο, διαπιστώνεται και από το σχήμα 4.7 όπου φαίνεται, ότι ο μέσος όρος συγκέντρωσης όζοντος όλων των περιαστικών σταθμών κάθε μήνα είναι κατά πολύ μεγαλύτερος της συγκέντρωσης των αντιστοιχών αστικών σταθμών. Ενδεικτικά, η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται τον Ιούνιο όπου η μέση συγκέντρωση των περιαστικών φτάνει τα $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ έναντι $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ της αντίστοιχης συγκέντρωσης των αστικών δηλαδή διαφορά $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ η μικρότερη τον Δεκέμβριο όπου φτάνει τα $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η διαφορά των περιαστικών έναντι των αστικών σταθμών, είναι καθολική στη διάρκεια του χρόνου, διευρύνεται τους θερμούς και συρρικνώνεται τους ψυχρούς μήνες του έτους, ενώ άξια αναφοράς κρίνεται η διαπίστωση, ότι η μέση συγκέντρωση των περιαστικών σταθμών είναι σχεδόν διπλάσια της μέσης συγκέντρωσης των αστικών.



ΣΧΗΜΑ 4.8. Διαφορά της μέγιστης ετήσιας συγκεντρώσης O₃ από την ελάχιστη, για όλους τους αστικούς (αριστερά) και αγροτικούς-περιαστικούς(δεξιά) σταθμούς κατά τη περίοδο 2001-2005.

Εμβαθύνοντας περισσότερο, στο σχήμα 4.8 αποτυπώνεται η διαφορά της μέγιστης ετήσιας τιμής της συγκέντρωσης από την ελάχιστη για κάθε σταθμό, για όλους τους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των αστικών σταθμών σημειώνεται στο σταθμό του Α.Π.Θ όπου η τιμή φτάνει τα 63 μg/m³ ενώ ακολουθεί ο σταθμός του Κορδελιού με 58 μg/m³. Στον αντίποδα, βρίσκεται ο σταθμός της Βενιζέλου όπου καταγράφεται διαφορά 25 μg/m³. Από τους περιαστικούς σταθμούς, μεγαλύτερη διακύμανση διακρίνεται στο Πανόραμα 76 μg/m³ ενώ μικρότερη στη Σίνδο 52 μg/m³. Από τις παραπάνω παρατηρήσεις εξάγονται κάποια πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Η μικρότερη διαφορά στην συγκέντρωση όζοντος που εντοπίζεται στους περιαστικούς σταθμούς, είναι πολύ κοντά στην δεύτερη μεγαλύτερη τιμή διαφοράς όζοντος των αστικών σταθμών. Αυτό καταδεικνύει ότι οι περιαστικοί συγκεντρώνουν μεγαλύτερες ποσότητες όζοντος από τους σταθμούς εντός της πόλης.

Μία επιπλέον διαπίστωση είναι ότι από τις τιμές της διαφοράς των ακρότατων τιμών της συγκέντρωσης O₃, παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις τιμές σε όλους τους σταθμούς, τόσο αστικούς όσο και περιαστικούς η οποία οφείλεται στη μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του όζοντος καθ'όλη τη διάρκεια του έτους όπως

αναφέρθηκε στο παραπάνω σχολιασμό του σχήματος 4.7. Μοναδική εξαίρεση στην διακύμανση της συγκέντρωσης όζοντος μεταξύ όλων των σταθμών, αποτελεί ο σταθμός της Βενιζέλου αφού παρουσιάζει πολύ μικρή διαφορά συγκέντρωσης και άρα δεν έχει έντονες διακυμάνσεις.

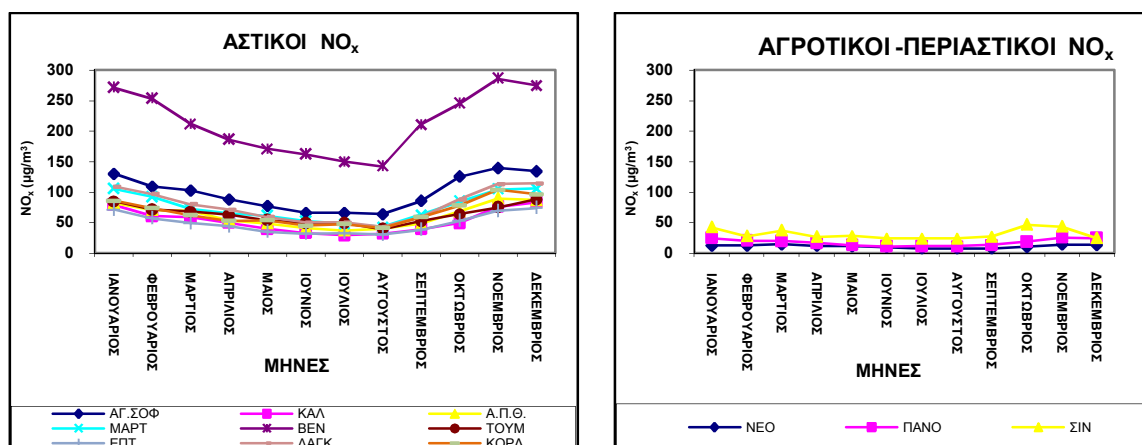
Προχωρώντας στην ανάλυση του διαγράμματος των NO_x (σχήμα 4.9), παρατηρείται εντελώς αντίθετη απεικόνιση αυτών σε σχέση με το O_3 . Συγκεκριμένα, οι γραφικές παραστάσεις των οξειδίων του αζώτου, στρέφουν τα κοίλα προς τα πάνω, ενώ οι αντίστοιχες παραστάσεις του όζοντος στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως φαίνεται στα διαγράμματα, μέγιστες συγκεντρώσεις διακρίνονται τον χειμώνα (Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο), ενώ ελάχιστες το καλοκαίρι (Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο). Η διαπίστωση αυτή αποτυπώνεται πιο έντονα στο διάγραμμα των αστικών σταθμών.

Σε αυτό το σημείο, είναι επιτακτική ανάγκη να αποσαφηνιστούν οι λόγοι της εμφάνισης του μεγίστου στο κύκλο εποχικότητας των NO_x κατά την χειμερινή περίοδο. Ένας από τους λόγους που θα μπορούσε να αποδοθεί το μέγιστο της συγκέντρωσης των NO_x τούς μήνες Δεκέμβριο-Ιανουάριο, είναι η αύξηση των αναγκών οικιακής θέρμανσης. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι εκπομπές NO_x που οφείλονται στην οικιακή θέρμανση, αγγίζουν το 11% του συνόλου εκπομπών των συγκεκριμένων ρύπων (*Hao et al, 2005*), γεγονός που δεν δικαιολογεί από μόνο του το μέγιστο στη συγκέντρωση τους συγκεκριμένους μήνες. Μία επιπλέον πιθανή αιτία του μεγίστου, την χειμερινή περίοδο αποτελεί και ο χρόνος ημισείας ζωής των NO_x . Την χειμερινή περίοδο, ελλείψει του ήλιου, δεν πραγματοποιούνται γρήγορα οι μετατροπές των μορίων του μονοξειδίου του αζώτου σε διοξείδιο και αυτό εν συνεχεία σε O_3 , με αποτέλεσμα εφόσον τα NO_x παραμένουν αδρανή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς να μετατραπούν, να αυξάνεται η συγκέντρωσή τους.

Τέλος, μία επιπλέον πιθανή αιτία που σε συνδυασμό με τις παραπάνω μπορεί να δώσει εξήγηση στο μέγιστο των NO_x την χειμερινή περίοδο, είναι η μείωση του πάχους του οριακού στρώματος. Το πάχος του οριακού στρώματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την ηλιακή δραστηριότητα. Κατά την χειμερινή περίοδο, λόγω της μειωμένης ηλιακής δραστηριότητας (πολύ μικρής διάρκειας ημέρα, νεφοκάλυψη), το πάχος του οριακού στρώματος μειώνεται, με αποτέλεσμα, να συμπυκνώνεται η

ατμόσφαιρα στην επιφάνεια και να αυξάνεται έτσι η συγκέντρωση των ρύπων, άρα και των NO_x.

Προχωρώντας παρακάτω την μελέτη, στους περιαστικούς-αγροτικούς σταθμούς και ιδιαίτερα σε αυτούς που είναι πιο απομακρυσμένοι από το κέντρο της πόλης, εντοπίζονται τάσεις αύξησης και μείωσης του συγκεκριμένου ρύπου κατά τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες αντίστοιχα, αλλά σε μικρότερο βαθμό από τους αστικούς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συγκεντρώσεις σε όλους τους περιαστικούς σταθμούς, δεν ξεπερνούν τα 45 μg/m³ που σημαίνει ότι ούτως ή άλλως, οι εκπομπές των NO_x είναι περιορισμένες. Συγκεκριμένα στους περιαστικούς σταθμούς, η μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στη Σίνδο με τιμή 42 μg/m³ ενώ η μικρότερη στην Νεοχωρούδα με τιμή 8 μg/m³. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η Σίνδος, χαρακτηρίζεται και βιομηχανικός σταθμός, γεγονός που αιτιολογείται συγκρίνοντας τις τιμές του με αυτές των δυο άλλων περιαστικών σταθμών (Νεοχωρούδα-Πανόραμα). Ο σταθμός της Σίνδου βρίσκεται εκτός των ορίων της πόλης, δεν σημειώνει τις τιμές που συγκεντρώνουν οι αστικοί σταθμοί, αλλά από την άλλη δεν παύει να επηρεάζεται από τις διάσπαρτες βιομηχανικές μονάδες στην περιοχή. Για το λόγο αυτό και εμφανίζει αυτή την ασυμφωνία με τους άλλους δυο σταθμούς.



ΣΧΗΜΑ 4.9. Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας του NO_x, για τους αστικούς και για τους περιαστικούς (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα), σταθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Όσον αφορά τους αστικούς σταθμούς, η μεγαλύτερη συγκέντρωση με διαφορά από τους υπολοίπους, εμφανίζεται στο σταθμό της Βενιζέλου με τιμή 286 μg/m³, ενώ η ελάχιστη στη Καλαμαριά 29 μg/m³. Εντύπωση προκαλεί, το γεγονός ότι ακόμη και η ελάχιστη τιμή της Βενιζέλου (156 μg/m³) είναι σχεδόν διπλάσια από τις

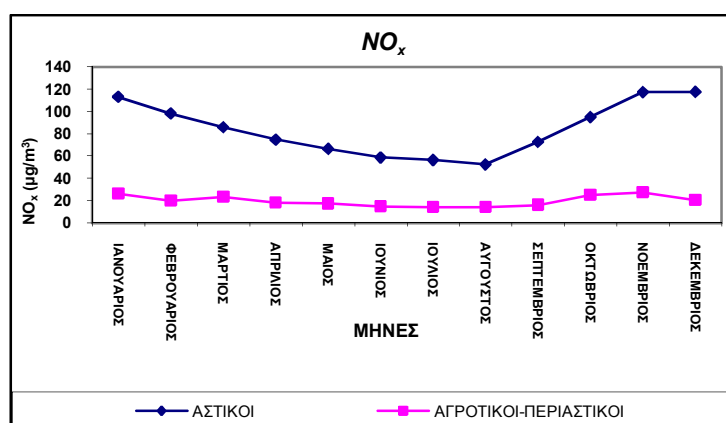
μέγιστες τιμές των υπολοίπων αστικών σταθμών, (με εξαίρεση τον σταθμό της Αγ.Σοφίας) και σχεδόν τετραπλάσια των περιαστικών σταθμών.

Το γεγονός αυτό δεν φαίνεται να προβληματίζει, αν δοθούν οι απαραίτητες εξηγήσεις. Ο σταθμός της Βενιζέλου βρίσκεται ακριβώς επάνω στη συμβολή των οδών Βενιζέλου και Εγνατίας όπου υπάρχει πολύ έντονη κίνηση. Οι αυξημένες τιμές σε NO_x στο συγκεκριμένο σταθμό, δεν οφείλονται μόνο στην αυξημένη κίνηση αλλά τόσο στις καύσεις για τις ανάγκες θέρμανσης από τις γύρω κατοικίες της περιοχής (μόνο τη ψυχρή περίοδο), όσο και στην πολεοδομία των ιδίων κατοικιών. Αναλύοντας περισσότερο, γύρω από τον σταθμό υπάρχουν πολύ ψηλά κτήρια που εμποδίζουν την διέλευση αέρα και κατά συνέπεια, μπλοκάρουν τον εξαερισμό των ρύπων. Το γεγονός ότι ο σταθμός της Βενιζέλου εμφανίζει τις μικρότερες συγκεντρώσεις όζοντος και παράλληλα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου, θα ωθούσε κάποιον στην αμφισβήτηση της αξίωσης της μη εξαέρωσης της περιοχής, αφού θα έπρεπε σύμφωνα με την σχέση $\text{O}_3\text{-NO}_x$ (δημιουργία O_3 από NO_x) να υπάρχουν και μεγάλες ποσότητες O_3 . Δεν θα πρέπει κανείς να αγνοεί, ότι η δημιουργία O_3 απαιτεί ηλιακή έκθεση των NO_x για αρκετές ώρες και αν αυτό δεν είναι εφικτό, δεν είναι δυνατή η παραγωγή του συγκεκριμένου ρύπου. Τα ψηλά κτήρια που εμποδίζουν την διέλευση αέρα, εμποδίζουν και την έκθεση στον ήλιο με αποτέλεσμα ο σταθμός της Βενιζέλου να καταγράφει τις μικρότερες συγκεντρώσεις όζοντος.

Από την αποτύπωση των υπολοίπων αστικών σταθμών, παρατηρείται ότι όσο πιο κοντά βρίσκονται οι σταθμοί στο κέντρο, τόσο μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης καταλαμβάνουν. Συγκεκριμένα, ο σταθμός της Αγ. Σοφίας που βρίσκεται στη καρδιά του κέντρου της πόλης έρχεται δεύτερος σε αυξημένη συγκέντρωση NO_x μετά τη Βενιζέλου, ενώ η Καλαμαριά που είναι και ο πιο απομακρυσμένος σε σχέση με τους υπολοίπους αστικούς σταθμούς, κατέχει την μικρότερη τιμή συγκέντρωσης. Από την άλλη αντίθετα, όσοι από τους περιαστικούς σταθμούς βρίσκονται πιο μακριά από κέντρο έχουν και τις μικρότερες συγκεντρώσεις, όπως πιστοποιούν και οι συγκεντρώσεις της Νεοχωρούδας.

Μία πιο συγκεντρωτική εικόνα, των μέσων τιμών συγκέντρωσης NO_x όλων των αστικών και όλων των περιαστικών σταθμών για κάθε μήνα σε όλη τη διάρκεια του έτους διακρίνεται στο σχήμα 4.10. Διαφαίνεται, ότι τους καλοκαιρινούς μήνες

καταγράφεται η ελάχιστη τιμή τόσο στους αστικούς όσο και στους περιαστικούς σταθμούς ενώ η μέγιστη πιστοποιείται τους χειμερινούς μήνες που οι ανάγκες για θέρμανση είναι επιτακτική. Η αύξηση της συγκέντρωσης όπως έχει αναφερθεί, υπομοχλεύεται από την ώθηση του πληθυσμού προς τις πόλεις την ψυχρή περίοδο με συνέπεια την αύξηση των αναγκών θέρμανσης και μετακίνησης του, που έχει ως αποτέλεσμα περισσότερες καύσεις. Την θερμή περίοδο που ο πληθυσμός εξωθείται μακριά από τη πόλη και οι ανάγκες μετακίνησης ελαχιστοποιούνται, ενώ από την άλλη δεν γίνονται οικιακές καύσεις οι συγκεντρώσεις των NO_x ελαχιστοποιούνται.



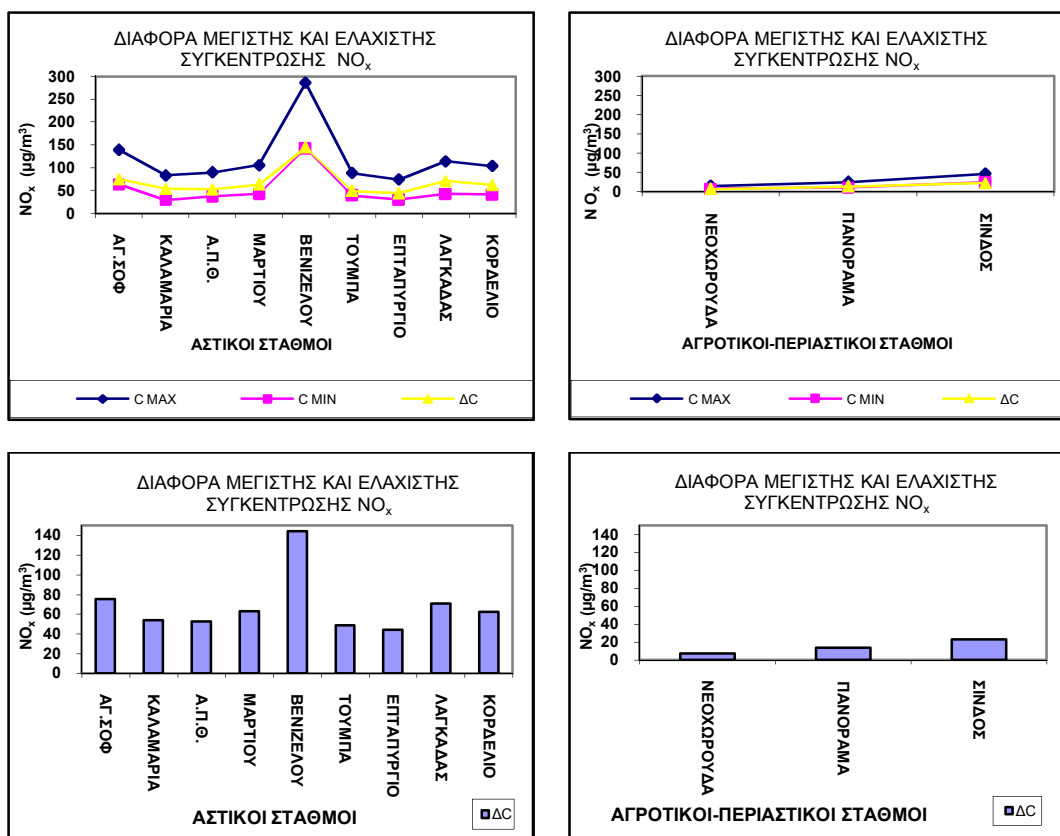
ΣΧΗΜΑ 4.10. Συγκεντρωτική απεικόνιση των μέσων τιμών συγκέντρωσης NO_x όλων των αστικών και περιαστικών σταθμών για κάθε μήνα κατά τη διάρκεια των ετών 2001-2005.

Εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι, τον Φεβρουάριο και Ιανουάριο οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων NO_x των αστικών σταθμών γίνονται τριπλάσιες αυτών των περιαστικών ενώ καθ'όλη τη διάρκεια τους έτους οι μέσες τιμές των αστικών έναντι των περιαστικών σταθμών διατηρούνται μεγαλύτερες κατά 2,5 φορές των τιμών των περιαστικών. Με αυτή τη διαπίστωση κατανοείται ότι οι τιμές συγκέντρωσης των NO_x στις αστικές περιοχές, ασχέτου της περιόδου του έτους, διατηρούνται σε πολύ πιο υψηλά επίπεδα από αυτές των περιαστικών σταθμών. Τέλος, από το διάγραμμα των περιαστικών σταθμών, φαίνεται ότι οι τιμές των NO_x παραμένουν στατικές με μικρής κλίμακας αύξηση τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Η ίδια η στατικότητα των τιμών καθ'όλη σχεδόν την διάρκεια του έτους, οδηγεί σε μια πολύ σημαντική διαπίστωση η οποία αναλύεται ως εξής. Οι περιαστικές περιοχές, έχουν ως κύρια πηγή έκλυσης NO_x τα μέσα μετακίνησης. Αποτέλεσμα αυτού, είναι να μην επηρεάζονται τόσο οι συγκεντρώσεις των NO_x από τις εκλύσεις που

οφείλονται στις οικιακές θερμάνσεις, μιας και ούτως ή άλλως οι εκπομπές NO_x που οφείλονται στην θέρμανση των οικιών από την μία καταλαμβάνουν ένα μικρό ποσοστό επί του συνόλου των εκλύσεων του συγκεκριμένου ρύπου, ενώ από την άλλη, οι εκπομπές αυτού του είδους έχουν μεγαλύτερη σημασία στις αστικές πυκνοκατοικημένες περιοχές.

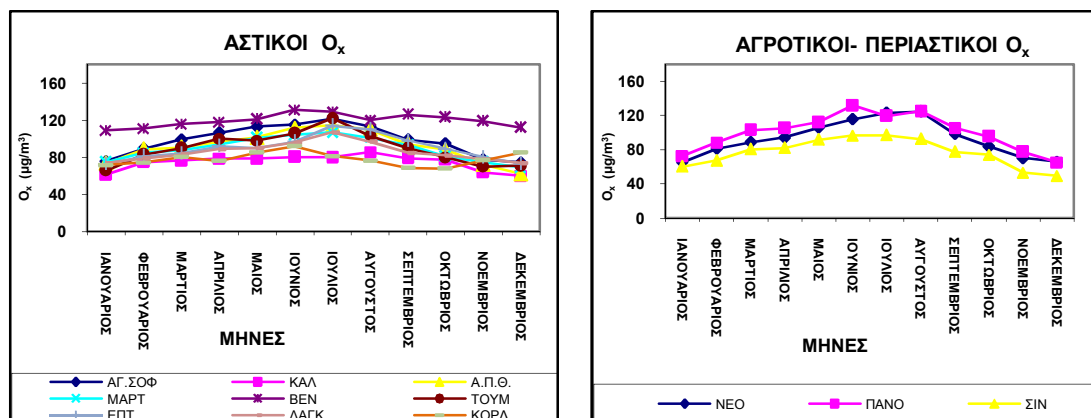
Στη συνέχεια στο σχήμα 4.11 καταγράφεται η διαφορά της μέγιστης ετήσιας τιμής της συγκέντρωσης από την ελάχιστη για κάθε σταθμό, για όλους τους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς. Από το διάγραμμα των αστικών σταθμών, διακρίνεται ότι τη μεγαλύτερη διαφορά συγκέντρωσης NO_x, κατέχει ο σταθμός της Βενιζέλου με τιμή 144 μg/m³ ενώ την μικρότερη ο σταθμός του Επταπυργίου με τιμή 44 μg/m³. Από την άλλη, στους περιαστικούς σταθμούς μεγαλύτερη διαφορά συγκέντρωσης NO_x, εμφανίζει η Σίνδος με τιμή 23 μg/m³ ενώ η μικρότερη διαφορά όπως μόλις που διακρίνεται στο ραβδόγραμμα εντοπίζεται στη Νεοχωρούδα 7 μg/m³. Όπως αποτυπώνεται στα ραβδογράμματα, μεγαλύτερες μεταβολές στη συγκέντρωση τους έδωσαν τόσο στους αστικούς όσο και στους περιαστικούς, οι σταθμοί με τις μέγιστες συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα της συγκεντρώσεις των NO_x και στους δύο, σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και ιδιαίτερα κατά τη μετάβαση χειμώνα–καλοκαίρι και αντίστροφα.

Μεταβλητότητα χαρακτηρίζει και τους υπολοίπους αστικούς σταθμούς, αν παρατηρηθεί η διαφορά συγκέντρωσης στο ραβδόγραμμα, σε μικρότερο βαθμό ωστόσο, που δείχνει ότι επηρεάζονται λιγότερο κατά την αλλαγή των εποχών. Το γεγονός αυτό έρχεται να πιστοποιήσει ότι όσο πιο ομοιόμορφα κατανεμημένος είναι ο πληθυσμός μιας περιοχής, τόσο περισσότερη ισορροπία επικρατεί στις εκπομπές NO_x, τέτοια ώστε να δύναται να διατηρηθεί η συγκέντρωση στα ίδια περίπου επίπεδα σε όλο το έτος, παρά τις επιπλέον εκλύσεις NO_x λόγω της ανάγκης μετακίνησης και θέρμανσης στη διάρκεια του χειμώνα. Η παραπάνω αξίωση, επιβεβαιώνεται τόσο από περιαστικούς σταθμούς όπως οι σταθμοί Νεοχωρούδας, Πανοράματος που εμφανίζουν πολύ μικρές μεταβολές, (κάτω από 15 μg/m³), όσο και από αστικούς, όπως αυτοί του Επταπυργίου και της Τούμπας (κάτω από 50 μg/m³) στις περιοχές των οποίων δεν υπάρχει τόσο μεγάλος πληθυσμιακός συνωστισμός.



ΣΧΗΜΑ 4.11. Διαφορά της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης NO_x από την ελάχιστη, για όλους τους αστικούς (αριστερά) και περιαστικούς(δεξιά) σταθμούς κατά τη περίοδο 2001-2005.

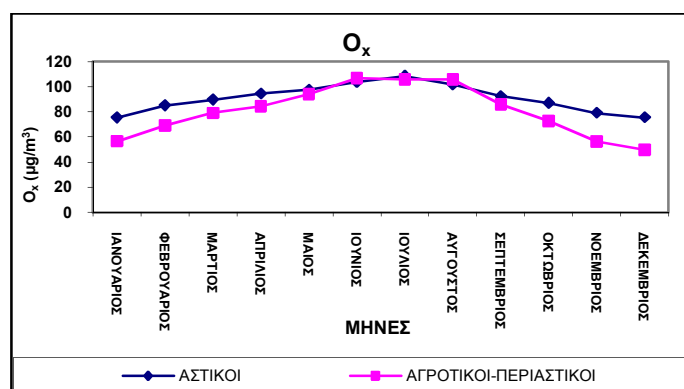
Συνεχίζοντας τη μελέτη των ρύπων, ακολουθούν τα O_x, όπου οι συγκεντρώσεις των αστικών και περιαστικών σταθμών, απεικονίζονται στο σχήμα 4.12.



ΣΧΗΜΑ 4.12. Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας του O₃, για τους αστικούς και για τους περιαστικούς (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα), σταθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Όσον αφορά, τους αστικούς σταθμούς την πρώτη θέση κατέχει ο σταθμός της Βενιζέλου, με συγκέντρωση $131 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον Ιούνιο ενώ την τελευταία, καταλαμβάνει ο σταθμός της Καλαμαριάς τον μήνα Δεκέμβριο με τιμή $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Εξετάζοντας το διάγραμμα των περιαστικών σταθμών, μέγιστη τιμή συγκεντρώνει ο σταθμός του Πανοράματος, με συγκέντρωση που φτάνει τα $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον μήνα Ιούνιο, ενώ ελάχιστη ο σταθμός της Σίνδου με συγκέντρωση $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον Δεκέμβριο όπως και ο σταθμός της Καλαμαριάς. Τόσο από το διάγραμμα των αστικών όσο και από αυτά των περιαστικών, παρατηρείται ότι ο σταθμός της Βενιζέλου, που έρχεται πρώτος στους αστικούς σταθμούς, σε εκλύσεις NO_x , συνεχίζει να κατέχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση και στα O_x , ενώ παράλληλα ο σταθμός του Πανοράματος που κατέγραφε την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε O_3 εξακολουθεί και παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές σε O_x .

Αυτό συμβαίνει για ένα και μόνο λόγο. Οι ρύποι που χαρακτηρίζουν ένα αστικό περιβάλλον κυρίως είναι το NO_2 και NO που αθροίζοντας τους δίνουν τις εκπομπές σε NO_x , ενώ ο ρύπος που χαρακτηρίζει το περιβάλλον μίας περιαστικής περιοχής είναι το O_3 . Αθροίζοντας τις συγκεντρώσεις όζοντος και διοξειδίου του αζώτου, μεταξύ των αστικών σταθμών, μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης θα συνεχίσει να παρουσιάζει ο σταθμός που κατέγραφε τις μεγαλύτερες τιμές σε NO_x αφού στο συγκεκριμένο περιβάλλον υπερτερεί σε τιμές το NO_2 . Από την άλλη, επειδή στο περιαστικό περιβάλλον υπερτερεί το O_3 σε σχέση με το NO_2 μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης θα συνεχίσει να παρουσιάζει ο σταθμός που κατέγραφε τις μεγαλύτερες τιμές σε O_3 δηλαδή το Πανόραμα.



ΣΧΗΜΑ 4.13. Συγκεντρωτική απεικόνιση των μέσων τιμών συγκέντρωσης O_x όλων των αστικών και περιαστικών σταθμών για κάθε μήνα κατά τη διάρκεια των ετών 2001-2005.

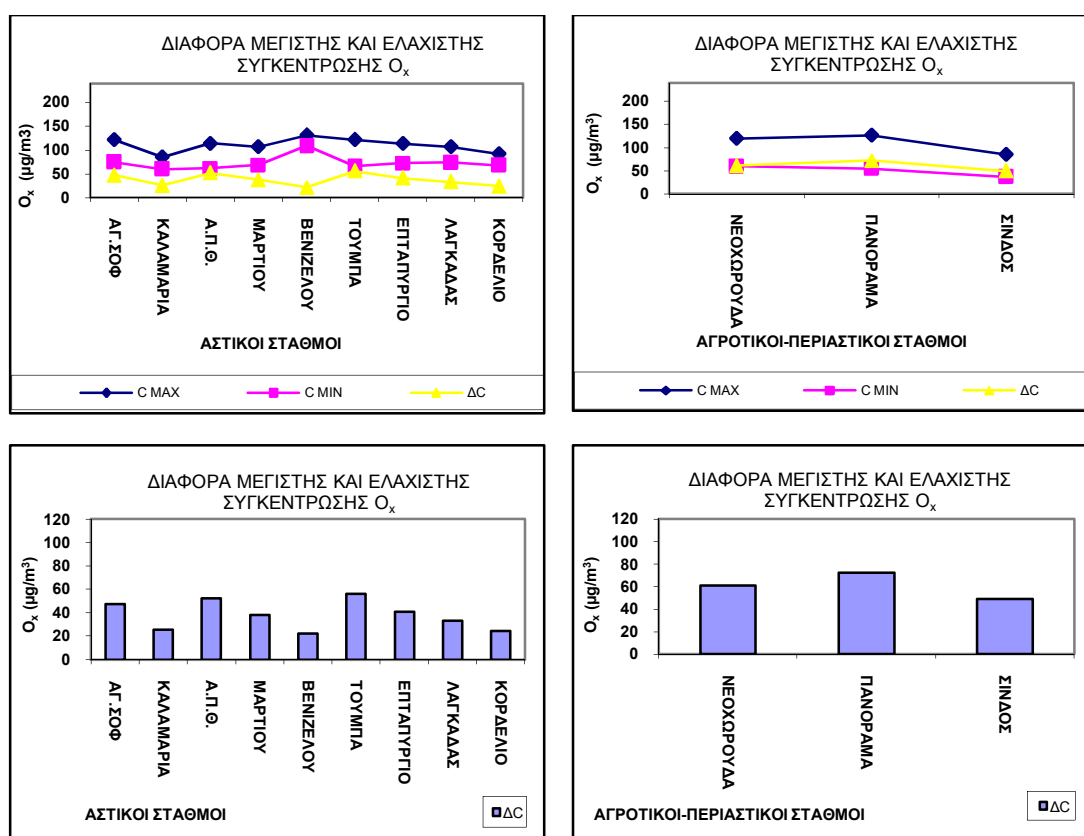
Συνεχίζοντας την ανάλυση, αυτό που κεντρίζει το ενδιαφέρον, είναι ότι τόσο οι καμπύλες της μεταβολής της συγκεντρώσεως των O_x στους αστικούς σταθμούς, όσο και στους περιαστικούς σταθμούς καθ'όλη την διάρκεια του έτους, συγκεντρώνουν τα χαρακτηριστικά των NO_x και του O_3 . Οι γραφικές παραστάσεις των οξειδίων του αζώτου, στρέφουν τα κοίλα προς τα πάνω, ενώ οι αντίστοιχες παραστάσεις του όζοντος, στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα διαγράμματα και των αστικών αλλά και των περιαστικών σταθμών, να εμφανίζονται με μικρότερες μεταβολές ετησίως και να τείνουν να ευθυγραμμιστούν. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα NO_2 από την μία εμφανίζουν μέγιστες τιμές την ψυχρή, ενώ το O_3 από την άλλη, εμφανίζει μέγιστα τη θερμή περίοδο.

Αποτέλεσμα αυτού, όπως πιστοποιείται και από το σχήμα 4.13 που εμφανίζονται οι μέσες μεταβολές στις τιμές των συγκεντρώσεων O_x ετησίως, οι γραφικές παραστάσεις τόσο των πρώτων όσο και των δεύτερων σταθμών, να ταυτίζονται και να τείνουν να ευθυγραμμιστούν.

Όπως προαναφέρθηκε, στο σχήμα 4.13 διακρίνεται η σύγκλιση των δύο καμπυλών των αστικών και περιαστικών σταθμών. Παρατηρώντας ξεχωριστά μόνο τα διαγράμματα NO_x (σχήμα 10) ή μόνο τα διαγράμματα O_3 (σχήμα 7) προκύπτει ότι οι αστικές περιοχές επιβαρύνονται κυρίως με NO_x ενώ στις περιαστικές κυρίως με O_3 . Ωστόσο, από το σχήμα 4.13, διαπιστώνεται ότι λόγω της μεταφοράς του O_3 στις περιαστικές και της έντονης παράγωγης NO_2 στις αστικές περιοχές, λαμβάνοντας τους ρύπους αθροιστικά (O_x), υπάρχει έντονη ρύπανση σε O_x τόσο εντός της πόλης όσο και στα προάστια αυτής, η οποία κυμαίνεται σχεδόν στα ίδια επίπεδα. Το γεγονός αυτό, καταδεικνύει ότι οι διαφορές αστικών-περιαστικών σταθμών όσον αφορά τα O_x , τείνουν να ελαχιστοποιηθούν αφού λαμβάνεται η ρύπανση τόσο από O_3 , όσο και από NO_2 συλλογικά. Με λίγα λόγια, μπορεί οι περιαστικοί σταθμοί να υπερτερούν σε σχέση με τους αστικούς, όσον αφορά το O_3 , ωστόσο σε σχέση με το άθροισμα των ρύπων O_3 και NO_2 (O_x) τόσο οι αστικοί, όσο και οι περιαστικοί ταυτίζονται (καλοκαιρινή περίοδος) ή τείνουν να ταυτιστούν (Kley et al. 1993).

Συγκεκριμένα, μέγιστες συγκεντρώσεις καταγράφονται στις αστικές τον Ιούλιο με τιμή $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στις περιαστικές περιοχές αντίστοιχες συγκεντρώσεις διακρίνονται τον Ιούνιο με τιμή $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τους καλοκαιρινούς μήνες κυρίως, οι συγκεντρώσεις των αστικών και περιαστικών

σταθμών σχεδόν ταυτίζονται ενώ όσο αποκλίνει είτε αριστερά είτε δεξιά της χρονικής αυτής περιόδου το γράφημα, η διαφορά αυξάνει. Αυτό συμβαίνει γιατί το καλοκαίρι στην πόλη αν και δεν παραμένει μεγάλος πληθυσμός, οι συγκεντρώσεις NO_2 είναι μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις των περιαστικών-αγροτικών περιοχών. Από την άλλη στις αγροτικές περιοχές, ειδικά το καλοκαίρι (έντονη ηλιακή δραστηριότητα) οι συγκεντρώσεις του O_3 είναι μεγαλύτερες από αυτές των αστικών περιοχών με αποτέλεσμα την σύγκλιση των δύο γραφημάτων στο σχήμα 4.13. Αντίθετα, το χειμώνα αυξάνονται οι αστικές συγκεντρώσεις σε NO_2 , ενώ ταυτόχρονα, μειώνονται οι περιαστικές συγκεντρώσεις σε O_3 με ορατό αποτέλεσμα στο παραπάνω σχήμα, την αύξηση της διαφοράς των ψυχρή περίοδο.

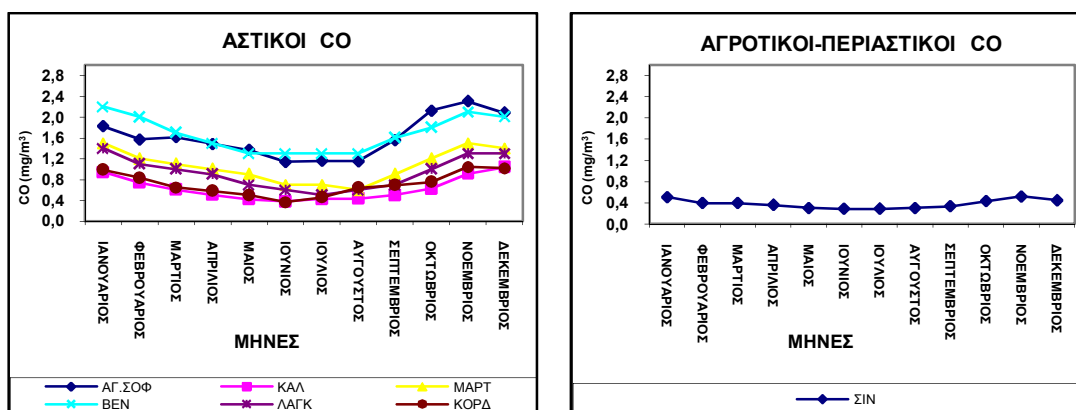


ΣΧΗΜΑ 4.14. Διαφορά της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης O_3 από την ελάχιστη, για όλους τους αστικούς (αριστερά) και περιαστικούς (δεξιά) σταθμούς κατά τη περίοδο 2001-2005.

Περισσότερο φως στην μελέτη των ετησίων μεταβολών της συγκέντρωσης των O_3 , ρίχνει το σχήμα 4.14 πού απεικονίζει τη διαφορά της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης O_3 από την ελάχιστη, για όλους τους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς ξεχωριστά. Από το διάγραμμα των αστικών παρατηρείται, ότι σε όλους τους σταθμούς, υπάρχει διακύμανση, με εντονότερη στο σταθμό της Τούμπας με

τιμή $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μικρότερη εντοπίζεται στο σταθμό του Κορδελιού, με μεταβολή στη συγκέντρωση $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στους περιαστικούς σταθμούς, η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται στο Πανόραμα ενώ η μικρότερη στη Σίνδο με τιμές $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Μεγάλες και μικρές διακυμάνσεις φαίνονται τόσο στα ραβδογράμματα των αστικών όσο και στα διαγράμματα των περιαστικών σταθμών. Ωστόσο οι διακυμάνσεις αυτές δεν έχουν κάποια γεωγραφική συμφωνία που να μπορέσει να οδηγήσει στο συμπέρασμα, ότι είτε οι αστικές είτε οι περιαστικές περιοχές έχουν μεγαλύτερες μεταβολές στις τιμές O_x και άρα η μία έχει εντονότερο πρόβλημα από την άλλη. Η γεωγραφική ασυμφωνία λοιπόν, κατά την οποία δεν είναι δυνατό να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα, αφού τόσο στους αστικούς όσο και στους περιαστικούς, εντοπίζονται σταθμοί με μικρές (Καλαμαριά, Κορδελιό) και μεγάλες (Α.Π.Θ., Νεοχωρούδα) μεταβολές στη συγκέντρωση, οδηγεί στο προηγούμενο συμπέρασμα που εξήχθη. Υπάρχει έντονη ρύπανση τόσο εντός της πόλης όσο και στα προάστια αυτή, η οποία κυμαίνεται σχεδόν στα ίδια επίπεδα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των O_x .

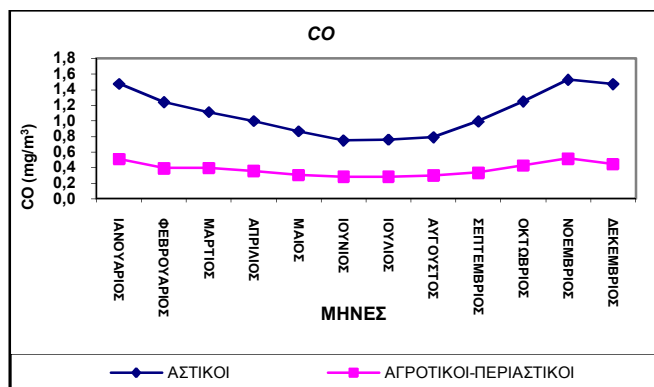


ΣΧΗΜΑ 4.15. Απεικόνιση της μέσης μηνιαίας του CO για τους αστικούς και για τους περιαστικούς (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα), σταθμούς σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Παραπάνω, αναλύεται στο σχήμα 4.15 ο τέταρτος υπό μελέτη ρύπος, το μονοξείδιο του άνθρακα. Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι για την ανάλυση του CO, αντλούνται δεδομένα μόνο από επτά από τους δώδεκα σταθμούς που συμμετέχουν στην έρευνα, δεδομένου ότι για τους υπολοίπους δεν υπάρχουν δεδομένα. Από το σχήμα 4.15 παραπάνω, διακρίνεται η επικράτηση των αστικών έναντι των περιαστικών σταθμών, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις CO. Συγκεκριμένα,

εντοπίζεται, ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση CO απ'όλους τους σταθμούς που συμμετέχουν στη μελέτη, καταγράφεται στο σταθμό της Αγ. Σοφίας με συγκέντρωση που φτάνει τα $2,3 \text{ mg/m}^3$ ενώ στον αντίποδα βρίσκονται οι σταθμοί της Καλαμαριάς και του Κορδελιού με τιμή $0,4 \text{ mg/m}^3$. Στους περιφερειακούς σταθμούς, αν και συγκαταλέγεται μόνο ένας σταθμός από τους τρεις που χαρακτηρίζονται αγροτικοί – περιφερειακοί, η τιμή του είναι αντιπροσωπευτική των τιμών που εντοπίζονται στα προάστια μιας πόλης. Καταυτό τον τρόπο λοιπόν, η Σίνδος καταγράφει μέγιστη τιμή τον Νοέμβριο και τον Ιανουάριο $0,5 \text{ mg/m}^3$ ενώ ελάχιστη $0,3 \text{ mg/m}^3$ την θερμή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος).

Από τα γραφήματα αποκαλύπτεται, ότι όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας σταθμός από το κέντρο της πόλης, όπου οι εκλύσεις είναι οι εντονότερες, τόσο μικρότερες είναι οι συγκεντρώσεις του σε τιμές CO. Αναλυτικά, χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO, έχει η Καλαμαριά, η οποία βρίσκεται πιο μακριά από κάθε άλλο αστικό σταθμό σε σχέση με το κέντρο της πόλης, ενώ την μεγαλύτερη ο σταθμός Αγ. Σοφίας που βρίσκεται στη καρδιά του κέντρου. Επειδή το CO είναι ρύπος που παράγεται κατά την ατελή καύση υδρογονανθράκων όπως και τα NO_x, τόσο τα διαγράμματα, οι χρονικές περίοδοι που δημιουργούνται οι ακρότατες τιμές, όσο και τα συμπεράσματα που προκύπτουν, έρχονται σε συμφωνία με αυτά των NO_x.

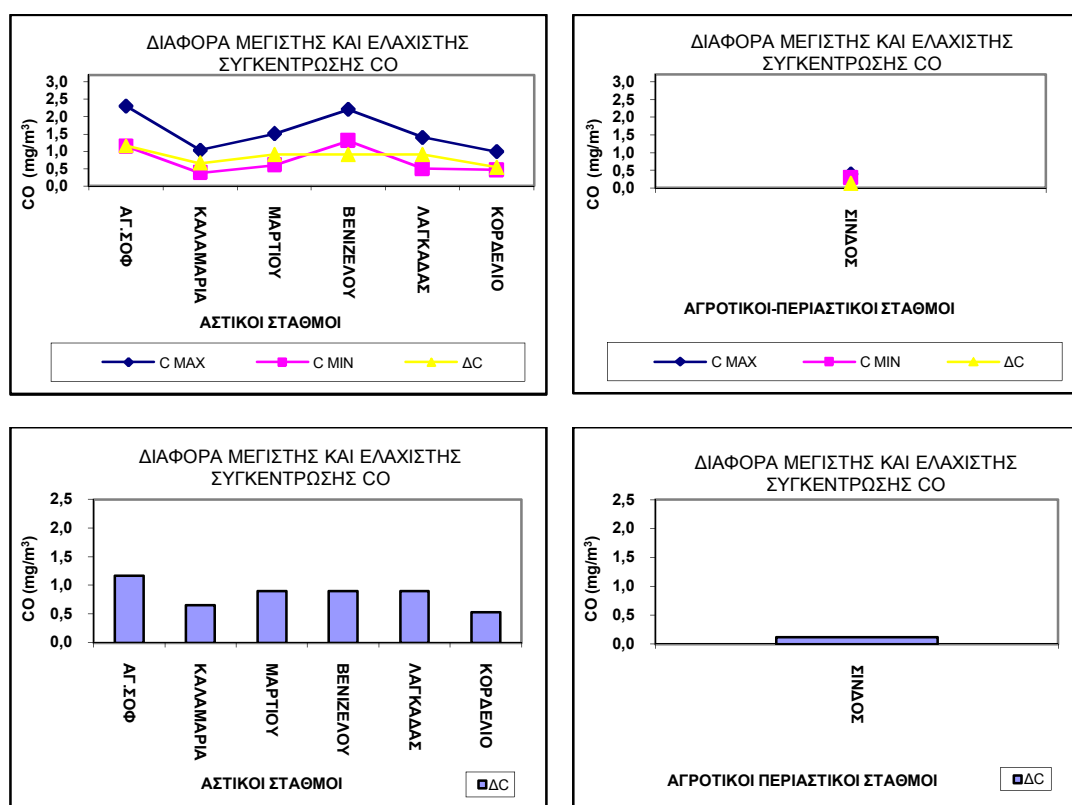


ΣΧΗΜΑ 4.16. Συγκεντρωτική απεικόνιση των μέσων τιμών συγκέντρωσης CO όλων των αστικών και περιφερειακών σταθμών για κάθε μήνα κατά τη διάρκεια των ετών 2001-2005.

Συγκεκριμένα, από το σχήμα 4.16 παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές στους αστικούς σταθμούς, εμφανίζονται κατά την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριο-Μάρτιο) ενώ τιμές της τάξης του $1,6 \text{ mg/m}^3$ διατηρούνται για τρεις μήνες (Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο). Αντίστοιχα, το ίδιο ακριβώς σκηνικό παρουσιάζεται και στη Σίνδο, με

τιμή πάνω από $0,4 \text{ mg/m}^3$ να διατηρείται την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριο-Μάρτιος). Αντίθετα, και στις δύο κατηγορίες σταθμών, ελάχιστες τιμές παρατηρούνται κυρίως τη θερμή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος) με τις μικρότερες από αυτές να εντοπίζονται το καλοκαίρι.

Ο λόγος που συμβαίνει αυτό και ο οποίος έχει αναφερθεί ξανά, είναι οι εκλύσεις CO από τις μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται στη μετακίνηση (οχήματα) και θέρμανση (λέβητες στα κλιμακοστάσια των κατοικιών) σε μεγάλη κλίμακα κυρίως τη ψυχρή περίοδο, καθώς επίσης και η αύξηση του χρόνου ζωής του συγκεκριμένου ρύπου, την χειμερινή περίοδο λόγω της αυξημένης αδράνειας του ως οξειδωτικό μέσο, ελλείψει ηλιοφάνειας. Ένας επιπρόσθετος λόγος, είναι η μείωση του πάχους του οριακού στρώματος ιδιαίτερα την χειμερινή περίοδο, με αμεσο αποτέλεσμα την συμπύκνωση του ατμοσφαιρικού στρώματος κοντά στην επιφάνεια και άρα και την αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων με τελικό αποτέλεσμα και την αύξηση της συγκέντρωσης και του CO.



ΣΧΗΜΑ 4.17. Διαφορά της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης CO από την ελάχιστη, για όλους τους αστικούς (αριστερά) και περιφερειακούς (δεξιά) σταθμούς κατά τη περίοδο 2001-2005.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επιπλέον, το σχήμα 4.17 στο οποίο διακρίνονται οι διαφορές της μέγιστης ετήσιας συγκέντρωσης CO από την ελάχιστη. Παρατηρείται ότι στους αστικούς σταθμούς υπάρχει διακύμανση η οποία είναι στα πλαίσια του αναμενόμενου, αφού σε όλους τους υπο εξέταση σταθμούς, η διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής δεν ξεπερνά το $1,2 \text{ mg/m}^3$. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη διακύμανση στους αστικούς, παρουσιάζεται στο σταθμό της Αγ. Σοφίας. Αντίθετα οι μικρότερες διακυμάνσεις εμφανίζονται στη Καλαμαριά. Οι διαφορές αυτές, είναι αναμενόμενες όπως χαρακτηρίστηκε παραπάνω, διότι οι εκπομπές CO μειώνονται τη θερμή περίοδο του έτους σε σχέση με την ψυχρή. Για τους περιαστικούς-αγροτικούς σταθμούς δεν μπορεί να γίνει ανάλυση και να εξαχθούν συμπεράσματα ειδικά για την διακύμανση των εν λόγω σταθμών, αφού συμμετέχει μόνο η Σίνδος και δεν δύναται να υπάρξει σύγκριση με άλλον σταθμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Το δεύτερο μέρος της επεξεργασίας και συγκεκριμένα τα κεφάλαια 5 και 6 της μελέτης, πραγματεύονται τις επιδράσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου), στις μεταβολές των συγκεντρώσεων των ρύπων O_3 , NO_x , O_x και CO για τη χρονική περίοδο 2001-2005, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται έλεγχος του συνολικού πραγματικού αντίκτυπου που έχει η μετεωρολογία στην ρύπανση κατά μήκος του χρόνου, με την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

5.1

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ

ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ 2001-2005.

Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκαν αρχικά τα δεδομένα ρύπων, όλων των σταθμών (στο σύνολο δώδεκα) δήμου και περιφέρειας, καθώς και τα μετεωρολογικά δεδομένα, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Για το λόγο ότι μετεωρολογικά δεδομένα δεν καταγράφονται από όλους τους υπό μελέτη σταθμούς, επιλέχθηκαν εκείνοι οποίοι συνοδεύονταν τόσο από μετεωρολογικά, όσο και από δεδομένα ρύπανσης. Ωστόσο, επειδή τόσο τα δεδομένα των ρύπων, όσο και τα μετεωρολογικά που λήφθησαν από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ήταν ωριαία, μετετράπησαν σε ημερήσια μορφή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη επεξεργασία τους με τα δεδομένα του δήμου Θεσσαλονίκης. Στη συνέχεια επιλέχθηκε η περίοδος 2001-2005 με σκοπό την ύπαρξη όσο το δυνατόν, περισσότερων κοινών τιμών στις χρονοσειρές των σταθμών και των δύο φορέων.

Εν συνεχεία, συγκεντρώθηκαν για κάθε μήνα του έτους, οι τιμές όλων των δεδομένων (μετεωρολογικών και ρύπων) σε χρονικό βάθος πενταετίας, όπου από εκεί υπολογίστηκαν, οι αντιπροσωπευτικές τιμές του μέσου όρου, του πρώτου και του τρίτου τεταρτημορίου, κάθε μετεωρολογικού παράγοντα ξεχωριστά για κάθε μήνα. Οι παραπάνω τιμές του πρώτου και τρίτου τεταρτημορίου, που εξήχθησαν και οι οποίες βρέθηκαν διαφορετικές για κάθε μήνα, λειτούργησαν σαν τιμές κατωφλίου για κάθε

μετεωρολογικό παράγοντα ανά μήνα ξεχωριστά, βάση των οποίων επιλέχθηκαν οι τιμές όλων των ρύπων. Με κριτήριο λοιπόν, να μην υπερβαίνουν οι τιμές του μετεωρολογικού παράγοντα τη τιμή του πρώτου τεταρτημρίου αυτού, καθώς και του κριτηρίου οι τιμές του ίδιου παράγοντα να υπερβαίνουν την τιμή του τρίτου τεταρτημρίου του ίδιου, συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα όλων των υπό μελέτη ρύπων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για κάθε σταθμό ο οποίος υποστηρίζονταν από τα παραπάνω μετεωρολογικά δεδομένα, ενώ βρέθηκαν και οι τιμές των ρύπων με την ίδια διαδικασία στη θερμή και στην ψυχρή περίοδο του έτους. Ακολούθως περιγράφονται οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν, καθώς και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν για κάθε μετεωρολογικό παράγοντα ξεχωριστά.

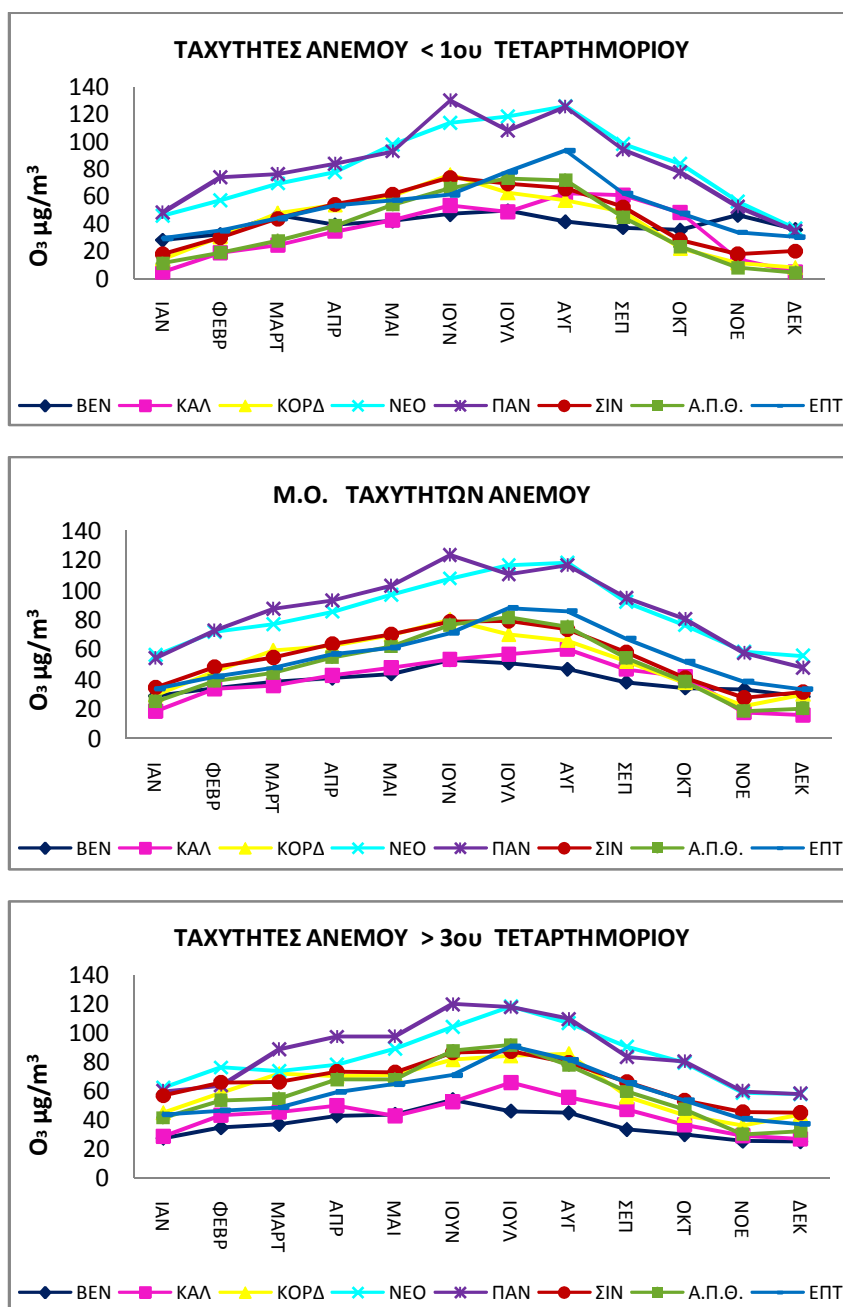
5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ

ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ 2001-2005.

Όπως αναφέρεται και στον τίτλο, στο κομμάτι αυτό θα αναλυθεί η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στους ρύπους. Για το σκοπό αυτό της μελέτης, επιλέχθηκαν σταθμοί οι οποίοι συνοδεύονταν από μετεωρολογικά δεδομένα και παράλληλα διέθεταν δεδομένα ταχύτητας του ανέμου. Αναλυτικά, από τους δώδεκα σταθμούς που συμμετέχουν γενικότερα στη μελέτη, έλαβαν μέρος ειδικά για το συγκεκριμένο σκοπό, οκτώ, έξι από την περιφέρεια και δύο από τον δήμο. Στη συνέχεια, ακολούθησε η διαδικασία της επιλογής τιμών ρύπων (O_3 , NO_x , O_x και CO), με κριτήριο ταχυτήτων ανέμου μικρότερες του 25%, αλλά και μεγαλύτερες του 75% του συνόλου των τιμών του. Ακολούθως, η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε τόσο για την θερμή (Μάιος έως Σεπτέμβριος), όσο και για την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριος έως Μάρτιος) του έτους, ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις των τιμών των ρύπων μεταξύ των δύο περιόδων για τιμές μέσου όρου, κάτω του 25% και πάνω του 75% των τιμών των ταχυτήτων του ανέμου. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων τόσο μεταξύ 1^{ου} και 3^{ου} τεταρτημρίου κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο, όσο και το αντίστροφο, δηλαδή συγκρίσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο ανάλογα με το

τεταρτημόριο. Τα πρώτα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης αποτυπώνονται παρακάτω στο σχήμα 5.1.



ΣΧΗΜΑ 5.1. Εποχική μεταβολή στη συγκέντρωση του O_3 , συναρτήσει της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά την περίοδο 2001-2005.

Συγκεκριμένα στο πρώτο και τρίτο διάγραμμα, απεικονίζεται η ετήσια μεταβολή του O_3 , για τιμές ανέμου μικρότερες του 25% και μεγαλύτερες του 75% του συνόλου των δεδομένων του ανέμου αντίστοιχα, ενώ στο δεύτερο αποτυπώνεται οι μέσες συγκεντρώσεις του ίδιου ρύπου.

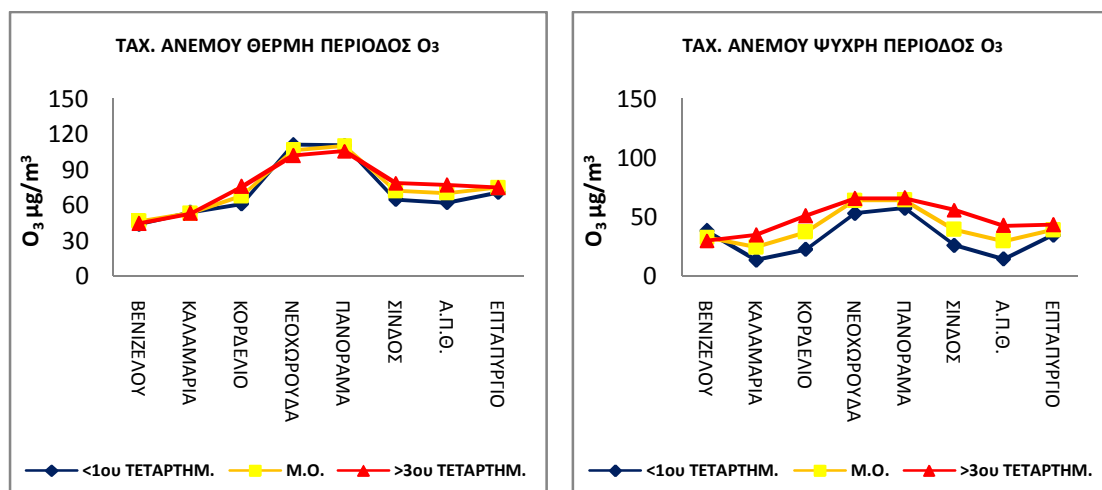
Έκ πρώτης όψεως, αυτό που είναι κοινό και στα τρία διαγράμματα και το οποίο είναι τεκμηριωμένο και σε άλλα μέρη της εργασίας αυτής, είναι ότι οι περιαστικοί σταθμοί Πανοράματος κατά κύριο λόγο και Νεοχωρούδας κατά δευτερεύοντα, κρατούν τα ηνία των μεγίστων συγκεντρώσεων ανεξαρτήτως της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με όλους τους υπολοίπους σταθμούς. Αντίστοιχα, το ελάχιστο εναλλάσσεται ανάμεσα στον σταθμό της Βενιζέλου κυρίως και τον σταθμό της Καλαμαριάς. Η παραπάνω διαπίστωση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν επηρεάζει την επιλογή του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές συγκέντρωσης του O_3 , αφού οι περιαστικοί σταθμοί καταγράφουν την μέγιστη ενώ από την άλλη οι περιαστικοί την ελάχιστη τιμή του O_3 , ανεξαρτήτως των μεταβολών του ανέμου. Επίσης, ανεξαρτήτως του εν λόγω μετεωρολογικού παράγοντα, οι ακρότατες τιμές εμφανίζονται την ίδια περίοδο (την θερινή το μέγιστο και την χειμερινή το ελάχιστο), γεγονός που αποκλείει τη σύνδεση της εποχικότητας εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών O_3 με την ταχύτητα του ανέμου.

Η διαπίστωση αυτή τεκμηριώνεται και από το σχήμα 5.2, όπου διακρίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο συναρτήσει των μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου. Συγκεκριμένα, από την σύγκριση των τιμών της συγκέντρωσης του O_3 εξάγονται κάποια συμπεράσματα. Πρώτον, παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις του O_3 , αυξάνονται όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι τόσο κατά την ψυχρή όσο και κατά την θερμή περίοδο, σε όλους τους σταθμούς με ορισμένες εξαιρέσεις. Εξαιρέσεις στην διαπίστωση αυτή, αποτελούν οι περιαστικοί σταθμοί Πανοράματος και Νεοχωρούδας, καθώς και ο σταθμός της Βενιζέλου.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις, έρχονται σε αντίθεση με την κοινή λογική, σύμφωνα με την οποία οι συγκεντρώσεις γενικότερα των ρύπων αυξάνονται όταν επικρατούν χαμηλές ταχύτητες ανέμου ή ακόμη και άπνοια. Ωστόσο, το παραπάνω φαινόμενο αύξησης των συγκεντρώσεων του O_3 όταν επικρατούν άνεμοι μεγάλης ισχύος, συμβαίνει για έναν και μόνο λόγο, ο οποίος εξηγείται αναλυτικά παρακάτω.

Άνεμοι μεγάλης έντασης παρασύρουν τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα πάνω από την πόλη αντικαθιστώντας την με αέριες μάζες, από την μία απελευθερωμένες από ρύπους των κατηγοριών NO_x και CO , αλλά από την άλλη επιβαρυνμένες με O_3 , δεδομένου ότι ο καθαρός αέρας φέρει μαζί του μεγάλες ποσότητες όζοντος. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η παρατήρηση μεγαλύτερων συγκεντρώσεων όζοντος κατά

την πνοή ανέμων μεγάλης έντασης την θερμή περίοδο για όλους τους αστικούς σταθμούς, πλην της Βενιζέλου. Ο σταθμός της Βενιζέλου αν και αστικός σταθμός, εμφανίζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις O_3 για ανέμους μικρής ισχύος γεγονός που αιτιολογείται, σύμφωνα με το ότι ο συγκεκριμένος σταθμός τυγχάνει έλλειψης επαρκούς εξαερισμού λόγω της θέσης του. Ως εκ τούτου, οι συγκεντρώσεις των ρύπων του, είναι ανεξάρτητες των μεταβολών του ανέμου.



ΣΧΗΜΑ 5.2. Μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά το διάστημα 2001-2005.

Από την άλλη την ίδια περίοδο, οι περιαστικοί σταθμοί Νεοχωρούδας και Πανοράματος, δείχνουν αντίθετη εικόνα από τους αστικούς σταθμούς και εμφανίζουν ελαφρά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος κατά την πνοή χαμηλών εντάσεων ανέμων. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν πνέουν άνεμοι μεγάλης έντασης, παρασύρουν το O_3 που έχει συσσωρευτεί στις περιοχές αυτές και η αέρια μάζα που αντικαθιστά την παλαιότερη, αν και φέρει μαζί της ποσότητες όζοντος, είναι πολύ φτωχότερη σε σχέση με την ποσότητα O_3 που προϋπήρχε. Καταυτό το τρόπο, κατανοείται ότι ο ισχυρός άνεμος που πνέει στις αστικές περιοχές ουσιαστικά εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα με O_3 , ενώ ο αντίστοιχος άνεμος στις περιαστικές περιοχές υποβαθμίζει την συγκέντρωση του O_3 .

Την ψυχρή περίοδο, παρατηρείται σχεδόν καθολικό καθεστώς μεγαλύτερων συγκεντρώσεων O_3 στις υψηλές ταχύτητες ανέμου, σε όλους τους σταθμούς (αστικούς-περιαστικούς), με εξαίρεση μόνο το σταθμό της Βενιζέλου που όπως αναφέρθηκε, οι συγκεντρώσεις των ρύπων του είναι ανεξάρτητες των μεταβολών της

παραπάνω παραμέτρου. Αυτό που προβληματίζει, είναι ότι στην ψυχρή περίοδο, διακρίνεται ότι και οι περιαστικοί σταθμοί εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος κατά την επίδραση ισχυρών ανέμων, σε αντίθεση με την θερμή. Ωστόσο η εξήγηση μπορεί να δοθεί σύμφωνα με τα παρακάτω.

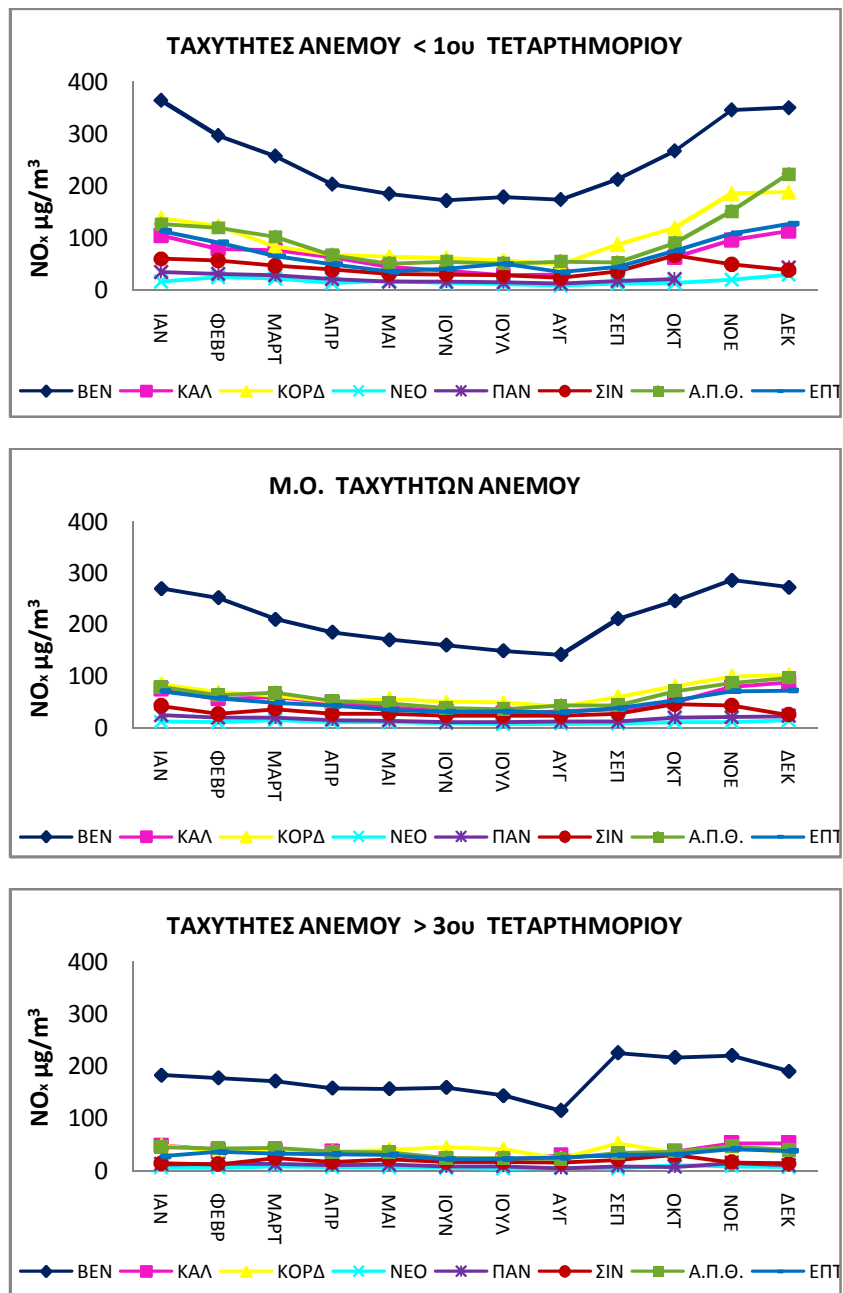
Την θερμή περίοδο, αυξάνονται οι συγκεντρώσεις του όζοντος για το λόγο ότι επικρατούν συνθήκες ηλιοφάνειας που ευνοούν φωτοχημικές αντιδράσεις και κατά συνέπεια τη δημιουργία όζοντος. Την ψυχρή περίοδο γενικότερα, το όζον που παράγεται είναι λιγότερο από αυτό που παράγεται τη θερμή, λόγω της έλλειψης του στοιχείου της ηλιοφάνειας, καθώς και της μεγαλύτερης έκτασης καταστροφής του από τις περισσότερες εκλύσεις NO (*Lin et al., 2009*). Όπως διακρίνεται και στο σχήμα 5.3 οι συγκεντρώσεις του O₃ την ψυχρή, είναι υποδιπλάσιες των συγκεντρώσεων τη θερμή περίοδο σε όλους τους σταθμούς. Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι αντικαθιστούν τις παλαιότερες μάζες με νέες, οι οποίες όμως την ψυχρή περίοδο, φέρουν όζον με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες ακόμη και από τις προϋπάρχουσες στους περιαστικούς σταθμούς. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση της συγκέντρωσης όζοντος σ'αυτούς, όταν πνέουν άνεμοι με υψηλές ταχύτητες. Δεχόμενοι ότι η συγκέντρωση του O₃ αυξάνεται την θερμή και ελαττώνεται την ψυχρή περίοδο, στον αέρα που αντικαθιστά τις ήδη υπάρχουσες αέριες μάζες στους περιαστικούς σταθμούς, τότε φτάνει κάποιος στο παρακάτω συμπέρασμα. Την θερμή περίοδο ο μηχανισμός που εμπλουτίζει με O₃ τους περιαστικούς σταθμούς είναι ο φωτοχημικός μηχανισμός δημιουργίας όζοντος, ενώ την ψυχρή περίοδο υπερτερεί ο μηχανισμός εμπλούτισης O₃ μέσω του μηχανισμού της παραμέτρου του ανέμου δεδομένου ότι την ψυχρή περίοδο οι φωτοχημικές αντιδράσεις είναι πολύ περιορισμένες. Στους αστικούς σταθμούς, ο μηχανισμός που υπερτερεί ανάμεσα στους δύο προαναφερθέντες, είναι η ταχύτητα του ανέμου, δεδομένου ότι η συγκέντρωση του O₃ αυξάνει αναλογικά αυτής τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο.

Ωστόσο, εκτός των παραπάνω διαπιστώσεων, επιτακτική ανάγκη θεωρείται να αναφερθούν δύο ακόμη. Κατα πρώτον, οι περιαστικοί σταθμοί δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου αναφορικά με το O₃ όσο οι αστικοί σταθμοί, δεδομένου ότι δεν διακρίνεται να υπάρχει μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις του O₃ κατά την επίδραση ισχυρών και ασθενών ανέμων σαυτούς, σε αντίθεση με τους αστικούς. Κατα δεύτερον, η ταχύτητα του ανέμου επιδρά

περισσότερο στην συγκέντρωση του O_3 την ψυχρή περίοδο έναντι της θερμής, όσον αφορά τους αστικούς σταθμούς, ενώ δεν εντοπίζεται κάποια σημαντική διαφορά ως προς την δράση του ανέμου στο όζον των περιφερειακών σταθμών, ανάμεσα στις δύο περιόδους. Ολοκληρώνοντας την ανάλυση, συνοψίζεται ότι η συγκέντρωση του O_3 στους περιφερειακούς σταθμούς αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα της ταχύτητας του ανέμου την θερμή περίοδο, ενώ την ψυχρή η ίδια συγκέντρωση αυξάνεται ανάλογα της ταχύτητας του ανέμου. Αντίθετα αναφορικά με την συγκέντρωση του O_3 στους αστικούς σταθμούς παρατηρείται αναλογία αύξησης της ταχύτητας, τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο.

Μετά την εκτενή ανάλυση στο όζον, είναι ανάγκη να αναλυθεί και η συμπεριφορά των NO_x στην επίδραση του ανέμου. Στο σχήμα 5.3 διακρίνονται τα διαγράμματα της ετήσιας μεταβολής των NO_x , για όλους τους σταθμούς και για διάφορες διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου. Από το παρακάτω σχήμα, διακρίνεται πολύ καθαρά, ότι ο σταθμός της Βενιζέλου είναι ο σταθμός με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις NO_x , ενώ στον αντίποδα οι σταθμοί με τις μικρότερες συγκεντρώσεις οξειδίων αζώτου, είναι οι περιφερειακοί σταθμοί του Πανοράματος και Νεοχωρούδας. Όπως προέκυψε και για το O_3 , οι σταθμοί που διατηρούν τα μέγιστα και τα ελάχιστα των συγκεντρώσεων NO_x για χαμηλές τιμές ταχύτητας ανέμου, παραμένουν οι ίδιοι και για αντίστοιχα υψηλές ταχύτητες ανέμου, γεγονός που υποδεικνύει ότι ταχύτητα αυτής της παραμέτρου, δεν επιδρά ως προς την επιλογή του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές συγκέντρωσης των NO_x .

Επιπλέον αυτό που διακρίνεται, είναι ότι και η εποχικότητα εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών, παραμένει αμετάβλητη σε όλους τους σταθμούς, αφού σε όλους παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων την ψυχρή (Δεκέμβριος-Ιανουάριος) και μείωση αυτών την θερμή περίοδο (Ιούλιος-Αύγουστος) του έτους, ανεξάρτητα της επικράτησης ισχυρών ή ασθενών ανέμων. Μοναδική εξαίρεση, ο σταθμός της Βενιζέλου, μόνο ως προς τη χρονική μεταβολή της μέγιστης τιμής των NO_x , αλλά χωρίς καμία μεταβολή ως προς την ελάχιστη που εμφανίζεται κανονικά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, όπως και στους υπολοίπους σταθμούς. Ο σταθμός της Βενιζέλου, είναι ο μόνος σταθμός που δείχνει να εμφανίζει μέγιστη τιμή NO_x τον Σεπτέμβριο, με $225 \mu g/m^3$ έναντι των Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου $191 \mu g/m^3$ και $183 \mu g/m^3$ αντίστοιχα, που είναι οι μήνες που παρουσιάζουν τα μέγιστα οι υπόλοιποι σταθμοί.

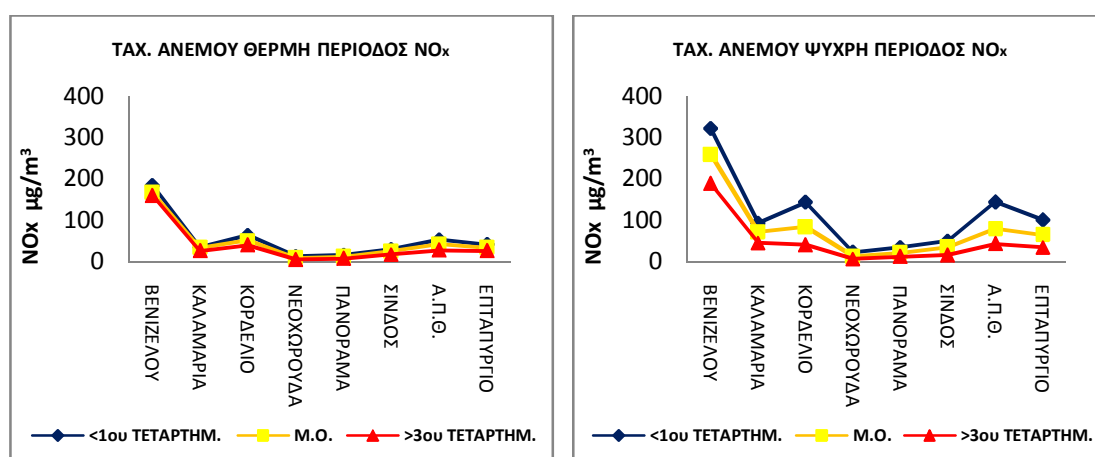


ΣΧΗΜΑ 5.3. Εποχική μεταβολής στη συγκέντρωση των NO_x συναρτήσει της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά την περίοδο 2001-2005.

Η διαπίστωση αυτή, πολύ πιθανόν να οφείλεται στην φωτοχημεία. Όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι, αποδεσμεύουν την ατμόσφαιρα από οξείδια του αζώτου αν και ο συγκεκριμένος σταθμός υπολείπεται εξαερισμού. Δεδομένης της περιόδου, Σεπτέμβριος, όπου οι φωτοχημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με μεγαλύτερη συχνότητα απ'ότι την ψυχρή περίοδο, καθώς και της υψηλής συγκέντρωσης σε NO

στη Βενιζέλου, ακόμη και για ισχυρούς ανέμους, το O_3 που φτάνει με τον καθαρό αέρα καταστρέφεται (εξού και η μεγάλης μείωσης του όζοντος που παρατηρείται τον Σεπτέμβριο για μεγάλες ταχύτητες ανέμων σχήμα 5.1), και μετατρέπεται σε NO_2 . Αθροίζοντας τις συγκεντρώσεις των NO και NO_2 που συνιστούν τα NO_x κατανοείται ποιος είναι ο λόγος εμφάνισης του μεγίστου των NO_x τον Σεπτέμβριο στη Βενιζέλου όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι.

Προχωρώντας στο διάγραμμα 5.4, διαπιστώνεται ότι γενικά είτε επιδρά ισχυρώς ο άνεμος, είτε ασθενώς, αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου, παραμένουν μεγαλύτερες κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Το γεγονός αυτό οφείλεται προφανώς στην επίδραση της έντασης του ανέμου στην συγκέντρωση των NO_x , κυρίως την ψυχρή και πολύ λίγο στην θερμή περίοδο όπως ομοίως παρατηρήθηκε και για το O_3 . Από το ίδιο διάγραμμα, ξεκαθαρίζεται ότι η συμβολή του ανέμου στη μεταβολή της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου είναι ελάχιστη την θερμή σε αντίθεση με την ψυχρή περίοδο, όπου αντίθετα ο ρόλος του είναι καθοριστικός στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων. Αυτό οφείλεται στις μικρότερες ούτως ή άλλως τιμές των NO_x την θερμή περίοδο, λόγω της μείωσης των εκλύσεων αυτών των ρύπων από τις διάφορες πηγές. Παρατηρείται λοιπόν, ότι όλοι οι σταθμοί έχουν παρόμοιες τιμές την θερμή περίοδο, ανεξάρτητα της επίδρασης του ανέμου. Ειδικότερα, οι τιμές στους περιφερειακούς σταθμούς, δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τον άνεμο, δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις των NO_x σαυτούς, είναι ούτως ή άλλως περιορισμένες.

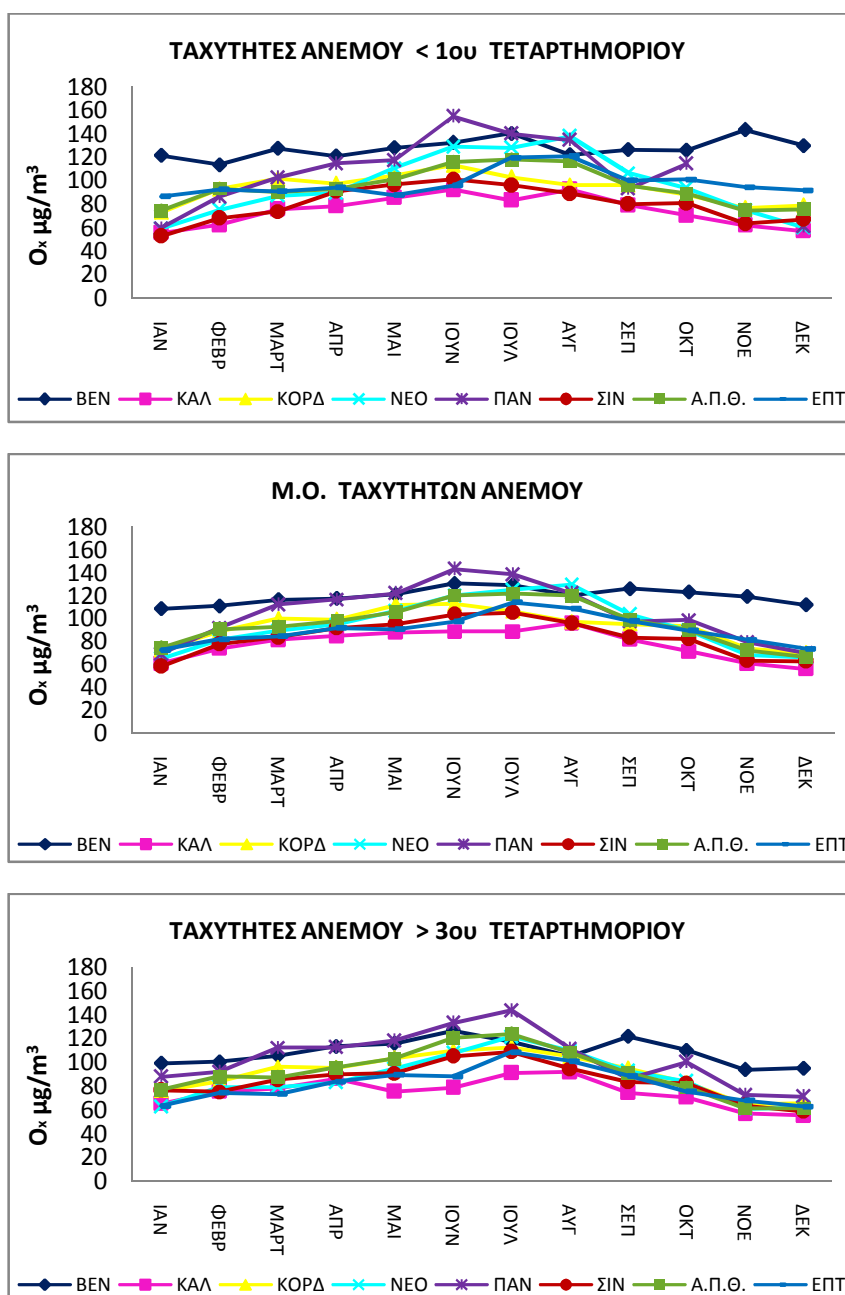


ΣΧΗΜΑ 5.4. Μεταβολές στη συγκέντρωση των NO_x , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά το διάστημα 2001-2005.

Σε αντίθεση βέβαια με τη θερμή, η ψυχρή περίοδος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις μεταβολές των NO_x σε όλους τους σταθμούς, με τους περιαστικούς να αποτελούν εξαίρεση για τον παραπάνω λόγο. Στους αστικούς σταθμούς λοιπόν κυρίως, παρατηρείται ότι όταν πνέουν ασθενείς άνεμοι, οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου αυξάνονται κατακόρυφα, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατόν να ξεκινήσουν μηχανισμοί απομάκρυνσης των ρύπων, με αποτέλεσμα τη συμπίκνωση αυτών στην ατμόσφαιρα. Από την άλλη, όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι, οι αστικές περιοχές αποδεσμεύονται από τους συγκεκριμένους ρύπους, οι μηχανισμοί απομάκρυνσης αποδίδουν τα μέγιστα και το αστικό περιβάλλον «καθαρίζεται» σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις ίδιες περιοχές με το O_3 .

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αποσαφηνιστεί, ότι ο άνεμος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση των NO_x από το αστικό περιβάλλον κυρίως την ψυχρή περίοδο και πολύ σε μικρότερο βαθμό την θερμή. Ο ίδιος παράγοντας, παρουσιάζει πολύ μικρή επίδραση στο περιαστική κλίμακα καθόλο το έτος, μιας και εμφανίζεται μικρή αύξηση των NO_x κατά την επικράτηση ισχυρών ανέμων. Η μικρή επίδραση οφείλεται στο γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις των οξειδίων, αποτελούν ούτως ή άλλως μειονότητα λόγω των μειωμένων εκλύσεων σε NO_x στις περιοχές εκτός πόλης. Ολοκληρώνοντας την ανάλυση, αναφέρεται ότι η συγκέντρωση των NO_x στους αστικούς σταθμούς, αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα της ταχύτητας του ανέμου κυρίως την ψυχρή περίοδο και πολύ λιγότερο την θερμή, αφού στην δεύτερη προαναφερθείσα περίοδο, οι τιμές συγκέντρωσης τους διαφοροποιούνται ελάχιστα κατά τις μεταβολές του ανέμου.

Προχωρώντας παρακάτω, ακολουθεί η ανάλυση της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου στα O_x . Στο σχήμα 5.5, παρατίθενται οι εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση των O_x , συναρτήσει υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων ανέμου. Από τα διαγράμματα παραπάνω, διαφαίνεται ότι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης O_x , καταγράφεται σε διαφορετικούς σταθμούς, συναρτήσει των αυξομειώσεων της ισχύος του ανέμου, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο για την ελάχιστη. Συγκεκριμένα, όταν πνέουν ασθενείς άνεμοι, ο σταθμός που συγκεντρώνει το μέγιστο των συγκεντρώσεων για την περίοδο (Ιανουάριος-Μάιος) και (Αυγустος-Ιανουάριος) είναι ο σταθμός της Βενιζέλου, ενώ για την περίοδο (Μάιος-Ιούλιος) ο σταθμός του Πανοράματος.



ΣΧΗΜΑ 5.5. Εποχική μεταβολή στη συγκέντρωση των O_3 , συναρτήσει της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά την περίοδο 2001-2005.

Αντίθετα κατά την επίδραση ισχυρών ανέμων, το μέγιστο εντοπίζεται για μεγαλύτερο διάστημα (μέσα Φεβρουαρίου-Αυγустος) στο σταθμό του Πανοράματος και για μικρότερο διάστημα (Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος), στο σταθμό της Βενιζέλου. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και για το ελάχιστο μεταξύ των σταθμών Καλαμαριάς και Σίνδου, διότι οι ασθενείς άνεμοι ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης των NO_x και κατά συνέπεια την αύξηση του NO_2 , ενώ οι ισχυροί την αντίστοιχη αύξηση του O_3 . Επιπλέον το NO_2 περιέχεται σε μεγαλύτερη αναλογία από

το O_3 στα O_x των αστικών σταθμών κυρίως την ψυχρή περίοδο, ενώ αντίθετα το O_3 περιέχεται σε μεγαλύτερη αναλογία από το NO_2 στα O_x των περιαστικών σταθμών. Αυτό σημαίνει ότι τα O_x των αστικών και περιαστικών σταθμών επηρεάζονται διαφορετικά από την ταχύτητα του ανέμου αναλόγως της περιόδου (θερμή-ψυχρή). Αν ληφθούν υπόψιν τα παραπάνω, κατανοείται ο λόγος της εναλλαγής των σταθμών (αστικοί-περιαστικοί) που καταγράφουν την μέγιστη τιμή των O_x .

Ωστόσο, παρά την εξάρτηση του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης των O_x από τις μεταβολές του ανέμου, ανεξάρτητη της ισχύος του παραπάνω μετεωρολογικού παράγοντα, παρουσιάζεται να είναι η εποχικότητα στην εμφάνιση των ακρότατων τιμών σε όλους τους σταθμούς. Συγκεκριμένα, μέγιστο παρουσιάζεται τους καλοκαιρινούς μήνες μεταξύ Ιουνίου και Αυγούστου ενώ ελάχιστο τους χειμερινούς μήνες Δεκέμβριο-Ιανουάριο

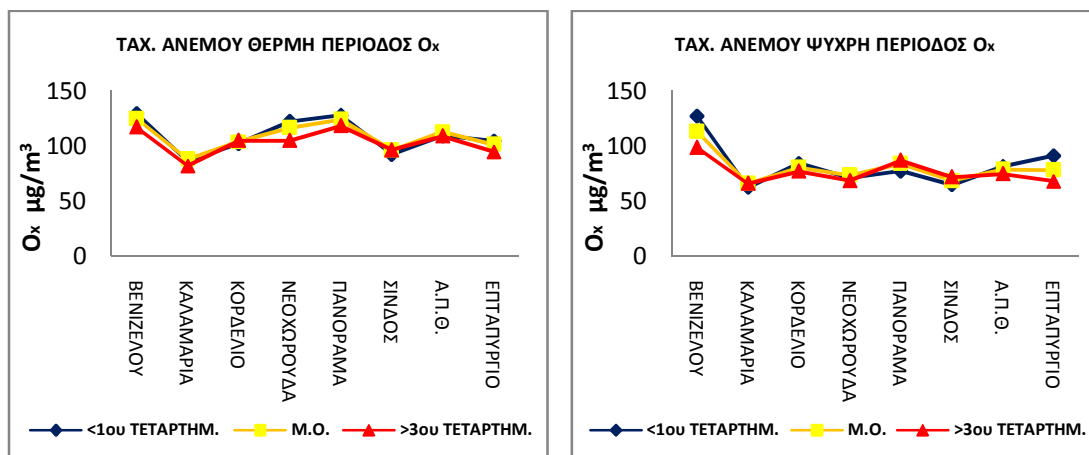
Όπως πιστοποιείται και από το σχήμα 5.6, διακρίνεται ότι την θερμή περίοδο, παρατηρούνται μεταβολές στις συγκεντρώσεις των O_x κυρίως στους περιαστικούς σταθμούς και λιγότερο στους αστικούς, με εξαιρέσεις την Βενιζέλου και το Επταπύργιο. Από το διάγραμμα την θερμή περίοδο διακρίνεται ότι η μείωση της ισχύος του ανέμου υπομοχλεύει την αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου που εξετάζεται κυρίως στους περιαστικούς σταθμούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην σύσταση των O_x , στην συγκέντρωση του O_3 στους περιαστικούς και στο θετικό αντίκτυπο που έχει στη συγκέντρωση του ρύπου αυτού η μείωση της ισχύος του ανέμου. Δεδομένου του αυξημένου ποσοστού σε O_3 που παρουσιάζεται στη συγκέντρωση των O_x ιδιαίτερα τη θερμή περίοδο και της αυξημένης συγκέντρωσης σε O_3 στους περιαστικούς σταθμούς, όταν πνέουν ασθενείς άνεμοι κατανοείται η εικόνα που απαντάται στο διάγραμμα της θερμής περιόδου στο σχήμα 5.6. Από την άλλη, η μικρή αύξηση της συγκέντρωσης των O_x που παρουσιάζεται στο Επταπύργιο και στη Βενιζέλου όταν πνέουν μικρής έντασης άνεμοι, πιθανόν να οφείλεται στην ελαφρά αύξηση του NO_2 που παρατηρείται εκεί. Αυτό συμβαίνει διότι το NO_2 στους αστικούς σταθμούς, υπάρχει σε μεγαλύτερη αναλογία από το O_3 και για το λόγο αυτό, διαμορφώνει την συμπεριφορά των O_x σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με το O_3 .

Στον αντίποδα, την ψυχρή περίοδο παρατηρείται να συμβαίνει το αντίθετο από την θερμή, με αποτέλεσμα οι αστικοί να επηρεάζονται περισσότερο από τους περιαστικούς σταθμούς, με εξαίρεση το σταθμό του Πανοράματος. Από το διάγραμμα

της ψυχρής περιόδου εντοπίζεται, ότι την ψυχρή περίοδο επηρεάζονται περισσότερο οι συγκεντρώσεις των O_x στους αστικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση αυτών αυξάνεται ελαφρώς όταν πνέουν ασθενείς άνεμοι. Η παραπάνω διαπίστωση οφείλεται σε δύο παράγοντες. Ο πρώτος έχει να κάνει με το γεγονός ότι συνήθως στους αστικούς σταθμούς η συγκέντρωση του NO_2 στα O_x είναι μεγαλύτερη από αυτή του όζοντος κυρίως την ψυχρή περίοδο, δεδομένου ότι αυξάνονται οι εκλύσεις του από τις διάφορες πηγές. Ο παραπάνω παράγοντας αν συνδυαστεί με τον παράγοντα του ανέμου, του οποίου η μείωση της ισχύος ευνοεί την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου και συνεπώς και την συγκέντρωση των O_x , κατανοείται ο λόγος που επηρεάζονται περισσότερο από τον εν λόγω παράγοντα, οι συγκεντρώσεις των O_x στους αστικούς σταθμούς την ψυχρή περίοδο.

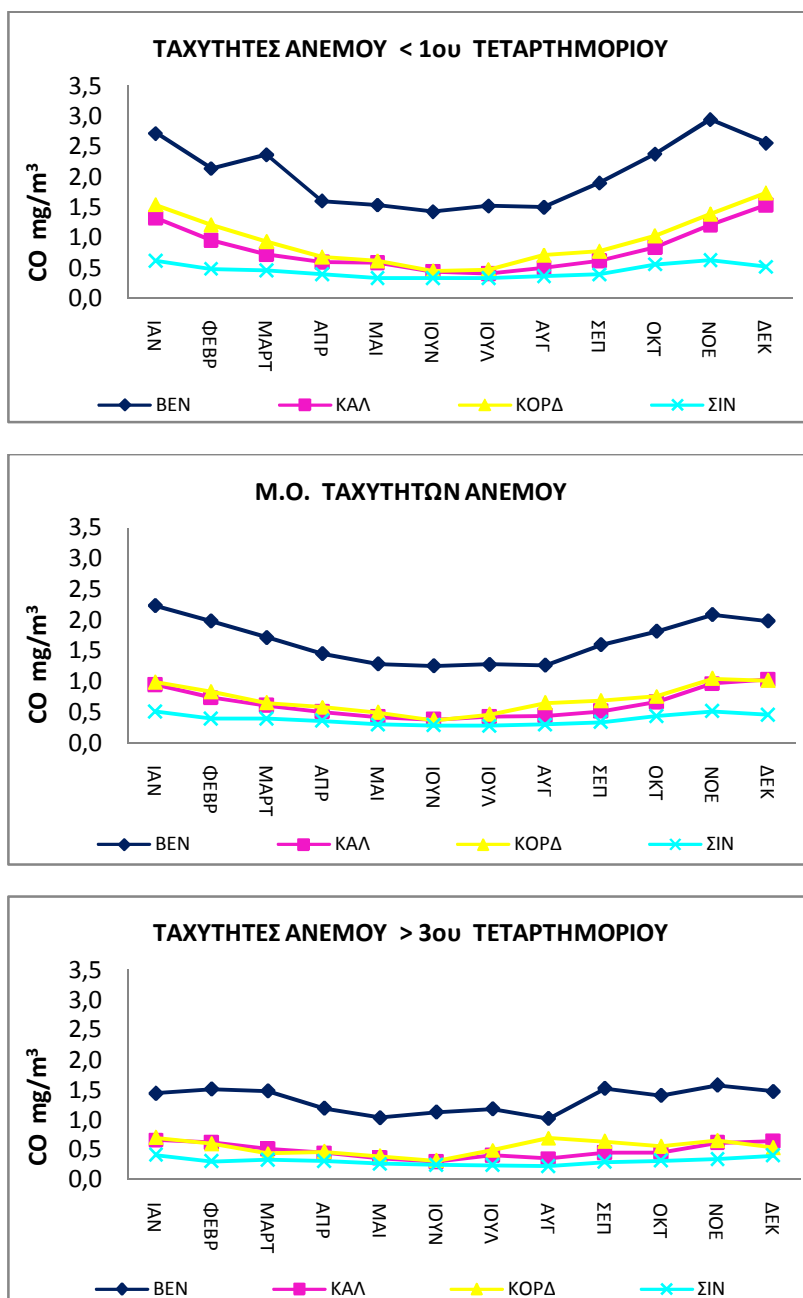
Από την άλλη πλευρά, οι περιαστικοί σταθμοί δεν φαίνεται να επηρεάζονται ιδιαίτερα από τον άνεμο την ψυχρή περίοδο, αφού τόσο οι τιμές των συγκεντρώσεων των O_x στη Νεοχωρούδα όσο και στην Σίνδο, δεν δείχνουν κάποια αξιόλογη μεταβολή. Ωστόσο όπως προαναφέρθηκε, το Πανόραμα εμφανίζει μια πολύ μικρή μεταβολή στην συγκέντρωση των O_x συναρτήσει του ανέμου την ψυχρή περίοδο, παρουσιάζοντας αναλογική αύξηση με την ισχύ του ανέμου. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί πηγή προβληματισμού από την μία, μιας και αποτελεί μεμονωμένη συμπεριφορά σταθμού που δεν υιοθετείται από τους υπολοίπους περιαστικούς σταθμούς και άρα θεωρείται τυχαία.

Συνοψίζοντας, θα πρέπει να αναφερθεί ένα γενικότερο συμπέρασμα που έχει να κάνει με το γεγονός ότι αν και η ταχύτητα του ανέμου επιδρά μόνο στους περιαστικούς σταθμούς την θερμή, ενώ την αντίστοιχη ψυχρή περίοδο η ίδια παράμετρος επιδρά περισσότερο στους αστικούς σταθμούς, εντοπίζονται εξαιρέσεις. Η ύπαρξη των εξαιρέσεων προβληματίζει, δεδομένου ότι δεν βοηθούν στη κατάρτιση μίας ξεκάθαρης εικόνας σχετικά με την συμπεριφορά της συγκέντρωσης των O_x συναρτήσει της έντασης του ανέμου τόσο για τους αστικούς όσο και για τους περιαστικούς σταθμούς ανά περίοδο. Για το λόγο αυτό, στην προσπάθεια να αποσαφηνιστεί το τοπίο, συμπαιράνεται ότι οι εξαιρέσεις αυτές έχουν να κάνουν με την ταυτότητα του ρύπου (O_3, NO_2) που βρίσκεται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση σε κάθε σταθμό και την επίδραση του ανέμου στον εκάστοτε συγκεκριμένο ρύπο.



ΣΧΗΜΑ 5.6. Μεταβολές στη συγκέντρωση των O₃, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά το διάστημα 2001-2005.

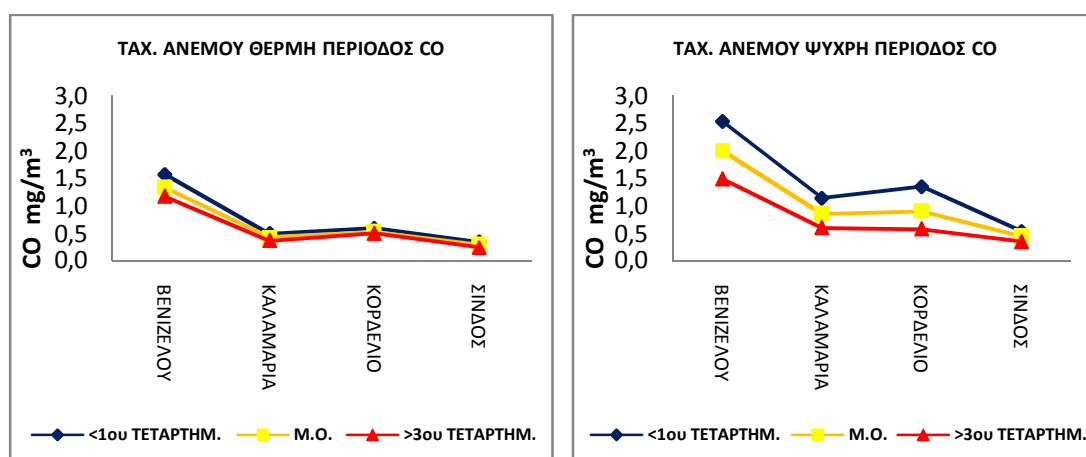
Στο σχήμα 5.7 ακολούθως, διαφαίνονται οι εποχικές μεταβολές του CO για διαφορετικές εντάσεις ανέμου. Από τα διαγράμματα, διαπιστώνεται πως την μέγιστη τιμή όπως είναι φυσικό, κατέχει ο σταθμός της Βενιζέλου, μιας και ο ίδιος σταθμός κατείχε το μέγιστο και για τα NO_x (τα NO_x και το CO εκλύονται συγχρόνως), ενώ την ελάχιστη ο σταθμός της Σίνδου. Για ακόμη μία φορά, επιβεβαιώνεται η απεμπλοκή της έντασης του ανέμου, από την επιλογή των σταθμών στους οποίους καταγράφονται οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες συγκεντρώσεις, καθώς οι μέγιστες τιμές CO καταγράφονται από τους αστικούς σταθμούς και οι ελάχιστες από τους περιαστικούς, ανεξαρτήτως των επιδράσεων των μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου. Επιπρόσθετα, την ίδια εικόνα ακολουθεί και η εποχική εμφάνιση των μεγίστων και ελαχίστων τιμών της συγκέντρωσης του CO, που όπως πιστοποιείται και στο παρακάτω σχήμα, είναι ανεξάρτητη της έντασης των ανέμων με εξαίρεση τη Βενιζέλου σε πλήρη συμφωνία με τα NO_x. Έτσι ενώ όλοι οι σταθμοί (αστικοί-περιαστικοί) εμφανίζουν την μέγιστη τιμή τους τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο-Ιανουάριο και την ελάχιστη τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο, ανεξαρτήτως της κατάστασης του ανέμου, ο σταθμός της Βενιζέλου εμφανίζει το μέγιστο του τον Σεπτέμβριο για ανέμους που πνέουν ισχυρά.



ΣΧΗΜΑ 5.7. Εποχική μεταβολή στη συγκέντρωση των CO, συναρτήσει της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά την περίοδο 2001-2005.

Ολοκληρώνοντας, στο σχήμα 5.8 αναλύονται οι μεταβολές στη συγκέντρωση του CO αναλόγως των της ταχυτήτων του ανέμου την θερμή και ψυχρή περίοδο. Από το διάγραμμα στο εν λόγω σχήμα, διαπιστώνεται ότι την θερμή περίοδο δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα οι συγκεντρώσεις του CO, μιας και την περίοδο αυτή οι εκπομπές είναι ούτως ή άλλως μειωμένες σε όλους τους σταθμούς λόγω της μείωσης των εκλύσεων από πηγές. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός της Βενιζέλου, όπου διαφαίνεται ότι οι μεταβολές του ανέμου τον επηρεάζουν, δεδομένου ότι οι

συγκεντρώσεις του CO αυξάνουν όταν πνέουν άνεμοι χαμηλής έντασης. Στον αντίποδα, την ψυχρή περίοδο όπως και στα NO_x, ο άνεμος διαδραματίζει καθοριστικότερο ρόλο στην αύξηση ή την μείωση των συγκεντρώσεων CO, με εξαίρεση όπως προαναφέρθηκε τους περιστατικούς σταθμούς και συγκεκριμένα τον σταθμό της Σίνδου, ο οποίος λόγω της μικρής περιεκτικότητας του σε CO δεν επηρεάζεται άμεσα. Την ίδια περίοδο στους αστικούς σταθμούς, για ανέμους που πνέουν ασθενώς, η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται, ενώ αντίθετα για ανέμους που πνέουν ισχυρά, η συγκέντρωση μειώνεται λόγω της απομάκρυνσης του συγκεκριμένου ρύπου, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι γενικότερα η απουσία ισχυρών ανέμων οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης του CO στις αστικές περιοχές.



ΣΧΗΜΑ 5.8. Μεταβολές στη συγκέντρωση των CO, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου κατά το διάστημα 2001-2005.

5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΗ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

2001-2005.

Στο πλαίσιο της επίδρασης των μετεωρολογικών παραγόντων που επηρεάζουν τις συμπεριφορές των συγκεντρώσεων των ρύπων στο σκέλος αυτό της μελέτης, εξετάζονται οι μεταβολές που υπόκεινται οι συγκεντρώσεις αυτές κατά την επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου. Για το σκοπό αυτό λήφθηκαν ωριαία δεδομένα ρύπων και διεύθυνσης ανέμου από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, για τούς έξι από τους επτά σταθμούς αυτής, δεδομένου ότι ο σταθμός της Αγ. Σοφίας δεν καλύπτει μετεωρολογικές μετρήσεις. Ο λόγος είναι ότι βρίσκεται μέσα σε οδική χαράδρα που επηρεάζει πολύ ισχυρά το πεδίου του ανέμου, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή, να μην είναι αντιπροσωπευτικές. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τα δεδομένα της δωδεκάτης ώρας της ημέρας για το λόγο ότι, εκείνη την στιγμή ο ήλιος μεσουρανάει και το οριακό στρώμα που μεταβάλλεται συναρτήσει της ηλιοφάνειας, έχει αναπτυχθεί επαρκώς. Από την άλλη, την συγκεκριμένη ώρα έχουν εκλυθεί και δημιουργηθεί μεγάλες ποσότητες πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων, που διευκολύνουν την μελέτη τους. Με αρχή ότι τα δεδομένα της διεύθυνσης του ανέμου καταγράφονταν σε μοίρες που κάλυπταν όλο το αζιμούθιο, η μορφή των οποίων όμως δεν διευκόλυνε στην επεξεργασία, οι μοίρες μετετράπησαν σε διευθύνσεις ανέμου, με ομαδοποίηση σε διαστήματα των 45° ανά διεύθυνση.

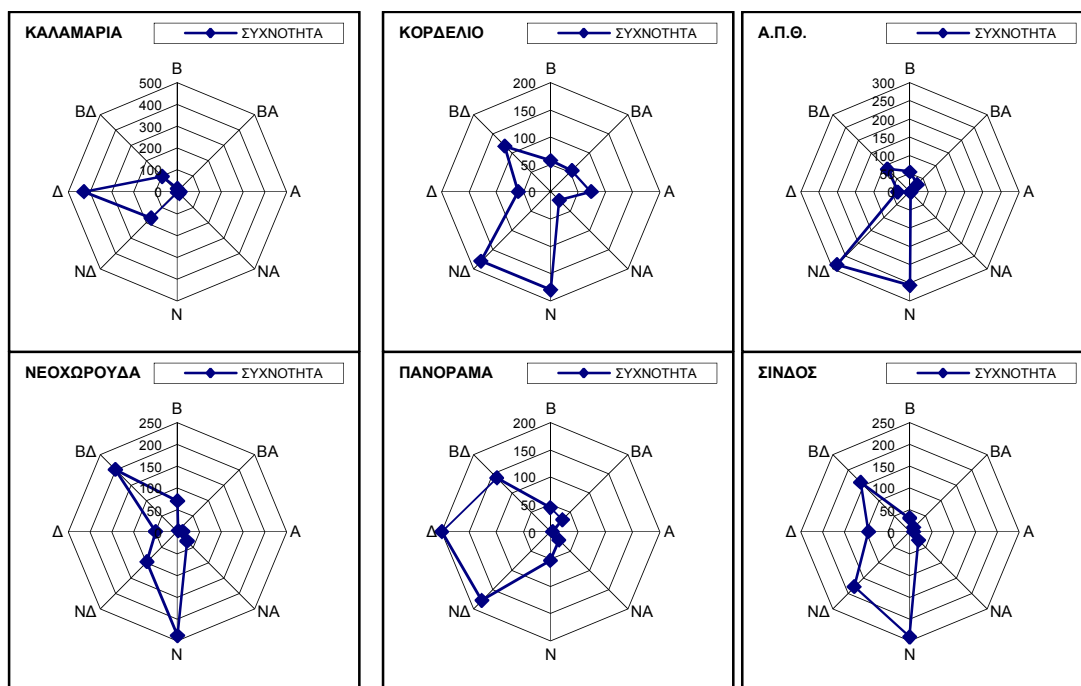
Στη συνέχεια, αφού χωρίστηκαν τα δεδομένα για κάθε μήνα, στο διάστημα της πενταετίας, διαχωρίστηκαν οι συγκεντρώσεις όλων των ρύπων σε οκτώ ομάδες με κριτήριο την διεύθυνση του ανέμου όπου έπνεε στον κάθε σταθμό εκείνη τη στιγμή. Καταυτό τον τρόπο, συγκεντρώθηκαν για κάθε σταθμό και για κάθε ρύπο όλες οι περιπτώσεις εμφάνισης των οκτώ διευθύνσεων του αζιμούθιου. Έχοντας, ομαδοποιημένα δεδομένα συγκέντρωσης ρύπων και συχνότητας ανέμου ανά κατεύθυνση και ανά μήνα, πραγματοποιήθηκε μία ακόμη ομαδοποίηση, κατά την οποία προέκυψαν δύο περίοδοι μελέτης, η θερμή και η ψυχρή περίοδος. Στην πρώτη ομάδα συμπεριλήφθησαν δεδομένα των μηνών Μαΐου-Σεπτεμβρίου ενώ στην δεύτερη, τα δεδομένα μηνών Νοεμβρίου-Μαρτίου. Με δεδομένη την μελέτη της επίδρασης της διεύθυνσης του ανέμου ανά περίοδο, δημιουργήθηκαν ροδογράμματα της συχνότητας εμφάνισης κάθε διεύθυνσης του ανέμου, ροδογράμματα ταχυτήτων

ανέμου σε σχέση επίσης με την διεύθυνση αυτού και ροδογράμματα συγκεντρώσεων όλων των ρύπων για κάθε σταθμό ξεχωριστά, τα οποία και αναλύονται, ακολούθως.

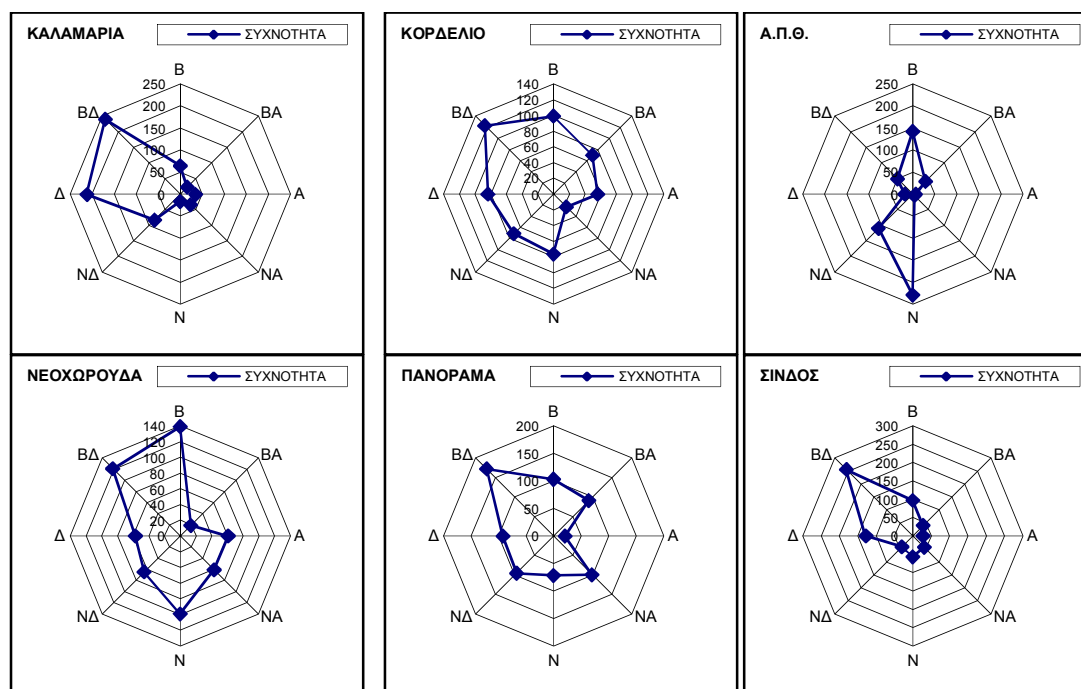
Ξεκινώντας την ανάλυση, πριν παρουσιαστούν τα διαγράμματα των ρύπων που προέκυψαν, κρίνεται αναγκαία η ανάλυση της συχνότητας εμφάνισης κάθε διεύθυνσης ανέμου, καθώς και των ταχυτήτων αυτού ανά διεύθυνση, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, θα χρησιμοποιηθούν για την διευκόλυνση εξαγωγής συμπερασμάτων για τους ρύπους.

Από το σχήμα 5.9 που παρουσιάζονται τα ροδογράμματα συχνότητας εμφάνισης των διευθύνσεων του ανέμου κατά την θερμή περίοδο, διακρίνεται ότι για τους σταθμούς του Πανοράματος και της Καλαμαριάς συχνότερα εμφανίζονται δυτικοί άνεμοι, ενώ για τους υπολοίπους τέσσερις σταθμούς οι διευθύνσεις που εμφανίζονται συχνότερα είναι οι νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις ανέμου. Το γεγονός αυτό, αυτομάτως εξάγει το συμπέρασμα, ότι την θερμή περίοδο πνέουν συχνότερα άνεμοι που περιορίζονται μεταξύ των δυτικών έως και νοτίων διευθύνσεων. Η εμμονή εμφάνισης αυτών των διευθύνσεων ανέμου, πιθανότατα να οφείλεται στη θαλάσσια αύρα, που πνέει από τις παράκτιες περιοχές προς τις ηπειρωτικές. Αυτό αναφέρεται, δεδομένου ότι κατά πρώτον, η αύρα πνέει σε δύο συνιστώσες διεύθυνσης, την νότια και την νοτιοδυτική, οι οποίες εμφανίζονται συχνότερα στα ροδογράμματα και κατά δεύτερον, ότι η ίδια σαν φαινόμενο δραστηριοποιείται την θερμή περίοδο κυρίως. (Σαχσαμάνογλου, 1976;Κοντογιάννη 2008).

Από το σχήμα 5.10, όπου παρουσιάζονται ροδογράμματα συχνότητας εμφάνισης διευθύνσεων ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο, παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των σταθμών, εμφανίζονται βορειοδυτικοί άνεμοι. Συγκεκριμένα στους σταθμούς Καλαμαριάς, Κορδελιού, Πανοράματος, Σίνδου και Νεοχωρούδας, πνέουν συχνότερα βορειοδυτικοί άνεμοι, με τον σταθμό της Νεοχωρούδας να εμφανίζεται επιπλέον και βόρειος άνεμος. Το γεγονός αυτό δεν είναι τυχαίο, αφού την ψυχρή περίοδο πνέει συχνότερα ο Βαρδάρης ο οποίος είναι ένας ψυχρός άνεμος με βόρεια προέλευση. Μοναδική εξαίρεση από τους έξι σταθμούς, ο σταθμός του Α.Π.Θ. όπου η διεύθυνση του ανέμου παρουσιάζει μεγάλη εμμονή σε δύο αντιδιαμετρικές διευθύνσεις, την νότια κατά πρώτο λόγο και την βόρεια κατά δεύτερο.



Σχήμα 5.9. Ροδογράμματα συχνότητας εμφάνισης διευθύνσεων του ανέμου στους σταθμούς κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.



Σχήμα 5.10 . Ροδογράμματα συχνότητας εμφάνισης διευθύνσεων του ανέμου, στους σταθμούς κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

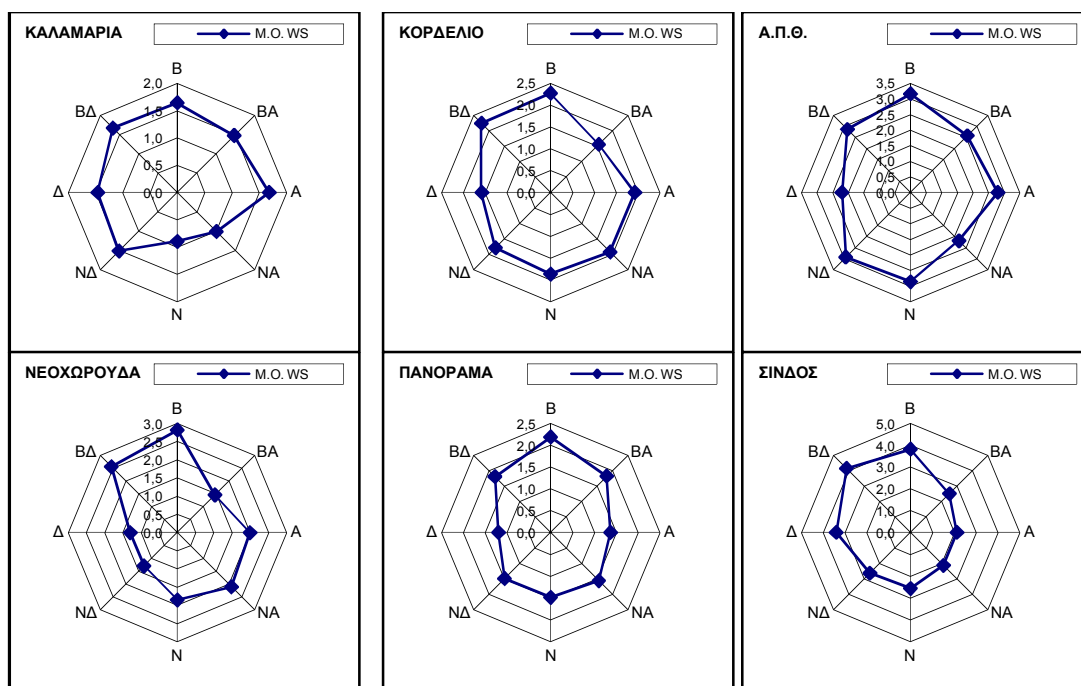
Από την μελέτη και των 6 ροδογραμμμάτων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι με εξαίρεση το σταθμό του Α.Π.Θ., την ψυχρή περίοδο, εμφανίζονται συχνότερα άνεμοι που πνέουν σε βορειοδυτικές και βόρειες διευθύνσεις.

Στη συνέχεια όπως αναφέρθηκε παραθέτονται τα ροδογράμματα που προέκυψαν για την ταχύτητα του ανέμου κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο.

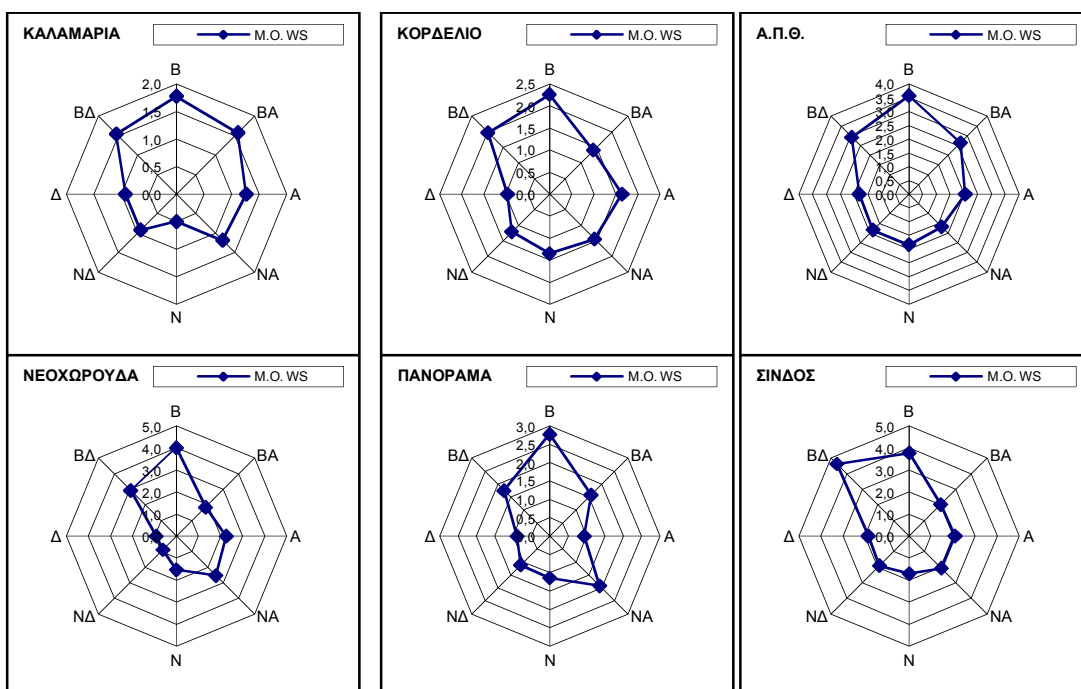
Από το σχήμα 5.11 παρατηρείται ότι, με εξαίρεση το σταθμό της Καλαμαριάς (στις νότιες και νοτιοανατολικές διευθύνσεις πνέουν πολύ ασθενείς άνεμοι), σε όλους τους σταθμούς, διακρίνεται η τάση εμφάνισης μεγαλύτερων τιμών ανέμου στις βόρειες και βορειοδυτικές διευθύνσεις κατά την θερμή περίοδο. Αν και όπως προέκυψε παραπάνω, μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης διευθύνσεων καταγράφεται για νότιους και νοτιοδυτικούς ανέμους, αυτό δεν φαίνεται να επηρεάζει την εμφάνιση ισχυρότερων ανέμων, στις βόρειες και βορειοδυτικές συνιστώσες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι νότιοι νοτιοδυτικοί άνεμοι χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες που συχνά δεν ξεπερνούν τα 1-2 m/s ενώ αντίθετα οι βόρειοι βορειοδυτικοί και βορειοανατολικοί άνεμοι είναι πιο ισχυροί. (Φλόκας, 1997).

Από το σχήμα 5.12 παρατηρείται, ότι η εικόνα που παρατηρήθηκε για την θερμή περίοδο, την ψυχρή γίνεται ακόμη εντονότερη, με τους ανέμους να εμφανίζονται πολύ ισχυρότεροι σε σχέση με όλες τις διευθύνσεις, κατά προτίμηση στις βόρειες βορειοδυτικές και βορειοανατολικές διευθύνσεις. Το φαινόμενο να παρουσιάζονται εντονότεροι άνεμοι στις παραπάνω διευθύνσεις σε μεγαλύτερη έκταση την ψυχρή σε σχέση με την θερμή περίοδο, οφείλεται σε δύο παράγοντες. Κατά πρώτον ότι την ψυχρή περίοδο εμφανίζονται συχνότερα βόρειοι-βορειοδυτικοί άνεμοι και κατά δεύτερον ότι στις συγκεκριμένες διευθύνσεις οι άνεμοι πνέουν ισχυρότερα σε σχέσεις με τις υπόλοιπες.

Αφού αναλύθηκαν τα ροδογράμματα που αφορούν την συχνότητα εμφάνισης των διευθύνσεων των ανέμων και με δεδομένο ότι προέκυψαν κάποια συμπεράσματα που θα βοηθήσουν στην ανάλυση της συμπεριφοράς των ρύπων στην επίδραση του ανέμου, ακολούθως παρουσιάζονται τα ροδογράμματα που αφορούν τις συγκεντρώσεις του O_3 σε σχέση με την επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου.

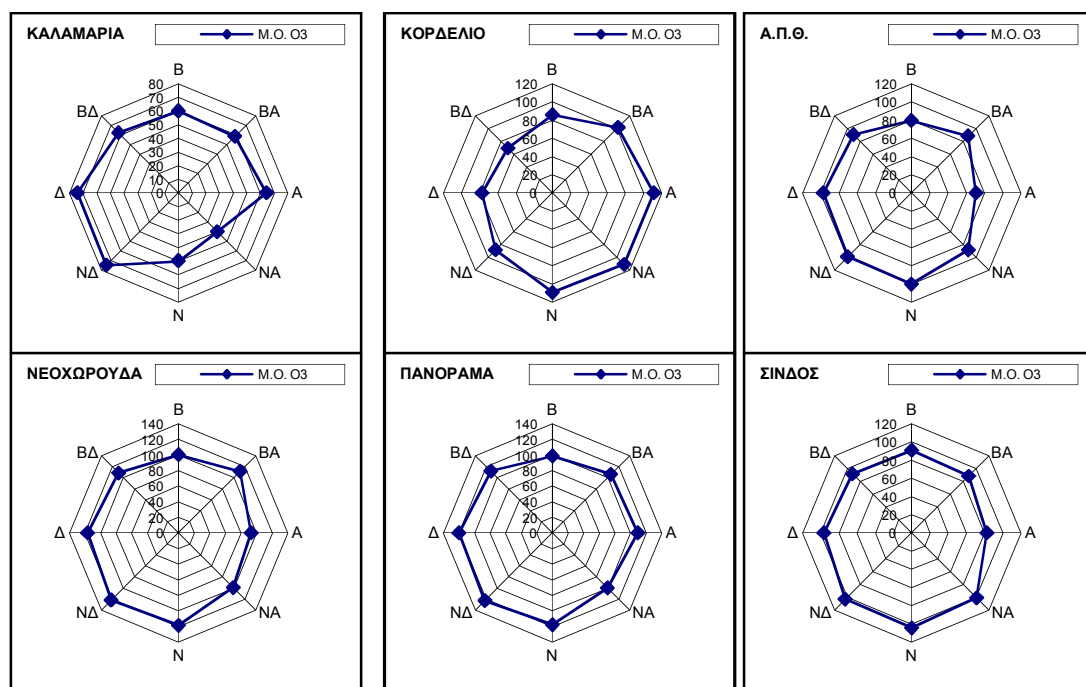


Σχήμα 5.11 Ροδογράμματα ταχύτητας ανέμου, στους σταθμούς συναρτήσεως της διεύθυνσης του ανέμου κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

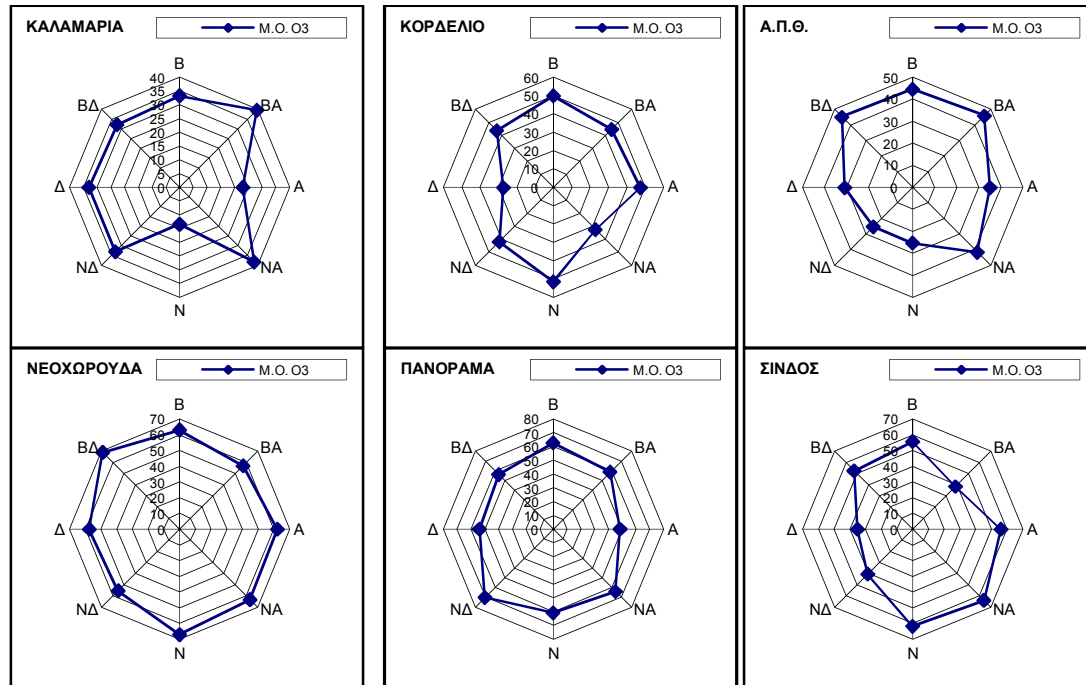


Σχήμα 5.12 Ροδογράμματα ταχύτητας ανέμου, στους σταθμούς συναρτήσεως της διεύθυνσης του ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

Από το σχήμα 5.13 πιστοποιείται ότι κατά την θερμή περίοδο, δεν διακρίνεται να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου κατά την οποία οι σταθμοί να εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις O_3 . Αναλυτικά, για τον σταθμό της



Σχήμα 5.13. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων O_3 ($\mu g/m^3$) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.



Σχήμα 5.14. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων O_3 ($\mu g/m^3$) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

Καλαμαριάς, διακρίνεται να υπάρχει μία ομοιομορφία ως προς τη συγκέντρωση του O_3 προς όλες τις διευθύνσεις εκτός από μίας μικρής μείωσης αυτής, στις νότιες και νοτιοανατολικές διευθύνσεις.

Εάν ελεγχθεί το ροδόγραμμα της ταχύτητας του ανέμου για τον ίδιο σταθμό, παρουσιάζεται η ίδια ακριβώς εικόνα γεγονός που μαρτυρά ότι η μείωση αυτή, δεν οφείλεται σε υψηλές ταχύτητες στις συγκεκριμένες διευθύνσεις. Εάν διαδραμάτιζε κάποιο ρόλο η ταχύτητα, θα έπρεπε να εμφανίζονταν υψηλές συγκεντρώσεις O_3 στις διευθύνσεις αυτές, γεγονός όμως που διαψεύδεται από το αντίστοιχο ροδόγραμμα. Αντίθετα εάν ελεγχθεί το αντίστοιχο ροδόγραμμα των NO_x , παρατηρούνται μέγιστες συγκεντρώσεις στις αντίστοιχες διευθύνσεις όπου παρατηρείται το ελάχιστο του O_3 . Το γεγονός αυτό, αποκαλύπτει ότι, το ελάχιστο που εμφανίζεται σε αυτές ακριβώς τις διευθύνσεις, οφείλεται στην καταστροφή του συγκεκριμένου ρύπου μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων προς όφελος των NO_x .

Αναλύοντας τον σταθμό του Κορδελιού, παρατηρείται μία ομοιομορφία επίσης, ως προς την κατανομή της συγκέντρωσης του όζοντος σε όλο το αζιμούθιο, με ελάχιστη αύξηση στις νότιες, νοτιοανατολικές και νοτιοανατολικές διευθύνσεις. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην μικρή συγκέντρωση που παρατηρείται στα NO_x στις αντίστοιχες διευθύνσεις, σύμφωνα με τα παραπάνω και όχι στην ταχύτητα του ανέμου. Η παραπάνω διαπίστωση υποστηρίζεται και από την υπόθεση, ότι αν η ταχύτητα του ανέμου είχε κάποια επίδραση στις διευθύνσεις αυτές στη συγκέντρωση του O_3 , τότε στις νότιο-νοτιοανατολικές διευθύνσεις το O_3 θα έπρεπε να καταγράφει χαμηλότερες τιμές για μεγάλες ταχύτητες, το οποίο όμως δεν συμβαίνει.

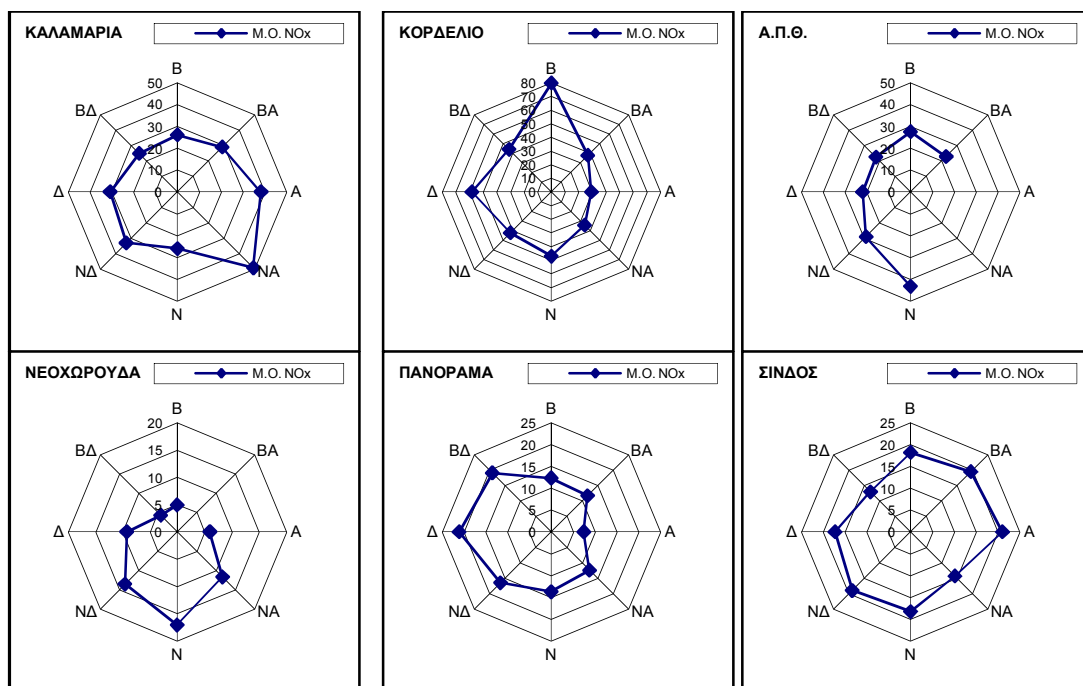
Προχωρώντας παρακάτω στην ανάλυση και των υπολοίπων σταθμών, παρατηρείται ότι για όλους τους υπολοίπους σταθμούς (Α.Π.Θ., Νεοχωρούδα, Πανόραμα και Σίνδος) δεν υπάρχει καμία συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου που να καταγράφει μεγαλύτερες τιμές O_3 από τις άλλες, γεγονός που τεκμηριώνει το αρχικό συμπέρασμα. Το γεγονός εμφάνισης περίπου ίδιων τιμών συγκέντρωσης σε όλο το αζιμούθιο αυτών των τεσσάρων σταθμών, αιτιολογείται από το γεγονός ότι και οι συγκεντρώσεις των NO_x δεν εμφανίζουν καμία συγκεκριμένη διεύθυνση στην οποία να παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις την θερμή περίοδο. Με δεδομένο δε, ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις αυτές ιδιαίτερα την περίοδο αυτή όπως αποδείχθηκε σε προηγούμενο κομμάτι της εργασίας, εξάγονται δύο πολύ

σημαντικά συμπεράσματα. Κατά πρώτον, ότι την θερμή περίοδο σε όλους τούς σταθμούς εκτός πολύ μικρών εξαιρέσεων, η συγκέντρωση του O_3 δεν εμφανίζει κάποια διεύθυνση του ανέμου στην οποία να μεγιστοποιείται, αφού ισοκατανέμεται προς όλες τις διευθύνσεις, γεγονός που αποδεικνύει την μικρή επιρροή του παράγοντα αυτού στις μεταβολές του O_3 . Κατά δεύτερον, ότι οι μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 την θερμή περίοδο οφείλονται περισσότερο στην φωτοχημεία (αλληλομετατροπές O_3 - NO_x) και πολύ λιγότερο στην ένταση του ανέμου, συμπέρασμα που έχει εξαχθεί και παραπάνω.

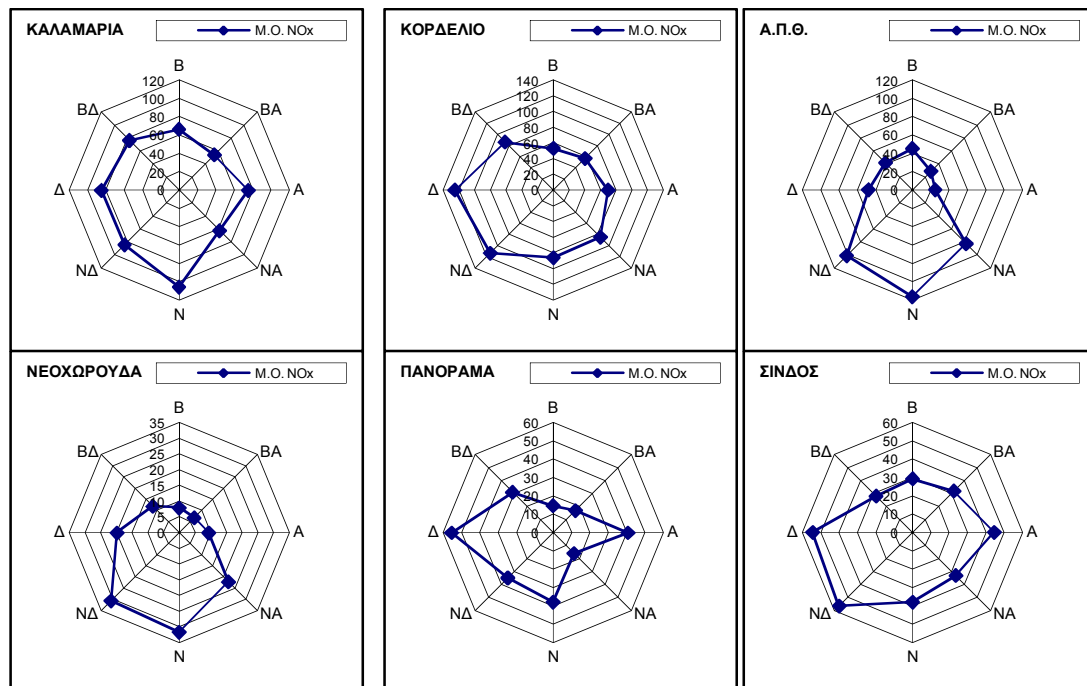
Εν συνεχεία, στο σχήμα 5.14 παρουσιάζονται τα ροδογράμματα με τις μεταβολές του O_3 , συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου την ψυχρή περίοδο. Τα πρώτα συμπεράσματα που εξάγονται καταγράφονται ακολούθως.

Στους σταθμούς Νεοχωρούδας και Πανοράματος, δεν προκύπτει ιδιαίτερη προτίμηση προς καμία διεύθυνση του αζιμούθιου, στην οποία να αυξάνεται περισσότερο η συγκέντρωση του O_3 . Από την άλλη, όσον αφορά τους αστικούς και τον περιαστικό-βιομηχανικό σταθμό της Σίνδου την ψυχρή περίοδο, παρατηρείται ότι τα NO_x επηρεάζουν την αυξομείωση της συγκέντρωσης του όζοντος προς όφελος συγκεκριμένης διεύθυνσης ανέμου. Συγκεκριμένα στο σταθμό της Καλαμαριάς παρατηρείται, σημαντική μείωση στο O_3 στην νότια διεύθυνση του ανέμου ενώ παράλληλα στην ίδια διεύθυνση παρατηρείται σημαντική αύξηση των NO_x . Στην ίδια λογική, οι ισχυρότερες μειώσεις του O_3 για τους σταθμούς του Κορδελιού, του Α.Π.Θ και της Σίνδου, εντοπίζονται στην δυτική και νοτιοδυτική-δυτική διεύθυνση ανέμου αντίστοιχα. Στίς ίδιες διευθύνσεις, στους συγκεκριμένους σταθμούς για τα NO_x , εντοπίζεται αντίστοιχη αύξηση επίσης.

Από τα παραπάνω, εξάγονται αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα τα οποία πρέπει να αναφερθούν. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί, είναι ότι οι περιαστικοί σταθμοί δεν επηρεάζονται από την διεύθυνση του ανέμου ούτε από την συγκέντρωση των NO_x μέσω της αλληλομετατροπής O_3 - NO_x , δεδομένου ότι η συγκέντρωση του O_3 εμφανίζεται παρόμοια προς όλες τις διευθύνσεις ανέμου στο αζιμούθιο. Από την άλλη, στους αστικούς σταθμούς καθώς και στον σταθμό της Σίνδου, δεν παρατηρείται κοινή διεύθυνση στην οποία και οι τέσσερις σταθμοί εμφανίζουν μέγιστες συγκεντρώσεις O_3 , ενώ αντίθετα εντοπίζονται κοινές διευθύνσεις (δυτικές-νοτιοδυτικές) στις οποίες εμφανίζονται οι ελάχιστες.



Σχήμα 5.15. Ραδογράμματα συγκεντρώσεων NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς συναρτήσεως της διεύθυνσης του ανέμου κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.



Σχήμα 5.16. Ραδογράμματα συγκεντρώσεων NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς συναρτήσεως της διεύθυνσης του ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

Επιπλέον, η διεύθυνση του ανέμου, δεν διαδραματίζει άμεσο ρόλο ως προς την εμφάνιση μέγιστης συγκέντρωσης O_3 σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση, αλλά έμμεσο,

δεδομένου ότι επηρεάζει την συγκέντρωση των NO_x , τα οποία με τη σειρά τους επιδρούν άμεσα στην αυξομείωση της συγκέντρωσης του O_3 , προς το όφελος συγκεκριμένης διεύθυνσης ανέμου. Ο φωτοχημικός παράγοντας είναι σημαντικότερος από την παράμετρο της διεύθυνσης του ανέμου ακόμη και την ψυχρή περίοδο, μιάς και επιτυγχάνει την διαμόρφωση μίας κοινής ελάχιστης συγκέντρωσης κατά την δυτική και νοτιοδυτική διεύθυνση του ανέμου για όλους τους αστικούς σταθμούς, σε αντίθεση με την διεύθυνση του ανέμου.

Στο σχήμα 5.15 και 5.16 παραπάνω παρατίθενται τα ροδογράμματα της συγκέντρωσης των NO_x , συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου την θερμή και ψυχρή περίοδο.

Από το σχήμα 5.15 διακρίνεται ότι, την θερμή περίοδο, δεν επικρατεί κάποια ομοιογένεια ως προς την διεύθυνση ανέμου, τέτοια ώστε η συγκέντρωση των NO_x να αυξάνει σε όλους τους σταθμούς, όταν πνέουν άνεμοι συγκεκριμένης κατεύθυνσης. Αναλυτικά, παρατηρείται ότι για τον σταθμό της Καλαμαριάς, η συγκέντρωση των NO_x μεγιστοποιείται όταν πνέουν άνεμοι νοτιοανατολικής κατεύθυνσης. Οι σταθμοί της Νεοχωρούδας και του Α.Π.Θ. αντίστοιχα καταγράφουν μέγιστες συγκεντρώσεις για νότιους ανέμους. Από την άλλη πλευρά, στο σταθμό του Κορδελιού, στην βόρεια κατεύθυνση ανέμων δείχνουν να συγκεντρώνονται οι μεγαλύτερες ποσότητες οξειδίων του αζώτου. Στο σταθμό του Πανοράματος, παρατηρούνται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όταν φυσούν δυτικοί-βορειοδυτικοί άνεμοι ενώ στο σταθμό της Σίνδου παρατηρείται μία ομοιομορφία ως προς την συγκέντρωση των NO_x σε όλες τις διευθύνσεις του ανέμου, με μικρές εξαιρέσεις στις οποίες μειώνεται ελαφρά, όταν φυσούν δυτικής και βορειοδυτικής διεύθυνσης άνεμοι.

Το γεγονός, της παραπάνω ανομοιομορφίας ως προς την διεύθυνση του ανέμου, κατά την οποία μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται η συγκέντρωση των NO_x οδηγεί σε ένα πολύ μεγάλο συμπέρασμα. Την θερμή περίοδο, μεγαλύτερη συχνότητα ανέμων εμφανίζεται στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, διευθύνσεις όπου δραστηριοποιείται η αύρα. Με δεδομένο ότι σε όλους τους σταθμούς υπάρχουν κοινές συχνότερες διευθύνσεις ανέμου οι οποίες είναι οι νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, θα έπρεπε οι ρύποι να εμφανίζουν σαυτές ακρότατες τιμές. Συγκεκριμένα μέγιστες τιμές, δεδομένου ότι η αύρα πνέει με ταχύτητες που δεν

ξεπερνούν τα 1-2 m/s. Εφόσον αυτό δεν συμβαίνει συμπαιρένεται ότι η αύρα δεν επηρεάζει τα NO_x την θερμή περίοδο.

Από την άλλη, αν αναλυθεί το σχήμα 5.15 σε συνδυασμό με το σχήμα 5.13 όπου εμφανίζονται τα ροδογράμματα του O₃ και των NO_x, παρατηρείται σε γενικές γραμμές σε όλους τους σταθμούς (εκτός του σταθμού της Σίνδου), αλληλεξάρτηση όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των δύο ρύπων. Συγκεκριμένα σε διευθύνσεις όπου οι συγκεντρώσεις του O₃ αυξάνουν, οι αντίστοιχες διευθύνσεις των NO_x μειώνονται και το αντίστροφο· γεγονός που υποδηλώνει την καταστροφή του ενός προς όφελος του άλλου. Ωστόσο, εφόσον η διεύθυνση του ανέμου κατά την οποία η συγκέντρωση του O₃ μεγιστοποιείται ή ελαχιστοποιείται διαφέρει σε κάθε σταθμό και δεν υπάρχει ομοιογένεια, κατανοείται εύκολα ο λόγος που δεν παρατηρείται συγκεκριμένη διεύθυνση, κατά την οποία να εμφανίζεται σε όλους τους σταθμούς αντίστοιχη αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των NO_x. Συνεπώς με βάση το παραπάνω συμπέρασμα της εξάρτησης των δύο παραπάνω ρύπων (O₃, NO_x), εξάγεται αβίαστα όπως και για το O₃, το συμπέρασμα ότι η φωτοχημεία είναι αποτελεσματικότερος παράγοντας επίδρασης στην συγκέντρωση των NO_x, τόσο σε σχέση με την ένταση όσο και με την διεύθυνση του ανέμου κατά την θερμή περίοδο.

Δεδομένης της ενδελεχούς ανάλυσης των ροδογραμμάτων κατά την θερμή περίοδο, επιτακτική ανάγκη θεωρείται και η ανάλυση των αντιστοιχών την ψυχρή περίοδο ώστε να ληφθεί μία ολοκληρωμένη εικόνα. Από το σχήμα 5.16 πιστοποιείται σε αντίθεση με την θερμή περίοδο, μία τάση εμφάνισης μέγιστης συγκέντρωσης NO_x, κατά την επικράτηση νοτίων-νοτιοδυτικών και δυτικών ανέμων. Συγκεκριμένα όλοι οι σταθμοί δείχνουν μέγιστες συγκεντρώσεις σε μία από τις τρεις διευθύνσεις. Οι σταθμοί των Καλαμαριάς, Νεοχωρούδας, Σίνδου και Α.Π.Θ. εμφανίζουν θετική ακρότατη τιμή στην συγκέντρωση, κατά την επικράτηση νοτίων και νοτιοδυτικών ανέμων, το Κορδελιό δυτικών- νοτιοδυτικών και το Πανόραμα δυτικών ανέμων. Η εικόνα της καθολικής εστίασης σ'αυτές τις διευθύνσεις από όλους τους σταθμούς, δεν είναι τυχαία αλλά συμβαίνει για τον παρακάτω πολύ σημαντικό λόγο. Την ψυχρή περίοδο πνέουν βόρειοι (Βαρδάρης), βορειοδυτικοί και βορειοανατολικοί άνεμοι, οι οποίοι είναι πολύ ισχυροί (Φλόκας, 1997). Αποτέλεσμα αυτού είναι να υπάρχει έντονη διασπορά των NO_x και να καταγράφονται μικρές συγκεντρώσεις σε αυτές τις διευθύνσεις. Στον αντίποδα, στις πολύ λίγες περιπτώσεις που πνέουν άνεμοι νότιας, νοτιοδυτικής (αύρα) ή ακόμη και δυτικής προέλευσης την ψυχρή περίοδο, δεν

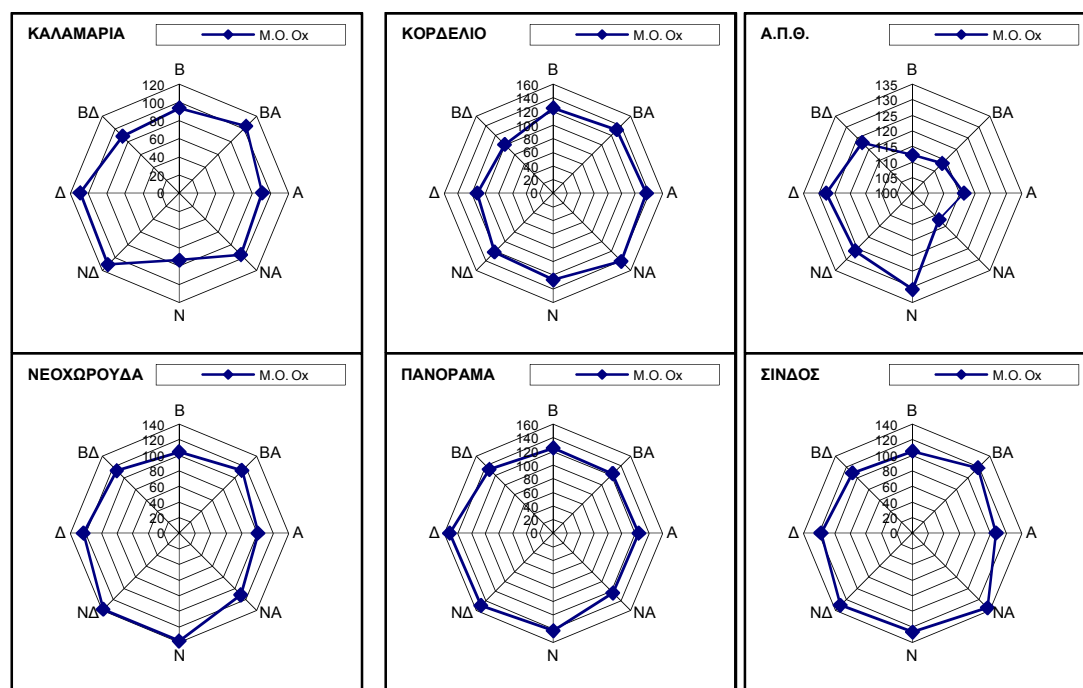
υπάρχει απομάκρυνση των ρύπων, αφού δεν δύναται να πραγματοποιηθεί λόγω της επικράτησης μικρών ταχυτήτων ανέμου στις διευθύνσεις αυτές. Επιπλέον οι αέριες μάζες, νότιας και νοτιοδυτικής κατεύθυνσης, είναι μάζες με υψηλές συγκεντρώσεις NO_x , δεδομένου ότι προέρχονται από ατμοσφαιρικά επιβαρυμένες περιοχές και συγκεκριμένα από περιοχές όπως η βιομηχανική περιοχή της Εορδαίας (Flocas 2008). Επακόλουθο αυτού είναι η εμφάνιση μεγάλων συγκεντρώσεων NO_x στις παραπάνω διευθύνσεις αν ληφθεί υπόψιν και ότι την χειμερινή περίοδο, αυξάνονται οι εκπομπές των παραπάνω ρύπων.

Με δεδομένη την παραπάνω συμπεριφορά των NO_x , εύκολα εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα. Πρώτον, κατά την ψυχρή περίοδο, επικρατεί μία ομοιομορφία ως προς τις διευθύνσεις στις οποίες οι συγκεντρώσεις των NO_x μεγιστοποιούνται σε όλους τους σταθμούς. Δεύτερον, σε αντίθεση με την θερμή περίοδο, την ψυχρή η ένταση του ανέμου και συγκεκριμένα η αύρα, διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο ως προς την ανάδειξη διευθύνσεων στις οποίες αυξάνει η συγκέντρωση των NO_x . Τρίτον, σε αντίθεση επίσης με την θερμή περίοδο ο φωτοχημικός μηχανισμός δεν διαδραματίζει πλέον πρωταγωνιστικό ρόλο στον καθορισμό της συγκέντρωσης των NO_x . Λόγω της ελλιπούς ηλιοφάνειας η φωτοχημεία σταματά να επιδρά καθοριστικά και άμεσα, με αποτέλεσμα, την θέση της στον ρόλο αυτό, να καταλαμβάνει ο παράγοντας της έντασης του ανέμου. Τέλος σαν γενικό συμπέρασμα, εξάγεται ότι η διεύθυνση του ανέμου την ψυχρή περίοδο, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις μεταβολές της συγκέντρωσης των NO_x , με τον ρόλο της αύρας ακόμη και την χειμερινή περίοδο να είναι καθοριστικός, μιας και από την μία, αποτελεί τον μηχανισμό εισαγωγής ρύπων από μακρινές ατμοσφαιρικά μολυσμένες περιοχές και από την άλλη ότι δεν δύναται να προκαλέσει σημαντική απομάκρυνση των ρύπων αυτών.

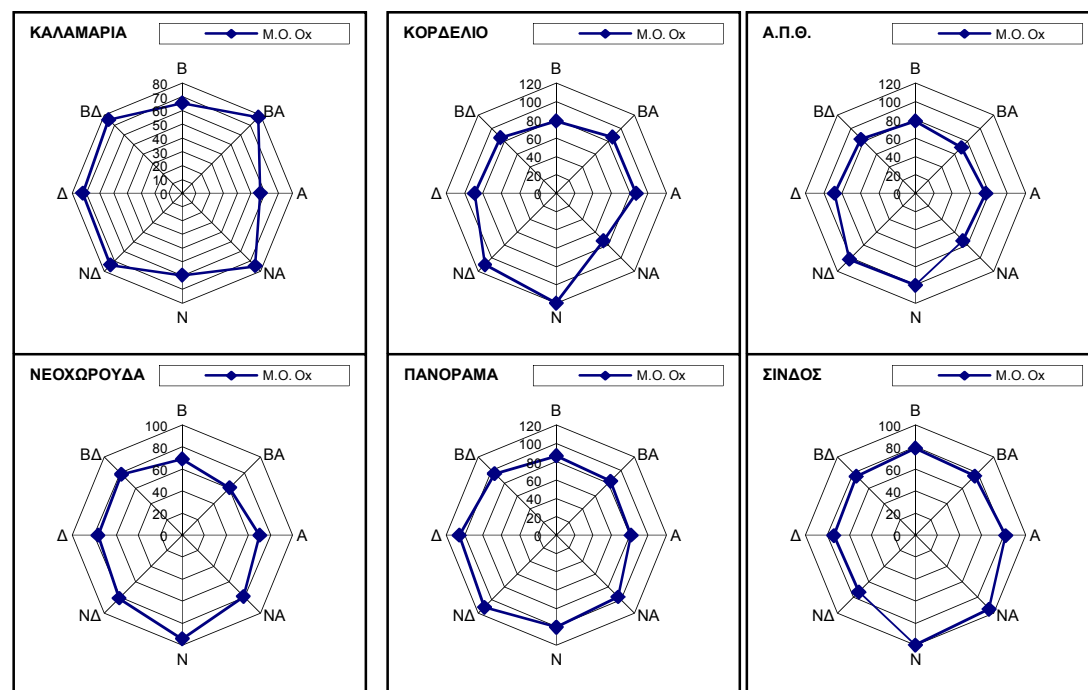
Συνεχίζοντας την διερεύνηση της επίδρασης της διεύθυνσης του ανέμου στις μεταβολές των ρύπων, παρακάτω αναλύονται τα ροδογράμματα των O_x κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο.

Από το σχήμα 5.17, όπου αποτυπώνεται η συγκέντρωση των O_x κατά την θερμή περίοδο, διακρίνεται μία γενική εικόνα σε όλους τους σταθμούς, που έχει να κάνει με την απουσία συγκεκριμένης διεύθυνσης ανέμου, κατά την οποία εμφανίζονται μέγιστες τιμές συγκέντρωσης του εν λόγω ρύπου. Όλοι οι σταθμοί

εμφανίζουν ίδιες συγκεντρώσεις προς όλες τις διευθύνσεις του αζιμούθιου, με ελάχιστες εξαιρέσεις που εμφανίζονται κυρίως στο σταθμό του Α.Π.Θ. και της Καλαμαριάς.



Σχήμα 5.17. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.



Σχήμα 5.18. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005

Συγκεκριμένα διακρίνονται, μεγάλες συγκεντρώσεις O_x στις νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές διευθύνσεις, γεγονός που εξηγείται από την μία, λόγω της υψηλής συχνότητας εμφάνισης των συγκεκριμένων διευθύνσεων ανέμου και από την άλλη λόγω της επικράτησης μικρών ταχυτήτων ανέμου σ' αυτές. Αναφορικά με τον σταθμό της Καλαμαριάς, εμφανίζεται μικρή συγκέντρωση O_x στην νότια διεύθυνση, για τον λόγο ότι τόσο τα NO_x όσο και το O_3 τα οποία απαρτίζουν τα O_x , εμφανίζουν μικρές συγκεντρώσεις στην ίδια διεύθυνση.

Ωστόσο, παρά τα μεμονωμένα παραδείγματα των σταθμών του Α.Π.Θ. και της Καλαμαριάς, όπως προαναφέρθηκε, σε όλους τους υπολοίπους σταθμούς δεν διακρίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη διεύθυνση ανέμου στην οποία η συγκέντρωση των O_x να μεγιστοποιείται σε σχέση με τις υπόλοιπες διευθύνσεις. Το παραπάνω γεγονός, καθώς και το παρελκόμενο συμπέρασμα που πραγματεύεται την απουσία επιρροής της διεύθυνσης του ανέμου στις μεταβολές της συγκέντρωσης αυτών την θερμή περίοδο, οφείλεται στα χαρακτηριστικά του O_3 . Τα O_x ταυτίζονται περισσότερο με το O_3 σε σχέση το NO_2 την θερμή περίοδο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά του, δεδομένου ότι την συγκεκριμένη περίοδο, το O_3 λόγω των διαφόρων φωτοχημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται προς όφελος του, είναι περισσότερο από το NO_2 .

Συνεχίζοντας και περνώντας στην ανάλυση του σχήματος 5.18, που απεικονίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης των O_x συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου την ψυχρή περίοδο, συμπεραίνεται ότι αν και σε γενικές γραμμές όλοι οι σταθμοί δεν εμφανίζουν διευθύνσεις στις οποίες η συγκέντρωση των O_x υπερτερεί σε σχέση με την συγκέντρωση των υπολοίπων, επικρατεί μία μικρή τάση εμφάνισης μεγαλύτερων τιμών αυτών, στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Συγκεκριμένα όλοι οι σταθμοί εκτός της Καλαμαριάς, στην οποία σε όλες τις διευθύνσεις η συγκέντρωση παρουσιάζει τα ίδια επίπεδα τιμών, εμφανίζουν μικρή αύξηση για τις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Το γεγονός αυτό, δεν προβληματίζει αν κατανοηθούν δύο χαρακτηριστικά των O_x . Πρώτον ότι, την ψυχρή περίοδο τα O_x , απαρτίζονται από μεγαλύτερο πληθυσμό NO_2 σε σχέση με το O_3 με συνέπεια να υιοθετούν περισσότερο συμπεριφορές και χαρακτηριστικά του NO_2 και δεύτερον, ότι στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, την ψυχρή περίοδο παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση NO_x και συνεπώς NO_2 . Από τα παραπάνω, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι αν και ισοσκελίζονται οι διαφορές των χαρακτηριστικών των O_3 και NO_2 που

απαρτίζουν τα O_x με άμεσο αποτέλεσμα, την εμφάνιση όμοιων συγκεντρώσεων O_x σε όλες σχεδόν τις διευθύνσεις, παρατηρείται μία ελαφριά υιοθέτηση σε μεγαλύτερο βαθμό των χαρακτηριστικών του NO_2 από τα O_x που οδηγεί στο αποτέλεσμα εμφάνισης ελαφρά μεγαλύτερων συγκεντρώσεων τους στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις του ανέμου.

Γενικότερα από την ανάλυση των O_x τόσο την θερμή, όσο και την ψυχρή περίοδο, συμπεραίνεται ότι οι μεταβολές της διεύθυνσης του ανέμου, δεν διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως προς την επιρροή που ασκούν στις μεταβολές της συγκέντρωσης των O_x . Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μολονότι της ισχύος της παραπάνω διαπίστωσης, εξάγεται το παρακάτω συμπέρασμα σύμφωνα με το οποίο από την μία, την θερμή περίοδο τα O_x ακολουθούν κυρίως την συμπεριφορά του O_3 . Αυτό αναφέρεται διότι δεν διακρίνεται αύξηση της συγκέντρωσης τους προς κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση ανέμου, δεδομένου ότι και το O_3 αντιδρά κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο στις επιδράσεις της διεύθυνσης του ανέμου. Από την άλλη, την ψυχρή περίοδο τα O_x , ακολουθούν σε μεγαλύτερο βαθμό την συμπεριφορά του NO_2 δεδομένου ότι αν και δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στη συγκέντρωση αυτών μεταξύ των διευθύνσεων του ανέμου σε όλο το αζιμούθιο, εμφανίζονται ελαφρά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, οι οποίες οφείλονται στο NO_2 και στην επίδραση του ανέμου σ' αυτό.

Προχωρώντας και στην ανάλυση του τελευταίου υπό μελέτη ρύπου, του CO στο σχήμα 5.19 και 5.20 παρακάτω, παρατίθενται οι μεταβολές της συγκέντρωσης του συναρτήσει των διευθύνσεων του ανέμου. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε αντίθεση με τους άλλους σταθμούς, στην ανάλυση του CO δεν συμμετέχουν και οι έξι σταθμοί, αφού οι τρεις από αυτούς και συγκεκριμένα οι σταθμοί του Α.Π.Θ., της Νεοχωρούδας, και του Πανοράματος, δεν καταγράφουν δεδομένα του συγκεκριμένου ρύπου.

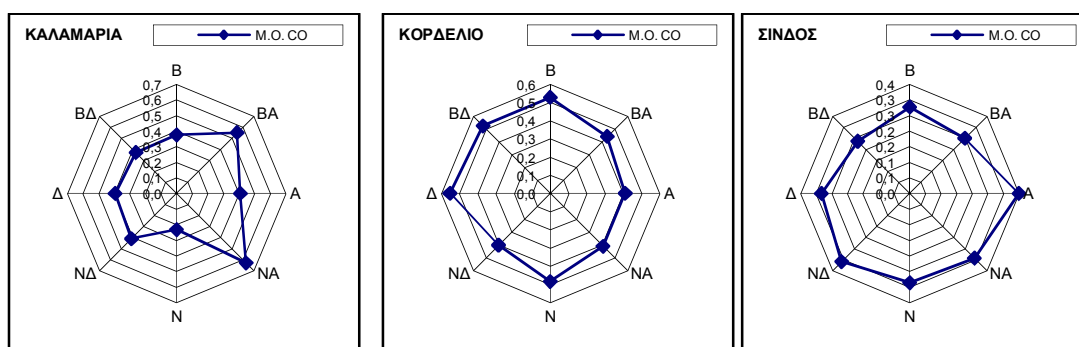
Από το σχήμα 5.19 δεν διακρίνεται να επικρατεί ομοφωνία στην διεύθυνση κατά την οποία επιδρά ο άνεμος δίνοντας μέγιστη ή ελάχιστη συγκέντρωση CO σε όλους τους σταθμούς. Συγκεκριμένα και οι τρεις σταθμοί, εμφανίζουν διαφορετικές διευθύνσεις στις οποίες καταγράφονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις. Ειδικότερα, στην Καλαμαριά, η μεγαλύτερη συγκέντρωση του CO, εμφανίζεται σε νοτιοανατολική διεύθυνση. Στους άλλους δύο σταθμούς, η

συγκέντρωση εμφανίζεται όμοια για κάθε σχεδόν διεύθυνση του αζιμούθιου με μικρές εξαιρέσεις ελαχιστοποίησης ή μεγιστοποίησης αυτής. Στο μεν Κορδελιό εμφανίζονται στην νοτιοδυτική ενώ στην δε Σίνδο, στην ανατολική διεύθυνση αντίστοιχα. Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι αν και οι εκπομπές των NO_x πραγματοποιούνται ταυτόχρονα με τις εκπομπές του CO , δεν διακρίνεται να υπάρχει διεύθυνση κατά την οποία τόσο η μέγιστη συγκέντρωση NO_x όσο και του CO να συμπίπτουν στους σταθμούς εκτός του σταθμού της Καλαμαριάς. Συγκεκριμένα για τον σταθμό αυτό, εντοπίζεται ότι κατά την νοτιοανατολική διεύθυνση, τόσο τα NO_x όσο και το CO παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις άλλες διευθύνσεις του αζιμούθιου.

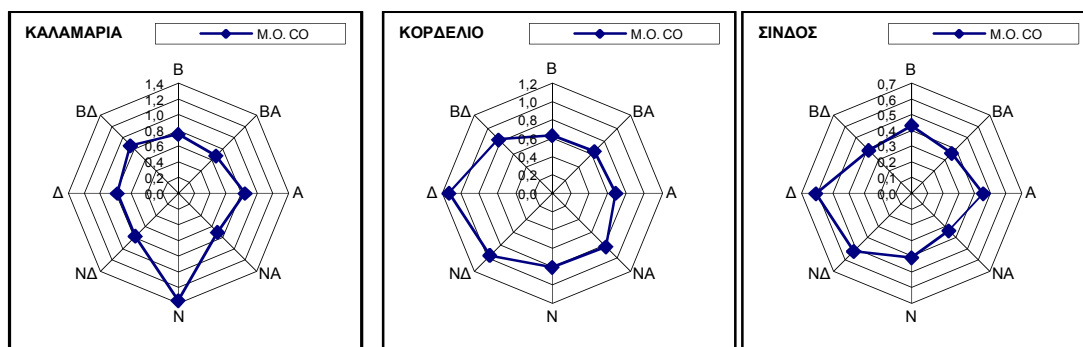
Το γεγονός της αδυναμίας εμφάνισης μέγιστης συγκέντρωσης CO , προς μία κοινή διεύθυνση ανέμου μεταξύ των σταθμών, δεν φαίνεται να οφείλεται σε κανέναν άλλο παράγοντα, παρά μόνο στην ένταση του ανέμου. Από τα ροδογράμματα της έντασης του ανέμου την θερμή περίοδο, διακρίνεται ότι στον σταθμό της Καλαμαριάς οι χαμηλότερης ταχύτητας άνεμοι, καταγράφονται στις νότιες και νοτιοανατολικές διευθύνσεις, γεγονός το οποίο εξηγεί αβίαστα τον λόγο εμφάνισης μεγίστων τιμών στη συγκεκριμένη διεύθυνση, τόσο του CO όσο και των NO_x . Επιπρόσθετα, από την μία στο Κορδελιό, το ροδόγραμμα της έντασης του ανέμου, εμφανίζει μικρότερη ταχύτητα στην δυτική, ενώ αυτό της Σίνδου παρουσιάζει αντίστοιχη ταχύτητα στην ανατολική διεύθυνση.

Αυτή η διαπίστωση, έχει να κάνει με την διεργασία της απομάκρυνσης, κατά την έλλειψη της οποίας, εμφανίζεται αύξηση των ρύπων άρα και του CO . Δεδομένων των μικρών ταχυτήτων, στις παραπάνω προαναφερθείσες διευθύνσεις και άρα της αδυναμίας του ανέμου για απομάκρυνση σε αυτές, η αύξηση των συγκεντρώσεων του CO στις συγκεκριμένες διευθύνσεις αποδεικνύει την ορθότητα της θεωρίας. Από την άλλη, η διαφοροποίηση που υπάρχει στις διευθύνσεις κατά τις οποίες εμφανίζονται τα μέγιστα του CO και των NO_x , στους σταθμούς του Κορδελιού και της Σίνδου, οφείλεται στο γεγονός ότι ιδιαίτερα την θερμή περίοδο όπως αναφέρθηκε, τα NO_x επηρεάζονται περισσότερο από την επίδραση του O_3 (μέσω της φωτοχημείας), παρά από την επίδραση του έντασης του ανέμου. Όσο για την επίτευξη κοινής διεύθυνσης μεταξύ των δύο ρύπων στο στην Καλαμαριά, φαίνεται ότι στο συγκεκριμένο σταθμό, ο μηχανισμός ο οποίος διαμορφώνει την διεύθυνση του ανέμου, στην οποία επιτυγχάνεται μέγιστη συγκέντρωση, είναι η ταχύτητα του.

Η ταχύτητα του ανέμου, δείχνει να υπερτερεί έναντι τού φωτοχημικού μηχανισμού, δεδομένου ότι ο σταθμός της Καλαμαριάς, καταγράφει μία από τις μικρότερες συγκεντρώσεις όζοντος, με αποτέλεσμα την αδυναμία επίδρασης σε επαρκή βαθμό (μέσω της καταστροφής στου όζοντος και της μετατροπής του σε NO_2) στα NO_x .



Σχήμα 5.19. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων CO (mg/m^3) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την θερμή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.



Σχήμα 5.20. Ροδογράμματα συγκεντρώσεων CO (mg/m^3) στους σταθμούς συναρτήσει της διεύθυνσης του ανέμου κατά την ψυχρή περίοδο στο διάστημα 2001-2005.

Ολοκληρώνοντας με την αντίστοιχη μελέτη της επίδρασης της διεύθυνσης του ανέμου στο CO , την ψυχρή περίοδο σχημα 5.20, ανακύπτουν δύο σημαντικές διαπιστώσεις. Η πρώτη διαπίστωση, έχει να κάνει με το γεγονός της υιοθέτησης, κοινής διεύθυνσης ανέμου από όλους τους σταθμούς και συγκεκριμένα νότιας νοτιοδυτικής, κατά την οποία, οι συγκεντρώσεις του CO μεγιστοποιούνται. Η δεύτερη διαπίστωση πραγματεύεται, την επίτευξη μεγίστων συγκεντρώσεων μεταξύ των CO και NO_x σε κοινή διεύθυνση επίσης και από τους τρεις σταθμούς. Οι δύο παραπάνω διαπιστώσεις, έρχονται να επιβεβαιώσουν τρία συμπεράσματα. Πρώτον, όταν πνέουν άνεμοι νότιας-νοτιοδυτικής προέλευσης (αύρα), των οποίων οι ταχύτητες είναι πολύ μικρές, αυξάνεται η συγκέντρωση των ρύπων σε όλους τους

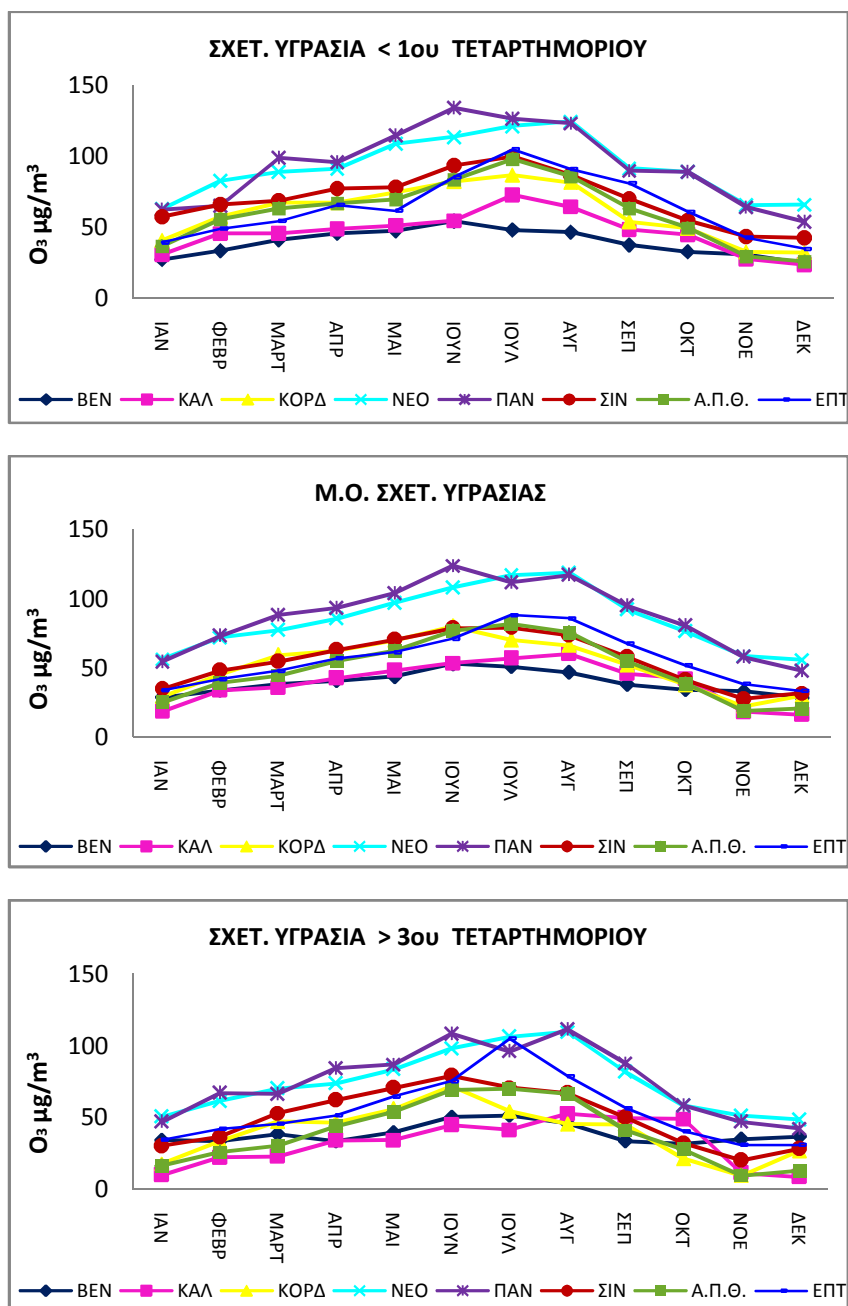
σταθμούς, γεγονός που υποδηλώνει την επίδραση της αύρας στους ρύπους την ψυχρή περίοδο. Δεύτερον, οι νότιοι-νοτιοδυτικοί άνεμοι εισάγουν όπως προαναφέρθηκε, ρύπους μιας και εμπλουτίζονται από αυτούς, κατά την ροή τους από την βιομηχανική περιοχή της Εορδαίας που βρίσκεται στις ίδιες διευθύνσεις απ'όπου περνά η αύρα. Τρίτον, ο μηχανισμός ο οποίος επηρεάζει ξεκάθαρα την μεταβολή τόσο των CO όσο και των NO_x, την ψυχρή περίοδο, δεν είναι η φωτοχημεία, αλλά η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου και πιο συγκεκριμένα η αύρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ 2001-2005.

Στα πλαίσια της μελέτης της επίδρασης μετεωρολογικών παραγόντων, όπως διερευνήθηκε κατά πόσο επηρεάζει η παράμετρος του ανέμου τις συγκεντρώσεις των ρύπων, εξετάζεται και ο παράγοντας της σχετικής υγρασίας. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκαν οκτώ σταθμοί (δύο από τον δήμο και έξι από την περιφέρεια) από τους δώδεκα, για τον λόγο ότι στους υπολοίπους σταθμούς, δεν καταγράφονται μετεωρολογικά δεδομένα. Όπως και στην διερεύνηση της παραμέτρου της ταχύτητας του ανέμου και στην διερεύνηση της επίδρασης της σχετικής υγρασίας, ακολούθησε η διαδικασία της επιλογής τιμών ρύπων (O_3 , NO_x , O_x και CO) με κριτήριο, τιμές σχετικής υγρασίας μικρότερες του 25%, αλλά και μεγαλύτερες του 75% του συνόλου των τιμών της. Ακολούθως, η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε τόσο για την θερμή (Μάιος έως Σεπτέμβριος), όσο και για την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριος έως Μάρτιος) του έτους. Παράλληλα, έγιναν συγκρίσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων τόσο μεταξύ 1^{ου} και 3^{ου} τεταρτημορίου κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο, δηλαδή συγκρίσεις τιμών ρύπων κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο ανάλογα με το τεταρτημόριο. Τα πρώτα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης αποτυπώνονται παρακάτω στο σχήμα 6.1.

Από το σχήμα 6.1 πιστοποιείται ότι η μέγιστη τιμή του O_3 καταγράφεται από περιφερειακούς σταθμούς, και συγκεκριμένα από το Πανόραμα, ενώ αντιθέτως η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στους αστικούς σταθμούς και συγκεκριμένα στη Βενιζέλου, γεγονός αναμενόμενο δεδομένου της ύπαρξης περισσότερου O_3 πάντα στις περιφερειακές περιοχές και λιγότερου στις αστικές. Αυτό σημαίνει ότι η σχετική υγρασία, δεν επηρεάζει την επιλογή του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές συγκέντρωσης του O_3 καθώς οι περιφερειακοί σταθμοί καταγράφουν την μέγιστη, ενώ από την άλλη οι αστικοί την ελάχιστη τιμή του O_3 , ανεξαρτήτως των μεταβολών αυτής.



ΣΧΗΜΑ 6.1. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 , λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2001-2005.

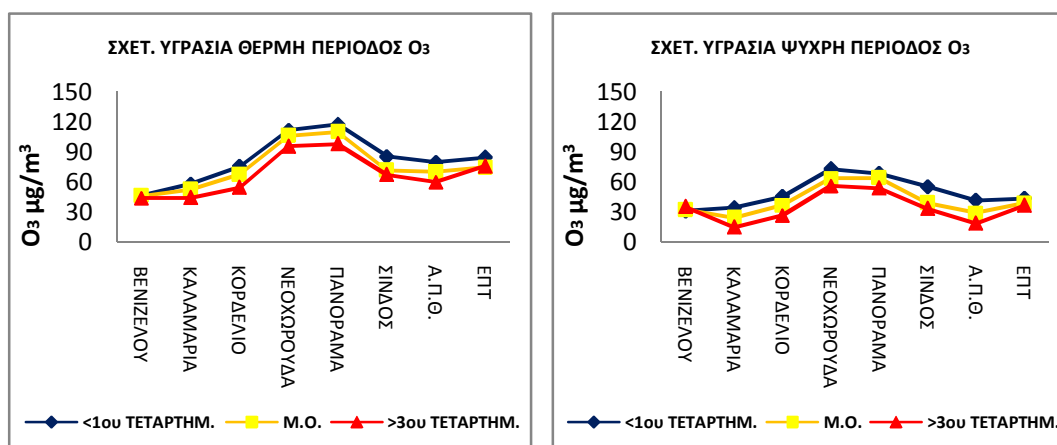
Επίσης, από το σχήμα 6.1 διακρίνεται ότι το όζον εμφανίζει τις μέγιστες τιμές του το καλοκαίρι και τις ελάχιστες, στις αρχές ή μέσο του χειμώνα. Μελετώντας την επίδραση των μεταβολών της σχετικής υγρασίας στις μετρήσεις του ετησίως, παρατηρείται μετατόπιση μόνο της μεγίστης τιμής του κατά ένα ή δύο μήνες, ενώ δεν παρατηρείται αλλαγή στην εμφάνιση των αντίστοιχων ελαχίστων τιμών του. Επικεντρώνοντας για παράδειγμα στο σταθμό του Πανοράματος, παρατηρείται ότι

ενώ για χαμηλά επιπέδα σχετικής υγρασίας το O_3 εμφανίζει τη μέγιστη τιμή του τον Ιούνιο, για τα αντίστοιχα υψηλά το μέγιστο αυτό μετατοπίζεται τον Αύγουστο.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, αυτή η σχετικά μικρή μετατόπιση της μέγιστης ακραίας τιμής δεν σχετίζεται με τη θέση του σταθμού (αστικός-περιαστικός), καθώς το μέγιστο μετατοπίζεται σε όλους τους σταθμούς κατά τον ίδιο τρόπο, αλλά μόνο από τις μεταβολές των επιπέδων σχετικής υγρασίας. Το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται η ελάχιστη αλλά μόνο η μέγιστη τιμή, οφείλεται στην μικρή συγκέντρωση του O_3 την ψυχρή περίοδο, όπου η επίδραση της σχετικής υγρασίας δεν επιφέρει μεγάλες μεταβολές. Αυτό συμβαίνει, διότι πάντα οι μεταβολές σε μικρό δείγμα πληθυσμού είναι μηδαμινές, σε σχέση με τις αντίστοιχες μεταβολές σε μεγάλους αντίστοιχους πληθυσμούς.

Προχωρώντας στην ανάλυση των μεταβολών στη συγκέντρωση του O_3 την θερμή και ψυχρή περίοδο συναρτήσει των επιδράσεων της σχετικής υγρασίας στο σχήμα 6.2, διακρίνεται τόσο από το διάγραμμα της θερμής όσο και από το αντίστοιχο της ψυχρής περιόδου, ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος καταγράφονται σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας σε όλους τους σταθμούς αστικούς και περιαστικούς, με μόνη μικρή εξαίρεση το σταθμό της Βενιζέλου. Ο συγκεκριμένος σταθμός, εμφανίζει την ψυχρή ελάχιστα μεγαλύτερη συγκέντρωση για υψηλά επίπεδα υγρασίας σε αντίθεση με την θερμή περίοδο με πολύ μικρή διαφορά. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να επιμείνει κανείς ή να προσπαθήσει να αιτιολογήσει τη συμπεριφορά του O_3 στο συγκεκριμένο σταθμό κατά πρώτον, δεδομένης της ιδιάζουσας θέσης που καταλαμβάνει και κατά δεύτερον λόγω της πολυ μικρής μεταβολής που επιφέρεται στη συγκέντρωση του O_3 .

Το γεγονός εντοπισμού μεγαλύτερων τιμών συγκέντρωσης, όταν η σχετική υγρασία αγγίζει τα χαμηλά επίπεδα της, μπορεί να αιτιολογηθεί σύμφωνα με τη θεωρία που αναφέρει, ότι η απουσία υγρασίας είναι συνδυασμένη με την δημιουργία θερμοκρασιακών αναστροφών. Κατά τις βραδυνές ώρες, η γή εκπέμπει ακτινοβολία προς το διάστημα. Η παρουσία υδρατμών εγκλωβίζει την θερμοκρασία και την επανεκπέμπει πίσω. Η απουσία ωστόσο αυτών, οδηγεί στην αποβολή θερμότητας με γρηγορότερους ρυθμούς, με συνέπεια την δημιουργία θερμοκρασιακών αναστροφών (*National Research Council (U.S.), 2003*). Όταν συμβαίνει θερμοκρασιακή αναστροφή, μειώνεται το οριακό στρώμα με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 .

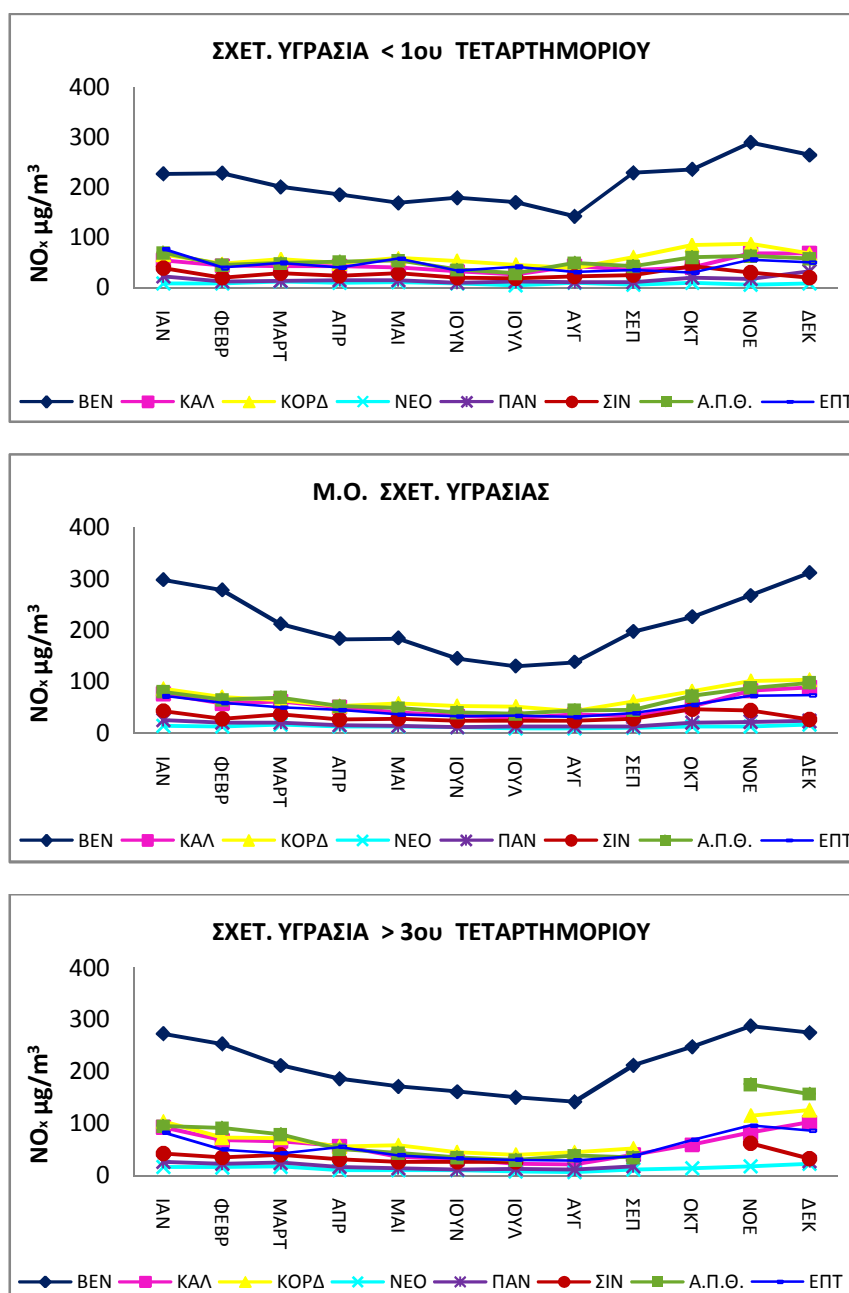


ΣΧΗΜΑ 6.2. Μεταβολές στη συγκέντρωση του O₃, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

Συνεπώς από το σχήμα 6.2, εξάγονται τρία συμπεράσματα. Το πρώτο έχει να κάνει με την εποχικότητα και συγκεκριμένα με το γεγονός ότι η μετάβαση από την θερμή στην ψυχρή περίοδο δεν έχει αντίκτυπο στον τρόπο πού επηρεάζει η σχετική υγρασία το O₃. Το δεύτερο συμπέρασμα, αναφέρεται στο ότι η σχετική υγρασία, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δημιουργία O₃ δεδομένου ότι για χαμηλά επίπεδα αυτής προκύπτουν υψηλές τιμές όζοντος, ενώ για τα αντίστοιχα υψηλά οι τιμές αυτές μειώνονται. Το τρίτο πραγματεύεται το γεγονός ότι οι αστικοί και οι περιαστικοί σταθμοί επηρεάζονται το ίδιο από τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας, τόσο κατά την ψυχρή όσο και κατά την θερμή περίοδο.

Με γνώμονα την δυνατότητα εξαγωγής μιας πιο σφαιρικής και λεπτομερούς συνάμα εικόνας της επιρροής της σχετικής υγρασίας στους ρύπους, αναλύεται και η επίδραση αυτής, στα οξείδια του αζώτου. Από το σχήμα 6.3 προκύπτει, ότι ασφαλή συμπεράσματα δεν μπορούν να εξαχθούν για όλους τους σταθμούς, παρά μόνο για το σταθμό της Καλαμαριάς, της Βενιζέλου και της Νεοχωρούδας. Η διαπίστωση αυτή προέκυψε, λόγω των κενών που εντοπίστηκαν στην χρονοσειρά. Τα κενά αυτά οφείλονται από την μία, στην έλλειψη δεδομένων ρύπων αλλά και παράλληλα μετεωρολογικών δεδομένων. Από την άλλη, επιπλέον κενά προέκυψαν, βάση των κριτηρίων που τέθηκαν ως τιμές κατωφλίου της υγρασίας

(κάτω από 25% μία συγκεκριμένης τιμής και πάνω από 75% μίας άλλης τιμής) για στους σταθμούς.

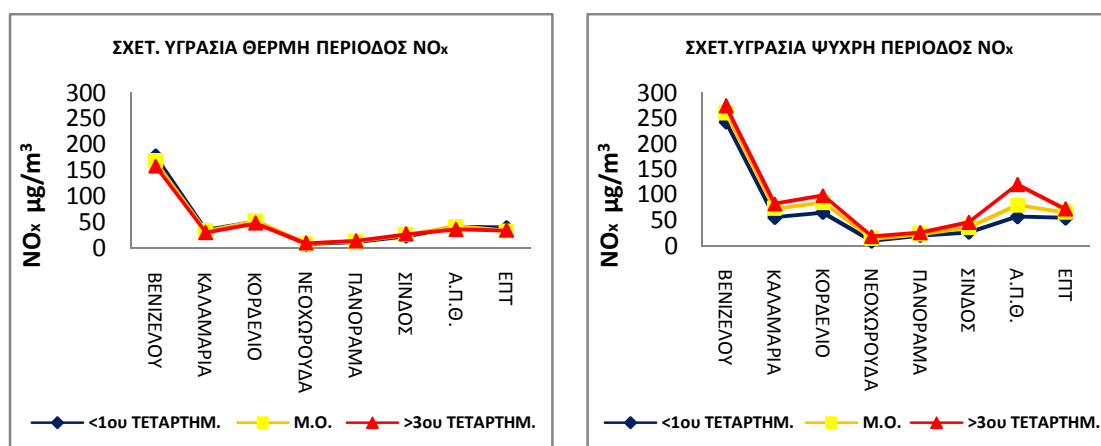


ΣΧΗΜΑ 6.3. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του NO_x, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2001-2005.

Με δεδομένο τα παραπάνω λοιπόν, το μέγιστο των συγκεντρώσεων εμφανίζεται στη Βενιζέλου ενώ το ελάχιστο στη Νεοχωρούδα, ανεξαρτήτως των μεταβολών της σχετικής υγρασίας. Όπως είναι φυσικό, την μέγιστη τιμή καταλαμβάνει αστικός ενώ την ελάχιστη περιαστικός σταθμός, ανεξαρτήτως των

μεταβολών των επιπέδων της σχετικής υγρασίας γεγονός που απεμπλέκει την υγρασία από την διαδικασία επιλογής σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές συγκέντρωσης των NO_x . Επιπλέον όπως παρατηρείται και από το σχήμα 6.4, η εποχική εμφάνιση των ακρότατων τιμών της συγκέντρωσης των NO_x σε γενικές γραμμές, δεν επηρεάζεται από την αυξομείωση των επιπέδων σχετικής υγρασίας αφού το μέγιστο εμφανίζεται την ψυχρή περίοδο (Δεκέμβριο-Ιανουάριο), ενώ το ελάχιστο την θερμή (Ιούνιο- Αύγουστο).

Με δεδομένη επίσης και την ανεξαρτητοποίηση της χρονικής περιόδου από τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας, κατά την οποία εμφανίζονται οι τιμές των μεγίστων και την ελαχίστων στη τιμών των NO_x , αυτό που ενδιαφέρει είναι η διερεύνηση της περιόδου, κατά την οποία η επίδρασης της σχετικής υγρασίας γίνεται εντονότερη.



ΣΧΗΜΑ 6.4. Μεταβολές στη συγκέντρωση του NO_x , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

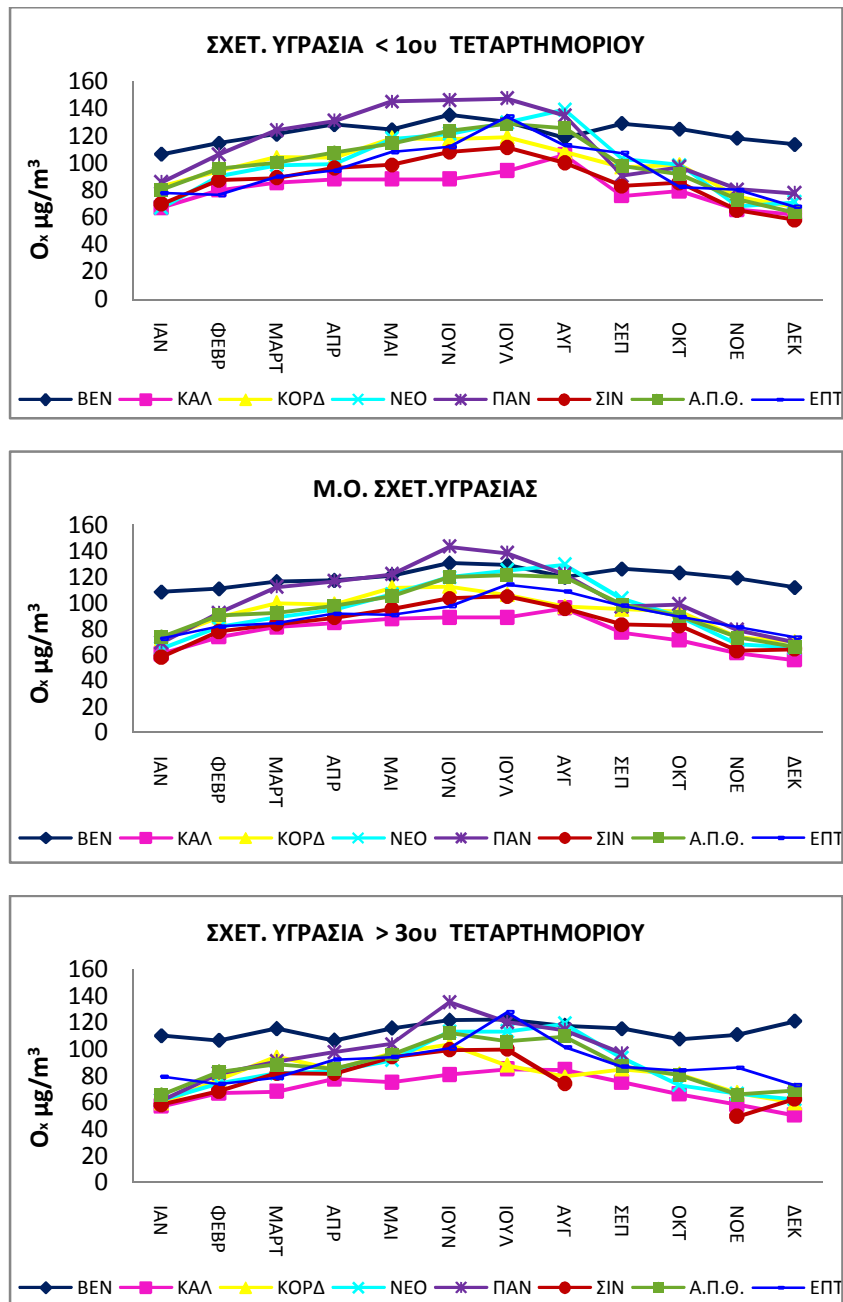
Από τα διαγράμματα του σχήματος 6.4, τεκμηριώνεται ότι κατά την θερμή περίοδο, η σχετική υγρασία δεν επηρεάζει καθόλου την συγκέντρωση των NO_x καθώς οι συγκεντρώσεις των NO_x , παραμένουν σχεδόν ίδιες σε όλους τους σταθμούς κατά την επικράτηση υψηλών ή χαμηλών επιπέδων υγρασίας. Στον αντίποδα, την ψυχρή περίοδο παρατηρείται, ότι η συγκέντρωση των NO_x εμφανίζει μικρή αύξηση για υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας, περισσότερο στους αστικούς και λιγότερο ή καθόλου στους περιαστικούς σταθμούς. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των NO_x , είναι της τάξης των $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στους περιαστικούς σταθμούς και τετραπλάσια, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στους αστικούς σταθμούς κατά μέσο όρο.

Από την παραπάνω παρατήρηση, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι περιαστικοί σταθμοί δέχονται μικρή ή και καθόλου επίδραση σε ετήσια κλίμακα, από τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας, δεδομένου ότι το αντίκτυπο που μπορεί να υπάρξει από την επίδραση της σχετικής υγρασίας στις περιαστικές περιοχές είναι μικρό λόγω της μικρής συγκέντρωσης ούτως ή άλλως γενικότερα των NO_x στις περιοχές αυτές.

Από την άλλη, οι αστικοί σταθμοί δέχονται σημαντική θετική επίδραση από την αύξηση της σχετικής υγρασίας, αναφορικά με την συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου που καταγράφουν. Ωστόσο, η θετική αυτή ισχύς της σχετικής υγρασίας πραγματοποιείται, μόνο κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου αφού η επίδραση του παραπάνω μετεωρολογικού παράγοντα στα NO_x , την θερμή περίοδο είναι πολύ μικρή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, ενώ η μέση μεταβολή της συγκέντρωσης των NO_x την θερμή είναι $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, η αντίστοιχη μεταβολή των NO_x την ψυχρή περίοδο είναι $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, δηλαδή σχεδόν πενταπλάσια. Η παραπάνω διαπίστωση της μεγαλύτερης δηλαδή επίδρασης των μεταβολών της σχετικής υγρασίας την ψυχρή περίοδο, αιτιολογείται με το γεγονός ότι η συγκέντρωση των NO_x την περίοδο αυτή είναι μεγαλύτερη, λόγω της μεγαλύτερης έκλυσης αυτών από πηγές.

Αυτό που πρέπει να διευκρινιστεί, είναι ο λόγος που υπάρχει θετικό αντίκτυπο στη συγκέντρωση των NO_x , κατά την αντίστοιχη αύξηση της σχετικής υγρασίας. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι η αρνητική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ του O_3 και των οξειδίων του αζώτου. Αναλυτικά, αυτό που συμβαίνει είναι ότι η υγρασία επιδρά έμμεσα και όχι άμεσα στην μεταβολή της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου, μέσω της σχέσης του O_3 και των NO_x . Καταυτό το τρόπο όταν επικρατούν υψηλά επίπεδα υγρασίας, αυξάνεται η συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου λόγω της καταστροφής του O_3 , ενώ αντίστοιχα όταν επικρατεί μείωση των επιπέδων υγρασίας, αυξάνεται η συγκέντρωση του O_3 , σε βάρος των οξειδίων του αζώτου.

Στα πλαίσια της έρευνας της επίδρασης της σχετικής υγρασίας στους ρύπους, πραγματοποιείται και έλεγχος της επίδραση του παραπάνω μετεωρολογικού παράγοντα στα O_x . Στο σχήμα 6.5, αποτυπώνονται οι εποχικές μεταβολές των O_x δεδομένης της επίδρασης της υγρασίας. Από τα τρία διαγράμματα παρατηρείται ότι, η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης αυτών των ρύπων, καταγράφεται στο σταθμό Πανοράματος, ενώ η ελάχιστη στο σταθμό Καλαμαριάς. Ωστόσο, αυτό που διαφαίνεται, είναι ότι αυξανόμενων των επιπέδων υγρασίας, μειώνεται όλο και



ΣΧΗΜΑ 6.5. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 , λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2001-2005.

περισσότερο η χρονική διάρκεια που ο σταθμός του Πανοράματος παραμένει ο σταθμός με την μεγαλύτερη συγκέντρωση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι για μικρές τιμές σχετικής υγρασίας, ο σταθμός του Πανοράματος καταγράφει τις μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης O_3 για χρονικό διάστημα έξι μηνών (Μάρτιος-Αύγουστος). Αντίθετα, αυξανόμενη αυτής, το διάστημα αυτό συρρικνώνεται σχεδόν στον ενάμιση μήνα (μέσα Μαΐου-Ιούλιος), ενώ στη συνέχεια τα ηγία αναλαμβάνει ο σταθμός της Βενιζέλου. Από την παραπάνω παρατήρηση, προκύπτει ότι η σχετική

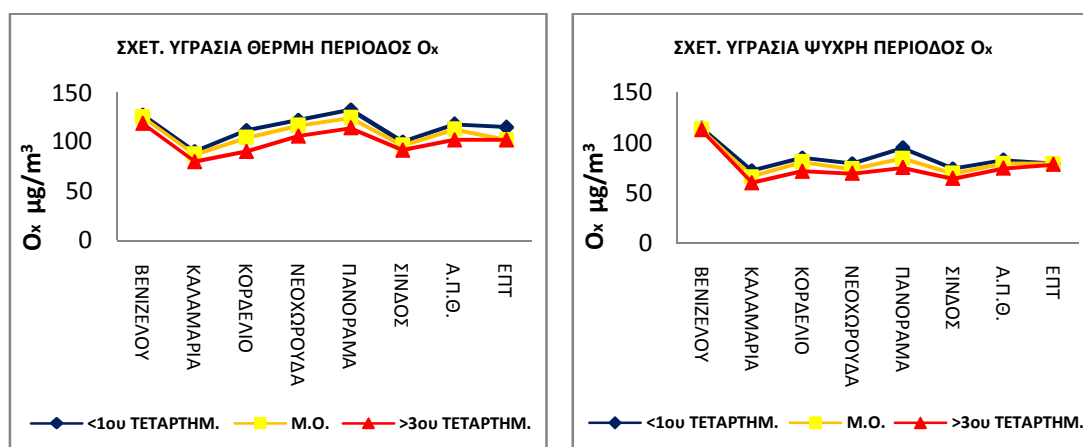
υγρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του σταθμού που θα καταγράψει την μέγιστη τιμή συγκέντρωσης.

Αυτό συμβαίνει λόγω της θέσης των σταθμών και της σύνθεσης των O_x (O_3 και NO_2). Η Βενιζέλου είναι αστικός, ενώ ο σταθμός του Πανοράματος περιαστικός σταθμός. Το ποσοστό του NO_2 στα O_x της Βενιζέλου, είναι περισσότερο από το O_3 , ενώ στο Πανόραμα αντίθετα, το ποσοστό του O_3 στα O_x είναι περισσότερο έναντι του NO_2 . Επιπλέον, παραπάνω εξήχθη το συμπέρασμα της μείωση του O_3 με την αύξηση της υγρασίας. Εφόσον λοιπόν η συγκέντρωση του O_3 στον σταθμό του Πανοράματος μειώνεται αυξανόμενης της σχετικής υγρασίας και η αντίστοιχη συγκέντρωση των O_x στο Πανόραμα θα έχει την ίδια συμπεριφορά. Αποτέλεσμα αυτού, είναι την μείωση του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο, ο συγκεκριμένος σταθμός καταγράφει τη μέγιστη συγκέντρωση O_x .

Προχωρώντας παρακάτω, στο σχήμα 6.6 απαντώνται τα διαγράμματα των συγκεντρώσεων των O_x , την θερμή και ψυχρή περίοδο εν μέσω επίδρασης υψηλής και χαμηλής σχετικής υγρασίας. Από το σχήμα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διαφορά στη συγκέντρωση των O_x μεταξύ της θερμής και ψυχρής περιόδου, επηρεάζεται σε ένα μικρό ποσοστό από τις κυμάνσεις της υγρασίας. Συγκεκριμένα, αν και η συγκέντρωση των O_x αυξάνεται τόσο την ψυχρή όσο και την θερμή περίοδο, συναρτήσει χαμηλών επιπέδων του παραπάνω παράγοντα σε σχέση με τα αντίστοιχα υψηλά, η αύξηση της συγκέντρωσης των O_x την θερμή περίοδο είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση αυτών την ψυχρή. Αυτό συμβαίνει, διότι όπως αναφέρθηκε για τον ίδιο ρύπο και στην ανάλυση της επίδρασης του ανέμου, τα O_x περιέχουν ποσοστά όζοντος, του οποίου η συγκέντρωση αυξάνει την θερμή περίοδο. Αν αυξηθεί λόγω της μείωσης της υγρασίας, μεγαλύτερο αντίκτυπο στα O_x υπάρχει την θερμή ενώ πολύ μικρότερο στην ψυχρή περίοδο, όπου γενικότερα το O_3 εμφανίζεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις.

Επιπλέον εκτός του παραπάνω συμπεράσματος αποκαλύπτονται και κάποια επιπλέον. Αναλυτικά εντοπίζεται ότι οι μεταβολές του εν λόγω μετεωρολογικού παράγοντα, έχουν πολύ μεγαλύτερη επίδραση στους περιαστικούς σε σχέση με τους αστικούς σταθμούς. Το παραπάνω τεκμηριώνεται από το εύρος των τιμών των συγκεντρώσεων των O_x ανάμεσα στις καμπύλες χαμηλών και υψηλών τιμών υγρασίας του διαγράμματος, το οποίο διευρύνεται σε όλους τους σταθμούς, αλλά

κυρίως στους περιβαστικούς σταθμούς σε σχέση με την ψυχρή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός όπως έχει ήδη αναφερθεί στο O_3 , που από την μία κατέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση την θερμή περίοδο του έτους (και αυτό είναι ο λόγος όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές τους τη περίοδο αυτή), και από την άλλη, στο ότι ο ίδιος ρύπος, περιέχεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα στα O_x των περιβαστικών σταθμών με αποτέλεσμα και το αντίκτυπο σαυτούς να είναι μεγαλύτερο.



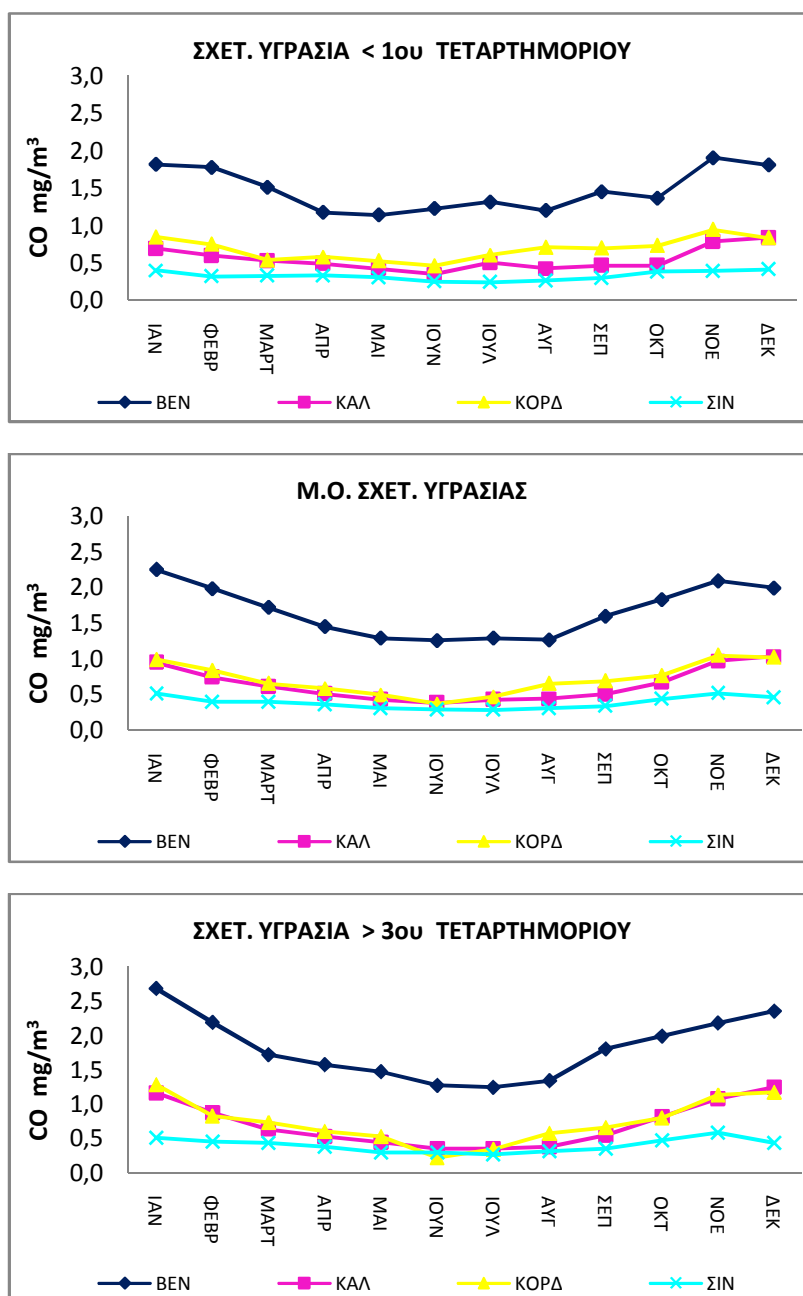
ΣΧΗΜΑ 6.6. Μεταβολές στη συγκέντρωση του O_x , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

Την ψυχρή περίοδο τόσο στους αστικούς, όσο και στους περιβαστικούς σταθμούς η επίδραση της σχετικής υγρασίας, φαίνεται να υπολείπεται της αντίστοιχης επίδρασης την θερμή. Αυτό διακρίνεται από το διάγραμμα, παρατηρώντας, ότι μειώνεται το εύρος της διαφοράς μεταξύ των δύο καμπύλων που αντιπροσωπεύουν τα υψηλά και τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας αντίστοιχα. Εξαίρεση αποτελεί το Πανόραμα που φαίνεται να είναι ο μοναδικός σταθμός που έχει το ίδιο αντίκτυπο στην υγρασία με την θερμή περίοδο, πιθανότατα λόγω των ιδιαίτερα υψηλών τιμών του σε O_3 σε σχέση με τους υπολοίπους σταθμούς ακόμη και την ψυχρή περίοδο.

Το δεύτερο συμπέρασμα αναφέρεται στο ότι, όσο την ψυχρή όσο και την θερμή περίοδο η συγκέντρωση των O_x μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας, ενώ αντίθετα αυξάνει με την μείωση αυτής. Το γεγονός αυτό, αιτιολογείται με την λογική, ότι τα O_x περιέχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε όζον. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό

με την θετική επίδραση της χαμηλής υγρασίας στη συγκέντρωση του όζοντος, οδηγεί εύκολα στο παραπάνω συμπέρασμα

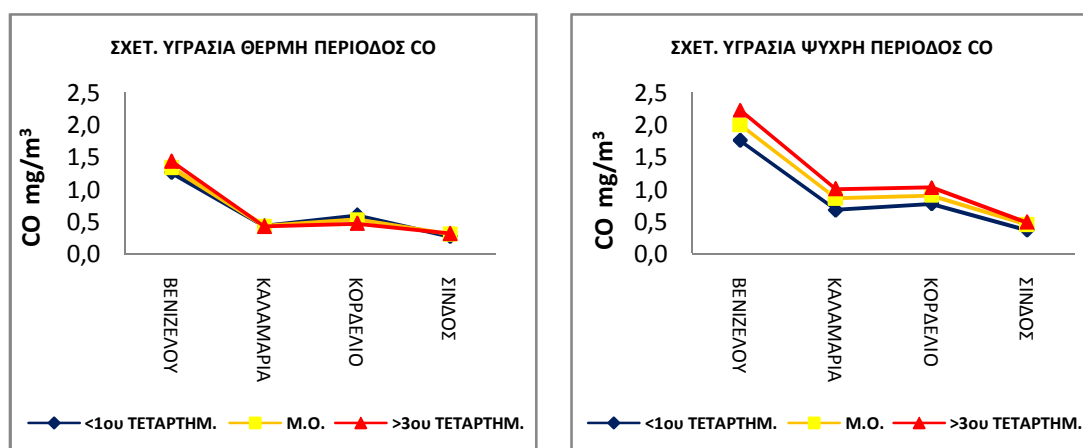
Εφόσον αναλύθηκαν τα O_3 , με σκοπό την απόκτηση πλήρους εικόνας της επίδρασης της σχετικής υγρασίας στους ρύπους, αναλύεται παρακάτω το μονοξείδιο του άνθρακα.



ΣΧΗΜΑ 6.7. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του CO, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο 2001-2005.

Στο σχήμα 6.7 παραπάνω, παρουσιάζονται οι εποχικές μεταβολές του εν λόγω ρύπου, συναρτήσει διαφορετικών επιπέδων υγρασίας. Όπως αναμενόταν δεδομένου και της καταγραφής του μεγίστου των NO_x στο σταθμό αυτό, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις CO καταλαμβάνει η Βενιζέλου, ενώ στον αντίποδα βρίσκεται η Σίνδος, επίσης αναμενόμενο, μιας και αποτελεί το μοναδικό βιομηχανικό-περιαστικό σταθμό από τους τέσσερις σταθμούς στους οποίους μελετάται η επίδραση της σχετικής υγρασίας στο CO. Παρατηρώντας και τα τρία διαγράμματα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τόσο η εμφάνιση των ακρότατων τιμών σε συγκεκριμένους σταθμούς όσο και η εποχικότητα αυτών, δεν εξαρτώνται από την σχετική υγρασία. Η παραπάνω άποψη τεκμηριώνεται από την διαπίστωση ότι οι σταθμοί της Βενιζέλου και της Σίνδου, συνεχίζουν να καταγράφουν τις ακρότατες τιμές ανεξαρτήτως των μεταβολών της σχετικής υγρασίας. Από την άλλη, τα μέγιστα και τα ελάχιστα της συγκέντρωσης του CO, εξακολουθούν να εμφανίζονται την ψυχρή και την θερμή περίοδο αντίστοιχα, με πολύ μικρές ωστόσο εξαιρέσεις μόνο ως προς το μέγιστο την ψυχρή περίοδο για το σταθμό της Βενιζέλου.

Περνώντας και ολοκληρώνοντας με αυτό το τρόπο την ανάλυση της επίδρασης της σχετικής υγρασίας στο CO, στο σχήμα 6.8 αναλύεται η δυναμική επίδρασης της σχετικής υγρασίας τόσο στην θερμή όσο και στην ψυχρή περίοδο στο CO.



ΣΧΗΜΑ 6.8. Μεταβολές στη συγκέντρωση του CO, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της σχετικής υγρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

Με την πρώτη ματιά αυτό που διακρίνεται, είναι ότι τα αυξημένα επίπεδα σχετικής υγρασίας, ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης του CO καθόλο το έτος, με έμφαση στην ψυχρή περίοδο. Το αμέσως επόμενο συμπέρασμα που εξάγεται, είναι

ότι η συγκέντρωση του παραπάνω ρύπου, αποκτά μεγαλύτερη ευαισθησία στην μεταβολή της σχετικής υγρασίας την ψυχρή παρά την θερμή περίοδο, αφού την θερμή η σχετική υγρασία φαίνεται να επιδρά ελάχιστα ή και καθόλου στη συγκέντρωση του CO. Αυτό συμβαίνει διότι, την θερμή περίοδο το δείγμα CO είναι μικρότερο από αυτό της ψυχρής περιόδου με αποτέλεσμα, κάθε επίδραση της υγρασίας να έχει μικρότερο αντίκτυπο στο μικρότερο δείγμα απ'ότι στο μεγάλο. Τέλος αν και το αντιπροσωπευτικό δείγμα των περιαστικών σταθμών είναι μικρό, δεδομένου ότι ο μοναδικός περιαστικός σταθμός που καταγράφει CO είναι η Σίνδος, διακρίνεται ότι τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο, η υγρασία δεν επιδρά σαυτούς όσον αφορά το CO. Από την άλλη, οι αστικοί σταθμοί επηρεάζονται από την σχετική υγρασία αλλά μόνο την ψυχρή περίοδο, ενώ η συγκέντρωση του CO σαυτούς αυξάνεται με τρόπο ανάλογο των μεταβολών της σχετικής υγρασίας.

Παρακάτω αναλύεται η αιτία της μείωσης της συγκέντρωσης του CO κατά την μείωση της σχετικής υγρασίας. Το O₃ αυξάνει με την μείωση της σχετικής υγρασίας. Επίσης, το CO όπως και τα NO_x, διατηρούν μιά αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το O₃, δεδομένου ότι και οι δύο ρύποι καταστρέφονται προς όφελος δημιουργίας του O₃, σύμφωνα με τις χημικές αντιδράσεις που έχουν καταγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αν συνδιαστούν οι δύο παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν εύκολα στην εξήγηση της αντίστοιχης αναλογικής αύξησης της συγκέντρωσης του CO με την μεταβολή της σχετικής υγρασίας.

6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΣΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ

ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ 2001-2005.

Με γνώμονα την εξαγωγή ασφαλών και ολοκληρωμένων συμπερασμάτων, αναφορικά με την επίδραση που έχουν οι μετεωρολογικοί παράγοντες στους ρύπους, αποτελεί επιτακτική ανάγκη η διερεύνηση του αντίκτυπου που επιφέρεται σε αυτούς, μέσω των μεταβολών της θερμοκρασίας. Για το σκοπό αυτό, συλλέχθησαν δεδομένα θερμοκρασίας και ρύπων οκτώ (δύο από τον δήμο και έξι από την περιφέρεια) από τους συνολικά δώδεκα σταθμούς που συμμετέχουν στην παρούσα έρευνα, λόγω της

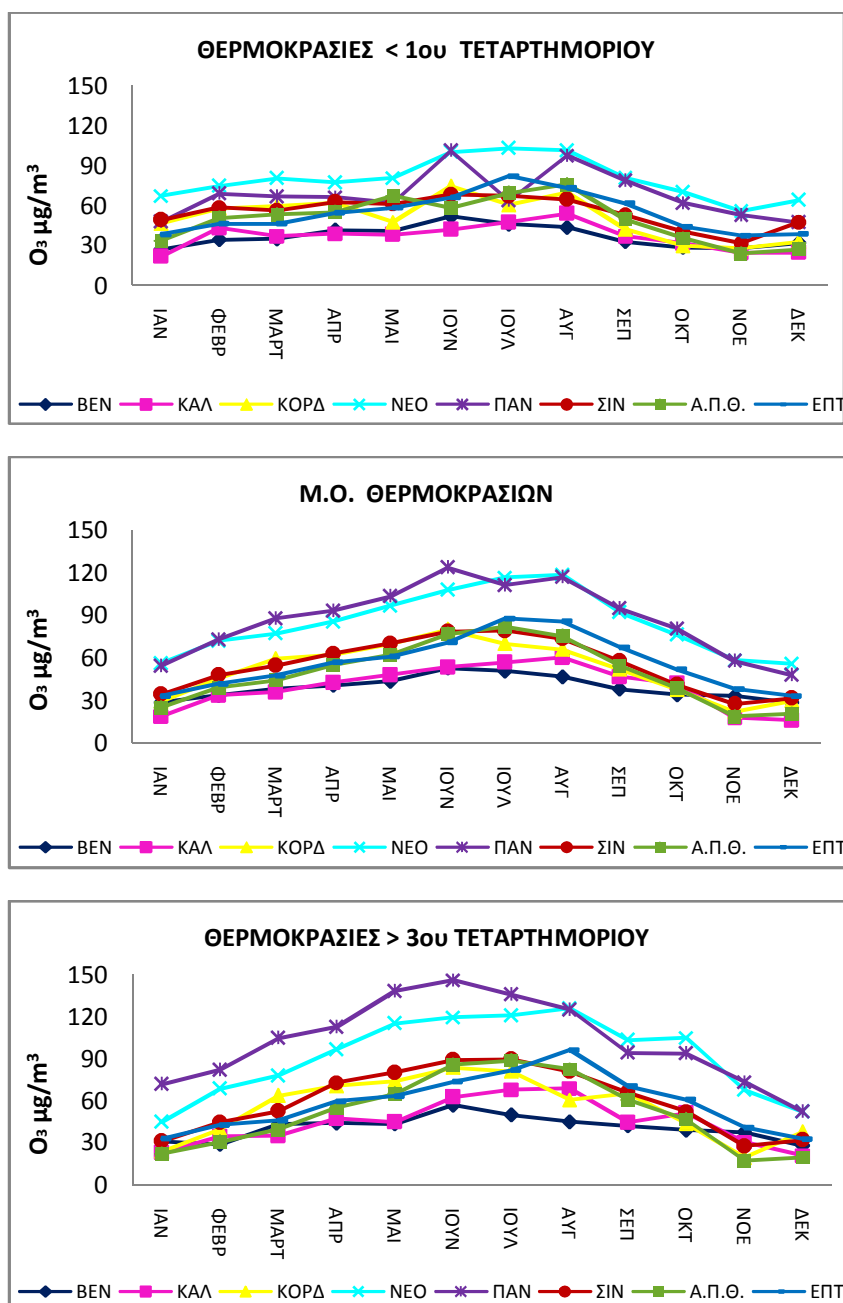
μη καταγραφής μετεωρολογικών δεδομένων από τους υπόλοιπους τέσσερις σταθμούς.

Όπως και στις προηγούμενες τρεις παραμέτρους, ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, αλλά και σχετικής υγρασίας, ακολούθησε η διαδικασία της επιλογής τιμών ρύπων (O_3 , NO_x , O_x και CO), με κριτήριο τιμές θερμοκρασίας μικρότερες του 25% και μεγαλύτερες του 75% του συνόλου των τιμών της. Ακολούθως, η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε τόσο για την θερμή (Μάιος έως Σεπτέμβριος), όσο και για την ψυχρή περίοδο (Νοέμβριος έως Μάρτιος) του έτους, ενώ παράλληλα ακολούθησαν συγκρίσεις των διαφορών των συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των δύο περιόδων για μικρές και μεγάλες τιμές θερμοκρασίας αντίστοιχα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων τόσο μεταξύ 1^{ου} και 3^{ου} τεταρτημορίου κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο, όσο και το αντίστροφο με σκοπό την εξαγωγή δύο συμπερασμάτων. Πρώτον, κατά πόσο επηρεάζει και πώς η μεταβολή της θερμοκρασίας τους ρύπους που αναφέρθηκαν, αλλά και ποιά περίοδο του έτους η επιρροή αυτή είναι μεγαλύτερη. Τα πρώτα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης τα οποία αφορούν το O_3 αποτυπώνονται παρακάτω, στο σχήμα 6.9.

Στο σχήμα 6.9 παρουσιάζονται οι μεταβολές της συγκέντρωσης του O_3 κατά την διάρκεια του έτους, συναρτήσει των μεταβολών της θερμοκρασίας. Στο πρώτο διάγραμμα διακρίνεται η μεταβολή του O_3 για χαμηλές τιμές θερμοκρασιών, στο δεύτερο εμφανίζεται η συγκέντρωση του ρύπου αυτού, συναρτήσει του μέσου όρου των τιμών θερμοκρασίας, ενώ στο τρίτο αποτυπώνονται οι αντίστοιχες μεταβολές του συγκεκριμένου ρύπου, όταν επικρατούν υψηλές τιμές του παραπάνω μετεωρολογικού παράγοντα. Από τα τρία διαγράμματα παρατηρείται ότι η μεταβολή θερμοκρασίας, δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο καθορισμό του σταθμού που καταγράφει τις μέγιστες αλλά και τις ελάχιστες συγκεντρώσεις όζοντος. Λόγω των υψηλών τιμών συγκέντρωσης όζοντος που χαρακτηρίζει τους περιστατικούς σταθμούς, παρατηρείται ότι το μέγιστο της συγκέντρωσης του εξεταζόμενου ρύπου, μοιράζεται μεταξύ της Νεοχωρούδας και του Πανοράματος. Αντίθετα, λόγω της αντίστοιχης χαμηλότερης συγκέντρωσης του ίδιου ρύπου που χαρακτηρίζει τους αστικούς σταθμούς, η ελάχιστη τιμή O_3 μοιράζεται μεταξύ των σταθμών Βενιζέλου και Καλαμαριάς.

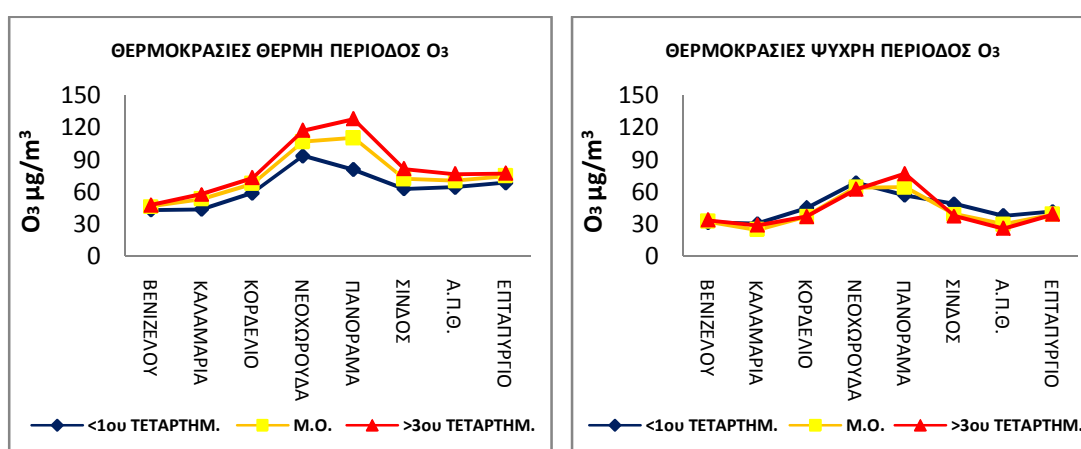
Η παραπάνω διαπίστωση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την επιλογή του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές

συγκέντρωσης του O_3 , αφού οι περιαστικοί σταθμοί καταγράφουν την μέγιστη ενώ από την άλλη οι περιαστικοί την ελάχιστη τιμή του O_3 , ανεξαρτήτως των μεταβολών της θερμοκρασίας. Επίσης, ο ίδιος παράγοντας, δεν επιδρά στην εποχικότητα εμφάνισης των μεγίστων ή ελαχίστων συγκεντρώσεων O_3 , αφού όπως πιστοποιείται τα ακρότατα αυτά, εμφανίζονται τις ίδιες εποχές και ακόμη περισσότερο τους ίδιους μήνες του έτους, ανεξάρτητα των μεταβολών της θερμοκρασίας.



ΣΧΗΜΑ 6.9. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 , λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά την περίοδο 2001-2005.

Προχωρώντας παρακάτω, από το σχήμα 6.10 πιστοποιείται ότι η θερμοκρασία επηρεάζει περισσότερο την συγκέντρωση του O_3 κυρίως την θερμή περίοδο και κυρίως τους περιαστικούς σταθμούς. Ειδικότερα στο διάγραμμα της θερμής περιόδου παρατηρούνται τα εξής. Κατά πρώτον, διαφαίνεται ότι την θερμή περίοδο η συγκέντρωση του O_3 επηρεάζεται κυρίως στους περιαστικούς και πολύ λιγότερο στους αστικούς σταθμούς, καθώς το εύρος των καμπυλών στους πρώτους είναι περισσότερο διευρυνόμενο από αυτό των δεύτερων. Το γεγονός αυτό, δεν οφείλεται πουθενά αλλού, παρά στην πολύ μικρότερη συγκέντρωση όζοντος στους αστικούς σταθμούς.



ΣΧΗΜΑ 6.10. Μεταβολές στη συγκέντρωση του O_3 , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της θερμοκρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

Κατά δεύτερον, διαπιστώνεται ότι σε όλους τους σταθμούς η συγκέντρωση του όζοντος αυξάνει όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Ούτε αυτή η διαπίστωση εγείρει κάποιο προβληματισμό, δεδομένου ότι συνήθως οι υψηλές θερμοκρασίες συνδέονται με αντικυκλωνικά συστήματα και μεγάλη ηλιοφάνεια, όπου μέσω αυτής, προσφέρεται η ενέργεια για να πραγματοποιηθούν οι φωτοχημικές αντιδράσεις που δημιουργούν το O_3 .

Αυτό που χρήζει προσοχής, είναι ότι αν και ο σταθμός της Σίνδου παρουσιάζεται σαν περιαστικός σταθμός, εμφανίζει μεταβολές ενδιάμεσων συγκεντρώσεων των δύο κατηγοριών σταθμών, αφού ούτε από την μία εμφανίζει τόσο μεγάλη μεταβλητότητα στο O_3 λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας όπως οι άλλοι περιαστικοί, αλλά ούτε και τόσο μικρή όσο οι αστικοί σταθμοί. Το συμπέρασμα αυτό, εν μέσω καχυποψίας, θα μπορούσε να προβληματίσει, σχετικά με

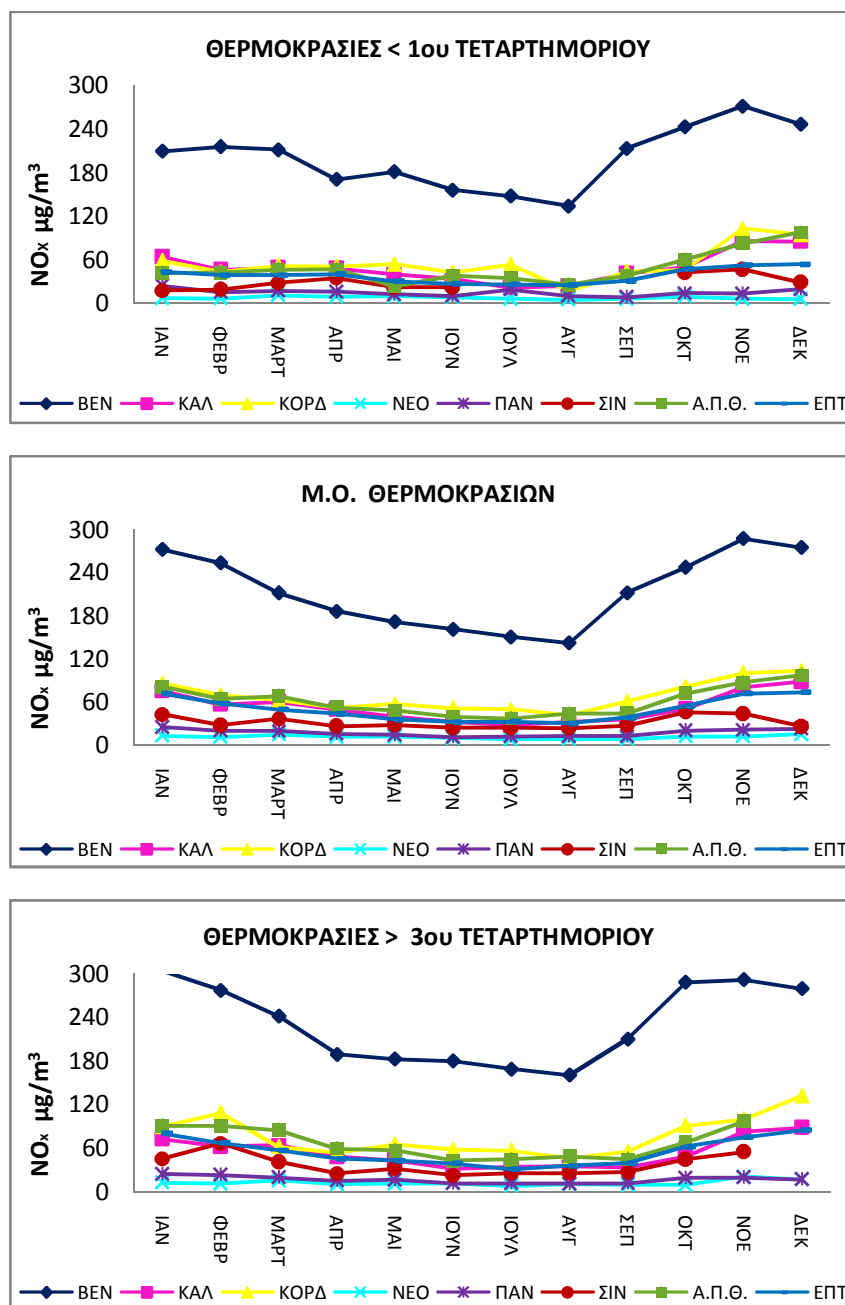
το αν ο σταθμός αυτός θα πρέπει εν τέλει να καταταχθεί στους αστικούς σταθμούς. Ωστόσο, το γεγονός του χαρακτηρισμού του και ως βιομηχανικός-περιαστικός σταθμός, λόγω της εκτεταμένης εγκατάστασης βιομηχανικών μονάδων εκεί, εκλογικεύει την συσσώρευση μεγαλύτερης συγκέντρωσης NO_x καθώς και μικρότερη συγκέντρωση όζοντος, σε σχέση με τους άλλους περιαστικούς σταθμούς. Συνεπώς, η απόσταση από την πόλη καθώς και οι σαφώς μικρότερες συγκεντρώσεις αστικών ρύπων (NO_x, CO) από τους κατεξοχήν αστικούς, κατατάσσει τον σταθμό της Σίνδου στους περιαστικούς σταθμούς.

Αναφορικά με το διάγραμμα της ψυχρής περιόδου, παρατηρείται ότι οι μεταβολές του όζοντος στις αντίστοιχες επιδράσεις της θερμοκρασίας δεν είναι μεγάλες, δεδομένου ότι τον χειμώνα δεν παράγεται τόσο O_3 λόγω της εκτεταμένης νεφοκάλυψης που αναστέλλει τη πραγματοποίηση φωτοχημικών αντιδράσεων για την παραγωγή του. Επιπλέον όλοι οι σταθμοί εκτός της Βενιζέλου και του Πανοράματος, παρουσιάζουν αύξηση του όζοντος για χαμηλές θερμοκρασίες. Η Βενιζέλου, δεν εμφανίζει καμία μεταβολή στο O_3 κατά την επίδραση της θερμοκρασίας, πολύ πιθανόν λόγω της πολύ μικρής συγκέντρωσης σε αυτό (όπως φαίνεται και στα διαγράμματα του σχήματος 6.13), μιας και είναι κατεξοχήν αστικός σταθμός δεδομένου ότι το όζον είναι περιαστικός ρύπος.

Αυτό που δεν φαίνεται λογικό, είναι ότι το O_3 αυξάνει για μικρές τιμές θερμοκρασίας, τόσο σε αστικό όσο και σε περιαστικό επίπεδο εκτός του Πανοράματος. Η φαινομενική ανωμαλία, κατά την οποία, μειώνεται η συγκέντρωση του O_3 όταν αυξάνεται η θερμοκρασία την ψυχρή περίοδο, εξηγείται μέσω του αντίστοιχου διαγράμματος των NO_x , το οποίο παρατίθεται παρακάτω στην ανάλυση τους. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι την ψυχρή περίοδο τα NO_x αυξάνουν όταν αυξάνει η θερμοκρασία, γεγονός αντίθετο σε αυτό που θα ανέμενε κάποιος, μιας και αυξάνονται οι εκπομπές NO_x μέσω της θέρμανσης των κατοικιών, η οποία συνεισφέρει κατά 13% στο σύνολο των εκπομπών των (Hao et al., 2005).

Η παραπάνω διαπίστωση, της αύξησης δηλαδή των NO_x και της παράλληλης μείωσης του όζοντος, δεν θεωρείται τυχαία δεδομένης της σχέσης αλληλεξάρτησης των ρύπων αυτών. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, η διαπίστωση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μείωση αυτή την ψυχρή περίοδο, πιθανότατα να οφείλεται στην καταστροφή του όζοντος από το NO , η οποία οδηγεί στο σχηματισμό του NO_2 και

τελικά σε αύξηση των NO_x . Ο μηχανισμός αυτός, δεν λαμβάνει χώρα μόνο την ψυχρή περίοδο. Ο μηχανισμός αυτός καταστροφής του όζοντος, φαίνεται απλά να υπερτερεί του φωτοχημικού μηχανισμού που δημιουργεί O_3 την ψυχρή, αφού την θερμή περίοδο η φωτοχημεία, υπερκαλύπτει το ποσοστό καταστροφή του O_3 .



ΣΧΗΜΑ 6.11. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση των NO_x , λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά την περίοδο 2001-2005.

Παρόλαυτα, εγείρονται ερωτήματα, σχετικά με το λόγο που το Πανόραμα παρουσιάζει εμμονή στην αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 , εν μέσω της αύξησης

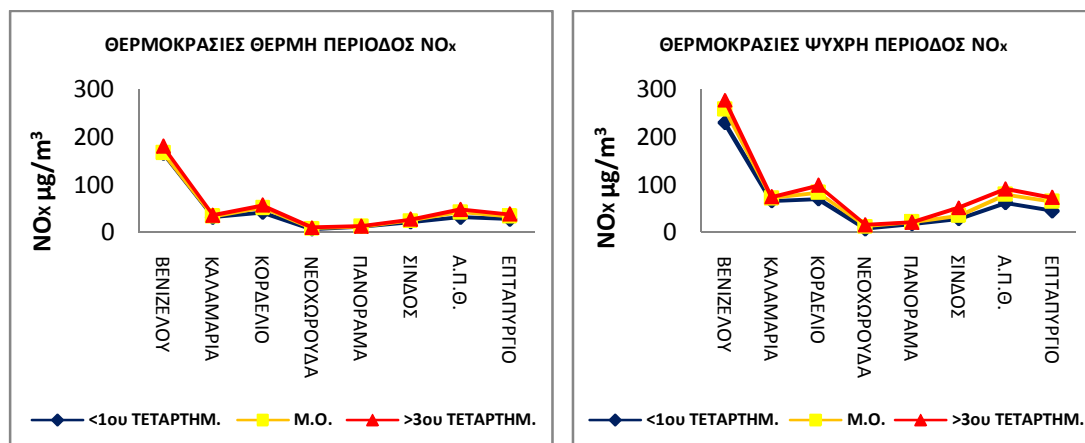
της θερμοκρασίας, χωρίς να ακολουθεί την συμπεριφορά των άλλων σταθμών, όχι μόνο των αστικών αλλά ακόμη και σταθμών που εμφανίζει μεγάλη συσχέτιση, όπως η Νεοχωρούδα. Το Πανόραμα, όπως αναφέρθηκε, καταγράφει μικρότερες ποσότητες υποβάθρου όζοντος από την Νεοχωρούδα την ψυχρή περίοδο. Αυτό το κάνει λιγότερο ευάλωτο στη καταστροφή του από το NO, ενώ όπως προκύπτει παρακάτω και από την ανάλυση των NO_x στο σχήμα 6.11, στο Πανόραμα καταγράφονται οι μικρότερες ποσότητες NO_x από όλους τους σταθμούς με αποτέλεσμα, να μην προκαλείται αξιόλογη καταστροφή του O₃. Εφόσον λοιπόν στο Πανόραμα υπάρχουν λιγότερες απώλειες, η αύξηση της θερμοκρασίας, υπομοχλεύει έμμεσα, την αύξηση της συγκέντρωσης του O₃ στο σταθμό αυτό.

Συνεχίζοντας, παρακάτω αναλύεται η επίδραση της θερμοκρασίας στα NO_x. Στο σχήμα 6.11 εμφανίζονται οι εποχικές μεταβολές των NO_x συναρτήσει της θερμοκρασίας και των μεταβολών αυτής. Από τα τρία διαγράμματα του σχήματος, διακρίνεται ότι η Βενιζέλου αποτελεί τον σταθμό με την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε οξειδία του αζώτου, ενώ ο σταθμός με την ελάχιστη είναι ο σταθμός του Πανοράματος. Η θερμοκρασία όπως διακρίνεται, δεν διαδραματίζει κανένα ρόλο όσον αφορά την επιλογή των σταθμών με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές, αφού τόσο για υψηλές όσο και για χαμηλές θερμοκρασίες, οι σταθμοί που καταγράφουν τις ακρότατες τιμές παραμένουν ίδιοι. Παράλληλα, η θερμοκρασία δεν δείχνει να επιδρά και στην εποχικότητα των μεγίστων και ελαχίστων τιμών NO_x, αφού οι ακρότατες τιμές των σταθμών εμφανίζουν σταθερή εποχική εμφάνιση, ανεξαρτήτως των μεταβολών της θερμοκρασίας.

Από το σχήμα 6.12 αποκαλύπτεται επίσης, ότι η θερμοκρασία δεν διαδραματίζει ιδιαίτερο ρόλο στις μεταβολές της συγκέντρωσης των NO_x. Πιο αναλυτικά από το παρακάτω σχήμα, παρατηρείται ότι την θερμή περίοδο δεν υπάρχει καμία μεταβολή της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου είτε για υψηλές είτε για χαμηλές θερμοκρασίες σε όλους τους σταθμούς, αστικούς και περιαστικούς. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στη μικρή συγκέντρωση των οξειδίων που εκλύονται από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα την θερμή περίοδο στους αστικούς και πολύ περισσότερο στους περιαστικούς σταθμούς. Την ψυχρή περίοδο, παρατηρούνται μικρές μεταβολές της συγκέντρωσης των NO_x στους αστικούς σταθμούς μόνο, αφού η μεταβολή της συγκέντρωσης αυτών στους περιαστικούς σταθμούς με εξαίρεση τη Σίνδο, θεωρείται εκ του ασφαλούς (1 μg/m³) αμελητέα. Για τη Σίνδο, διαφαίνεται

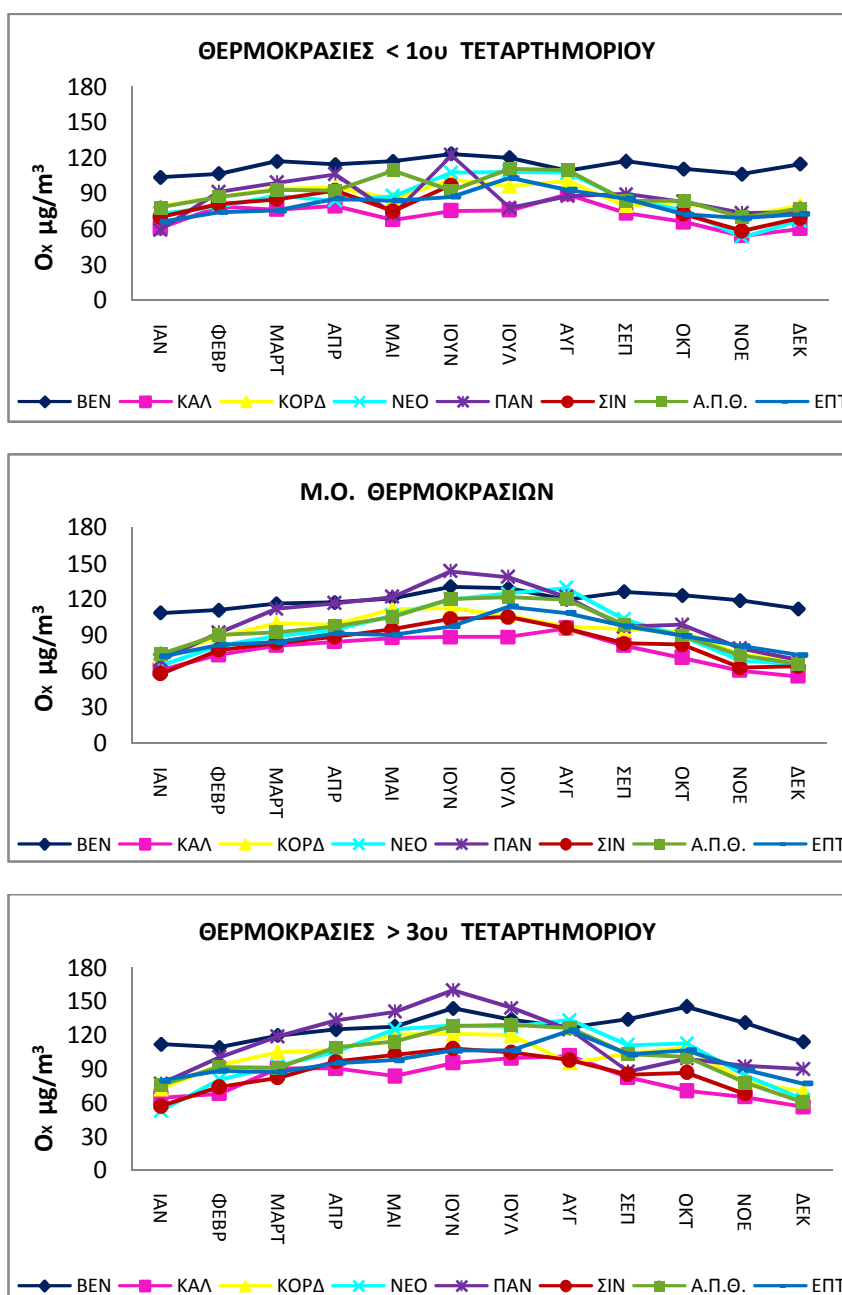
μικρή αύξηση της συγκέντρωσης της, όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες που ωστόσο δεν αγγίζουν ούτε τα υψηλά από την μία επίπεδα αύξησης των αστικών, αλλά ούτε και τα πολύ χαμηλά επίπεδα NO_x των περιαστικών σταθμών. Το γεγονός αυτό αιτιολογείται σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για αυτήν παραπάνω στο O₃.

Επαναφέροντας στο προσκήνιο τους αστικούς σταθμούς, παρατηρείται ότι για υψηλές θερμοκρασίες (όσο μπορούν να θεωρηθούν υψηλές την ψυχρή περίοδο), η συγκέντρωση των εξεταζόμενων ρύπων αυξάνεται. Η κοινή λογική επιτάσσει, οι συγκεντρώσεις των NO_x να αυξάνονται την ψυχρή περίοδο, αλλά για μικρότερες θερμοκρασίες. Όταν επικρατεί ψύχος, οι ανάγκες για θέρμανση είναι μεγαλύτερες και εξίσου ανάλογες είναι και οι εκλύσεις NO_x που παράγονται από την οικιακή θέρμανση (αύξηση κατά 13%) (Hao *et al.*, 2005). Ωστόσο, διακρίνεται ότι συμβαίνει το αντίθετο, γεγονός που οφείλεται όχι τόσο άμεσα στη θερμοκρασία αλλά έμμεσα. Πιθανότατα λοιπόν η αύξηση της συγκέντρωσης των NO_x (NO+NO₂) να οφείλεται στην καταστροφή του όζοντος από το NO προς όφελος σχηματισμού NO₂, ενώ ο πιθανός, έμμεσος ρόλος της θερμοκρασίας, είναι να δημιουργεί τις ευνοϊκές εκείνες συνθήκες (θερμοκρασίες κατωφλίου), στις οποίες πραγματοποιούνται οι παραπάνω φωτοχημικές αντιδράσεις.



ΣΧΗΜΑ 6.12. Μεταβολές στη συγκέντρωση των NO_x, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της θερμοκρασίας κατά το διάστημα 2001-2005.

Αναλύοντας επαρκώς την επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας στα NO_x, η διερεύνηση προχωρά και στα O_x (O₃+NO₂). Στο σχήμα 6.13, παρουσιάζεται η εποχική μεταβολή αυτών συναρτήσει των μεταβολών της θερμοκρασίας.



ΣΧΗΜΑ 6.13. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση των O_3 , λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά την περίοδο 2001-2005.

Από τα τρία διαγράμματα παρατηρείται, ότι η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης O_3 καταγράφεται σε διαφορετικούς σταθμούς συναρτήσει των αυξομειώσεων θερμοκρασίας, ενώ από την άλλη το ελάχιστο παρά τις αυξομειώσεις του εν λόγω παράγοντα, παρουσιάζεται ανεξάρτητο. Συγκεκριμένα, όταν οι τιμές της θερμοκρασίας αγγίζουν τα χαμηλά επίπεδα, ο σταθμός που συγκεντρώνει το μέγιστο των συγκεντρώσεων είναι ο σταθμός της Βενιζέλου, ενώ αντίθετα, όταν οι

θερμοκρασίες αυξάνονται καταγράφοντας τις μεγαλύτερες τιμές τους, το μέγιστο εντοπίζεται στο σταθμό Πανοράματος.

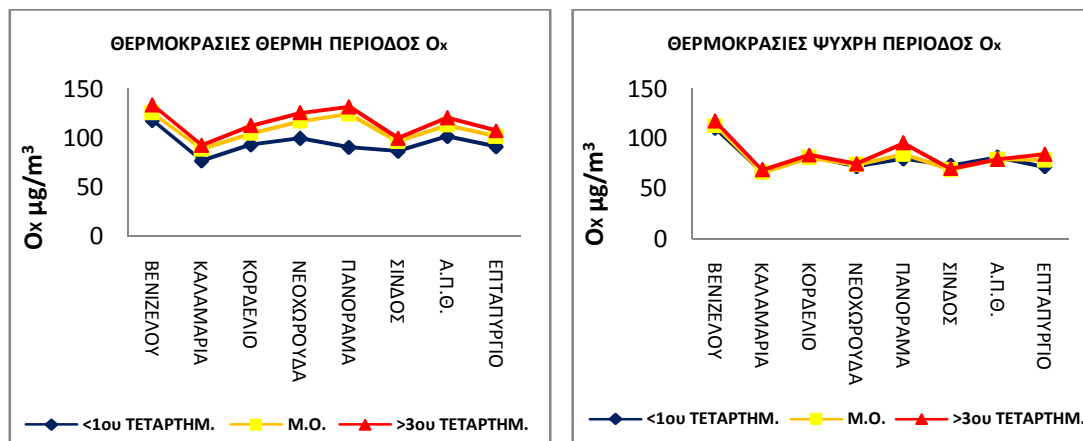
Η παραπάνω συμπεριφορά εξηγείται εύκολα, αν αναλογιστεί ότι τα O_x την ψυχρή περίοδο, υιοθετούν περισσότερο την συμπεριφορά του NO_2 στους αστικούς σταθμούς, ενώ οι αντίστοιχοι ρύποι την θερμή περίοδο κυρίως στους περιαστικούς σταθμούς, υιοθετούν τη συμπεριφορά του O_3 .

Αυτό συμβαίνει, δεδομένου ότι το NO_2 την ψυχρή περίοδο είναι περισσότερο από το O_3 στους αστικούς, ενώ την αντίστοιχη θερμή το O_3 υπερέχει του NO_2 στους περιαστικούς σταθμούς. Για το λόγο αυτό, εφόσον η Βενιζέλου κατέχει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε NO_x , κατέχει και τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε NO_2 , με αποτέλεσμα να καταγράφονται εκεί οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις O_x για χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως επιτυγχάνονται την ψυχρή περίοδο.

Από την άλλη, οι υψηλές θερμοκρασίες, πιστοποιούνται την θερμή περίοδο στους περιαστικούς σταθμούς, όπου λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας παράγεται περισσότερο O_3 . Με δεδομένο ότι την θερμή περίοδο μειώνονται οι εκλύσεις σε NO_x , ενώ παράλληλα δεν υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος στους αστικούς σταθμούς, το μέγιστο της συγκέντρωσης των O_x μετατοπίζεται από τον αστικό στο σταθμό της Βενιζέλου, στον περιαστικό του Πανοράματος. Παρά τις αλλαγές που παρατηρούνται ως προς τους σταθμούς που εμφανίζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις O_x , δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές ως προς την εποχικότητα της εμφάνισης των ακρότατων τιμών αυτής. Σχεδόν όλοι οι σταθμοί, με εξαίρεση την Βενιζέλου (μέγιστο για χαμηλές θερμοκρασίες τον Σεπτέμβριο, ενώ για αντίστοιχες υψηλές τον Οκτώβριο), εμφανίζουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους, σε σταθερό χρόνο στο ετήσιο φάσμα.

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των O_x , στο σχήμα 6.14 παρουσιάζονται οι αυξομειώσεις των συγκεντρώσεις αυτών στις επιδράσεις της θερμοκρασίας. Από το παρακάτω σχήμα εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα. Κατά την θερμή περίοδο, η θερμοκρασία διαδραματίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην παραγωγή O_x , καθώς αυτή αυξάνεται αναλογικά με την θερμοκρασία. Στον αντίποδα την ψυχρή περίοδο, δεν διαφαίνεται καμία σημαντική μεταβολή στις συγκεντρώσεις των O_x κατά τις αντίστοιχες μεταβολές του συγκεκριμένου μετεωρολογικού παράγοντα, με μοναδική εξαίρεση το σταθμό του Πανοράματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι την ψυχρή

περίοδο οι διαφορές των υψηλών και των αντίστοιχα χαμηλών θερμοκρασιών δεν έχουν μεγάλη διαφορά, που θα μπορούσε να προσδώσει κάποια αξιολογή μεταβολή στην συγκέντρωση των O_x .

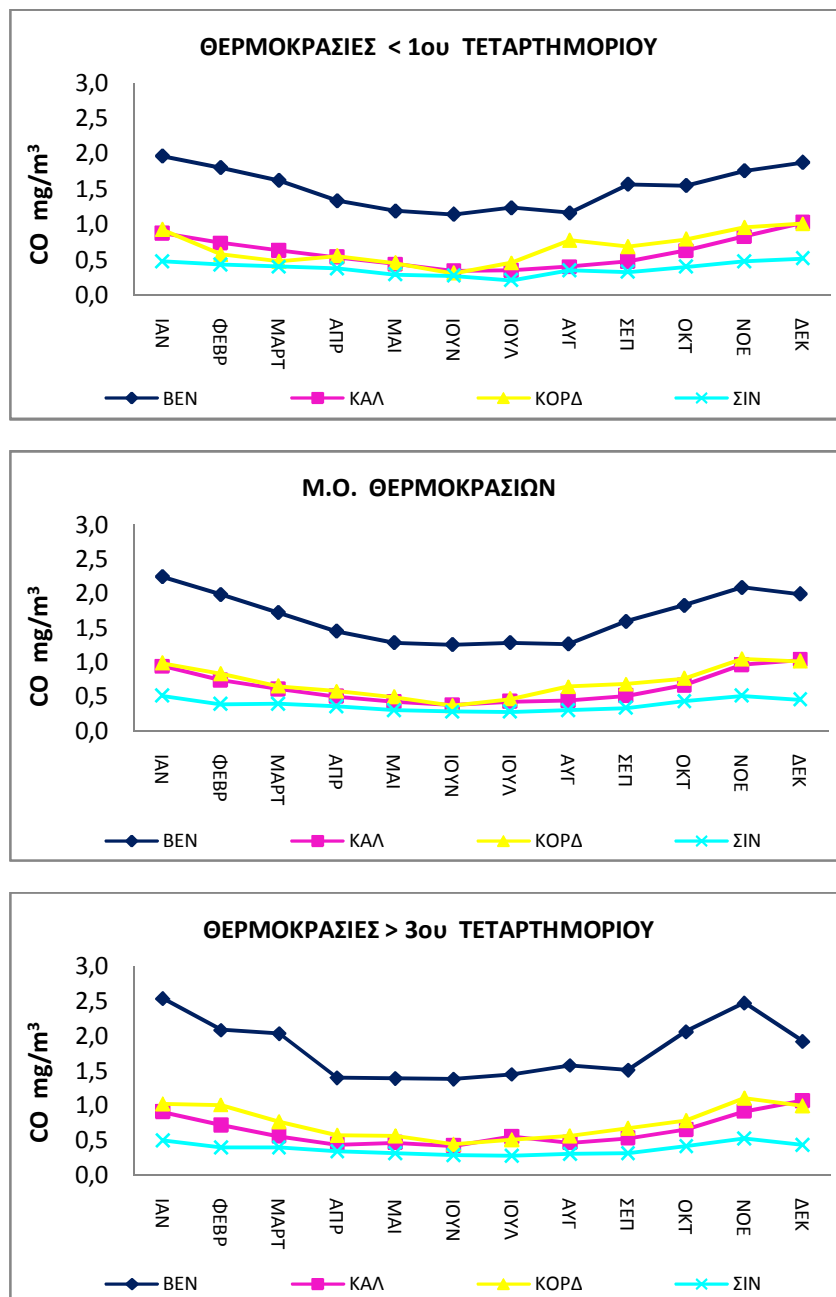


ΣΧΗΜΑ 6.14. Μεταβολές στη συγκέντρωση των O_x , την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά το διάστημα 2001-2005.

Μία ακόμη διαπίστωση είναι ότι οι μεγαλύτερες αυξήσεις συγκεντρώσεων, εντοπίζονται στους περιφερειακούς σταθμούς και λιγότερο στους αστικούς την θερμή περίοδο, ενώ την αντίστοιχη ψυχρή τόσο οι πρώτοι όσο και οι δεύτεροι δεν δείχνουν να μεταβάλλουν την συγκέντρωσή τους. Το συμπέρασμα αυτό αιτιολογείται, αν ληφθούν υπόψη τα παρακάτω. Τα O_x απαρτίζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από το O_3 έναντι του NO_2 την θερμή περίοδο, ενώ παράλληλα το πρώτο επηρεάζεται δραστηκότερα από την θερμοκρασία σε αντίθεση με το δεύτερο. Τα παραπάνω συμπεράσματα, σε συνδυασμό με το ότι η συγκέντρωση του O_3 στους περιφερειακούς σταθμούς είναι πολύ μεγαλύτερη της αντίστοιχης συγκέντρωσης στους αστικούς, καθιστά την συγκέντρωση των O_x στους πρώτους, πιο ευαίσθητη στις μεταβολές της θερμοκρασίας, έναντι της αντίστοιχης συγκέντρωσης στους δεύτερους. Από την άλλη την ψυχρή περίοδο, εφόσον το O_3 στους περισσότερους σταθμούς μειώνεται συναρτήσει της αύξησης της θερμοκρασίας, ενώ αντίστοιχα τα NO_x και κατά συνέπεια και το NO_2 αυξάνονται αναλογικά με αυτήν, είναι απόλυτα λογικό να μην εμφανίζεται ιδιαίτερη μεταβολή στην συγκέντρωση των O_x , δεδομένου ότι οι δύο διαδικασίες αλληλοαναιρούνται.

Στην προσπάθεια να αποσαφηνιστεί κάθε πιθανός προβληματισμός η ασάφεια που μπορεί να ανακύψει από την μελέτη των διαγραμμάτων του παραπάνω σχήματος, σημειώνεται ότι τόσο η συμπεριφορά που επιδεικνύει η συγκέντρωση των O_x στο σταθμό του Πανοράματος την ψυχρή, όσο και η συμπεριφορά της συγκέντρωσης του ίδιου ρύπου στον σταθμό της Σίνδου την θερμή περίοδο, οφείλονται στη συμπεριφορά του όζοντος, το οποίο συνιστά τα O_x και τα επηρεάζει. Εφόσον έχουν αιτιολογηθεί οι λόγοι της συμπεριφοράς της συγκέντρωσης του όζοντος στους δύο σταθμούς, κρίνεται σκόπιμο να μην συνεχιστεί η περαιτέρω ανάλυση, με σκοπό την αποφυγή επαναλήψεων.

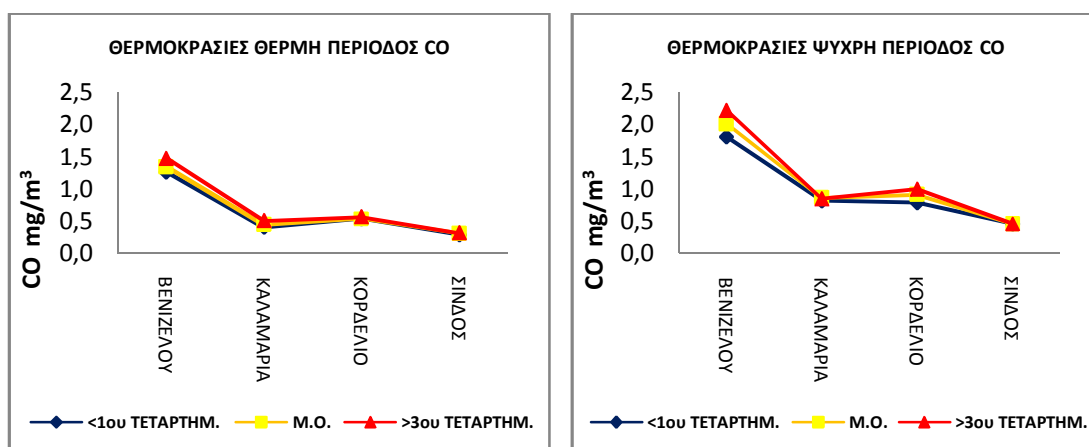
Περνώντας στην ανάλυση του τελευταίου ρύπου, του CO , παρατίθεται παρακάτω, το σχήμα 6.15 όπου καταγράφεται η εποχική μεταβολή της συγκέντρωσης του, σε όλους τους σταθμούς, συναρτήσει των μεταβολών της θερμοκρασίας. Από τα διαγράμματα του παρακάτω σχήματος, τόσο για αυτό που αναφέρεται σε χαμηλές όσο και σε αυτό που πραγματεύεται υψηλές θερμοκρασίες, δεν διακρίνεται καμία ισχυρή εξάρτηση του σταθμού που εμφανίζεται το μέγιστο ή το ελάχιστο της συγκέντρωσης του CO από την θερμοκρασία. Το μέγιστο της συγκέντρωσης καταγράφεται με διαφορά από τους άλλους σταθμούς, στο σταθμό της Βενιζέλου ενώ το ελάχιστο στο σταθμό της Σίνδου, όντας περιστατικός σταθμός. Επιπλέον, δεν παρατηρείται καμία εξάρτηση όσον αφορά και την εποχική εμφάνιση του μεγίστου ή του ελαχίστου από την θερμοκρασία. Από το σχήμα επίσης διακρίνεται ότι είτε κυριαρχούν υψηλές, είτε χαμηλές θερμοκρασίες το μεν μέγιστο της συγκέντρωσης του CO εμφανίζεται την ψυχρή περίοδο και συγκεκριμένα τον Νοέμβριο για το σταθμό της Βενιζέλου και τον Δεκέμβριο για τους υπολοίπους σταθμούς, ενώ το δε ελάχιστο παρουσιάζεται τον Ιούνιο ή Ιούλιο σε όλους.



ΣΧΗΜΑ 6.15. Εποχικές μεταβολές στη συγκέντρωση του CO, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά την περίοδο 2001-2005.

Ακολουθώντας παρόμοια τακτική με την ανάλυση των προηγούμενων ρύπων, στη συνέχεια αναλύεται το σχήμα 6.16. Από τα δύο διαγράμματα του παρακάτω σχήματος, εξάγονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα τα οποία αναλύονται και αιτιολογούνται ενδελεχώς παρακάτω.

Το πρώτο σημαντικό συμπέρασμα που εξάγεται, αναφέρεται στην αποδέσμευση της επίδρασης της θερμοκρασίας στη συγκέντρωση του CO την θερμή περίοδο. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό κατανοείται εύκολα αν ληφθεί υπόψιν ότι την θερμή περίοδο οι συγκεντρώσεις του CO μειώνονται, δεδομένου ότι μειώνονται και οι πηγές εκλύσεων τους. Καταυτό το τρόπο, η θερμοκρασία δεν επηρεάζει σημαντικό πληθυσμό μορίων CO, με αποτέλεσμα, η δυναμική επίδραση του παραπάνω παράγοντα, να είναι περισσότερο περιορισμένη την θερμή έναντι της ψυχρής περιόδου.



ΣΧΗΜΑ 6.16. Μεταβολές στη συγκέντρωση του CO, την θερμή και ψυχρή περίοδο, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας, κατά το διάστημα 2001-2005.

Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ανάμεσα στους σταθμούς παρατηρείται μια εξαίρεση, δεδομένου ότι εμφανίζεται μία μικρή μεταβολή των CO στο σταθμό της Βενιζέλου. Αυτό συμβαίνει πολύ απλά για το λόγο ότι ακόμη και την θερμή περίοδο, ο συγκεκριμένος σταθμός καταγράφει μεγάλες τιμές CO όχι γιατί δεν μειώνονται οι εκλύσεις του συγκεκριμένου ρύπου, αλλά γιατί δεν δημιουργούνται συνθήκες για την λειτουργία επαρκών μηχανισμών απομάκρυνσης αυτού. Αποτέλεσμα αυτού, η συσσώρευση CO στον συγκεκριμένο σταθμό και συνεπώς το συμπέρασμα μεγαλύτερης επίδρασης της θερμοκρασίας σε αυτόν.

Από την άλλη, την ψυχρή περίοδο που εκλύονται μεγαλύτερες ποσότητες CO, παρατηρείται η επίδραση της θερμοκρασίας καλύτερα. Παρόλαυτά διακρίνεται ότι ο σταθμός της Καλαμαριάς, δείχνει να μην επηρεάζεται από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, ούτε την ψυχρή περίοδο γεγονός που πιθανώς να οφείλεται στο

μειωμένο αριθμό εκλύσεων CO, ακόμη και την περίοδο αυτή στο συγκεκριμένο σταθμό.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η επίδραση της θερμοκρασίας στο CO σε όλους τους σταθμούς κατά την θερμή περίοδο, είναι αμελητέα όπως και στις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου. Η θερμοκρασία δεν έχει σχεδόν καμμία επίδραση στη συγκέντρωση του CO στους περιβαλλοντικούς σταθμούς καθόλη την διάρκεια του έτους. Την ψυχρή περίοδο, η συγκέντρωση του CO επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό αυξάνοντας αναλογικά συναρτήσει της θερμοκρασίας μόνο στους αστικούς σταθμούς. Η θερμοκρασία φαίνεται να υπομοχλεύει την αύξηση του CO την ψυχρή περίοδο, ωστόσο ο ρόλος που διαδραματίζει δεν είναι άμεσος, αλλά έμμεσος. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τις πιο θερμές ημέρες της ψυχρής περιόδου εμφανίζεται μεγαλύτερη κίνηση τροχοφόρων οχημάτων εντός της πόλης και άρα περισσότερες καύσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του CO.

6.3

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ

ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΞΟΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΣΗΣ.

Στο σημείο αυτό της εργασίας, γίνεται προσπάθεια εξαγωγής ενός και μόνο συμπεράσματος που έχει να κάνει με την συνεισφορά ή όχι των μετεωρολογικών παραγόντων συνολικά στην μείωση της ρύπανσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων και δεδομένων ρύπανσης. Από τους δώδεκα σταθμούς που συμμετέχουν στην γενικότερη μελέτη, αντλούνται δεδομένα από τους οκτώ (δύο από τον δήμο Θεσσαλονίκης, και έξι από την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας), αυτοί δηλαδή όπου υποστηρίζουν μετεωρολογικές μετρήσεις. Οι δύο σταθμοί από τον δήμο Θεσσαλονίκης διαθέτουν χρονοσειρά με δεδομένα που το φάσμα τους εκτείνεται σε βάθος δεκαέξι ετών (1989-

2005), ενώ για τους υπόλοιπους έξι σταθμούς της περιφέρειας, η αντίστοιχη χρονοσειρά, καλύπτει σχεδόν 10 έτη (2001- αρχές 2010).

Στην συγκεκριμένη μελέτη, αντλήθηκαν δεδομένα O_3 , NO_x και O_x , από πλευράς ρύπων, ενώ από τα αντίστοιχα μετεωρολογικά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ταχύτητας ανέμου, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια, με την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (*multiple regression analysis*), δημιουργήθηκαν δύο εξισώσεις για κάθε ρύπο και κάθε σταθμό. Η πρώτη εξίσωση παρουσιάζει την χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης κάθε ρύπου στο βάθος της χρονοσειράς, όταν επιδρούν οι παραπάνω μετεωρολογικοί παράγοντες που αναφέρθηκαν συνολικά, ενώ η δεύτερη παριστά την χρονική μεταβολή της αντίστοιχης συγκέντρωσης κάθε ρύπου, όταν δεν εμπλέκονται οι παραπάνω μετεωρολογικοί παράγοντες. Οι εξισώσεις που δημιουργήθηκαν, εμφανίζονται στους πίνακες 6.3.1., 6.3.2. και 6.3.3 για τα O_3 , NO_x και O_x αντίστοιχα. Ακολούθως, αφού δημιουργήθηκαν οι δύο παραπάνω εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για κάθε ρύπο, συλλέχθηκαν οι χρονικές τάσεις καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις αυτών για κάθε σταθμό και από τις δύο. Στή συνέχεια, οι ημερήσιες τάσεις μετετράπησαν σε ετήσιες, με σκοπό να ελεγχθεί πώς και κατά πόσο μεταβάλλονται χρονικά οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε ετήσια βάση, όταν εμπλέκονται μετεωρολογικές παράμετροι.

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες 6.3.1, 6.3.2 και 6.3.3, επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα των επιδράσεων των μετεωρολογικών παραγόντων που καταγράφηκαν πρωτύτερα στο δεύτερο μέρος της εργασίας, στο παρόν κεφάλαιο και στο κεφάλαιο 5, δεδομένου ότι οι τάσεις που διακρίνονται σε κάθε παράγοντα για κάθε ρύπο και κάθε σταθμό, εξάγουν συμπεράσματα που συγκλίνουν με αυτά που ευρέθησαν από την μελέτη της επίδρασης της για κάθε μετεωρολογική παραμέτρο ξεχωριστά.

Για την αποφυγή τυχόν επαναλήψεων, καθώς και για το λόγο ότι σκοπός του συγκεκριμένου σημείου της μελέτης είναι να διερευνηθεί πώς και κατά πόσο μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε ετήσια βάση κατά την εμπλοκή ή όχι μετεωρολογικών παραμέτρων συνολικά, οι παραπάνω πίνακες δεν αναλύονται ξανά αφού ο κάθε παράγοντας έχει αναλυθεί ενδελεχώς .

Πίνακας 6.3.1. Παρουσίαση των εξισώσεων μεταβολής της συγκέντρωσης του O_3 $\{(\mu g/m^3)/day\}$ στο φάσμα του χρόνου, κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ O_3 (t-WS-T-RH)	ΕΞΙΣΩΣΗ O_3 (t)
ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	$O_3=55,3 - 0,0033 t - 4,77 WS + 0,56 T - 0,06 RH$	$O_3=54,5 - 0,0033 t$
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	$O_3=51,6 - 0,015 t + 4,2 WS + 1,3 T - 0,33 RH$	$O_3=61,5 - 0,019 t$
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	$O_3=46,5 - 0,0007 t + 13,9 WS + 1,33 T - 0,51 RH$	$O_3=50,3 - 0,0021 t$
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	$O_3=94,6 - 0,005 t + 0,008 WS + 1,44 T - 0,44 RH$	$O_3=86 - 0,0024 t$
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	$O_3=102,8 - 0,0045 t + 0,37 WS + 2,3 T - 0,63 RH$	$O_3=88,3 - 0,00085 t$
ΣΙΝΔΟΣ	$O_3=50,4 - 0,006 t + 5,15 WS + 1,51 T - 0,31 RH$	$O_3=63,2 - 0,008 t$
Α.Π.Θ.	$O_3=36 - 0,0022 t + 7,1 WS + 1,8 T - 0,45 RH$	$O_3=53 - 0,0019 t$
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	$O_3=20,3 - 0,0079 t + 1,33 WS + 1,2 T - 0,42 RH$	$O_3=15,8 - 0,0077 t$

Πίνακας 6.3.2. Παρουσίαση των εξισώσεων μεταβολής της συγκέντρωσης του NO_x $\{(\mu g/m^3)/day\}$ στο φάσμα του χρόνου, κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ NO_x (t-WS-T-RH)	ΕΞΙΣΩΣΗ NO_x (t)
ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	$NO_x=574,2 - 0,02 t - 85,4 WS - 5,3 T - 0,54 RH$	$NO_x=345,1 - 0,0238 t$
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	$NO_x=108,7 - 0,0025 t - 30,3 WS + 1,9 T - 0,073 RH$	$NO_x=54,7 - 0,0043 t$
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	$NO_x=155,8 - 0,0082 t - 49,8 WS - 1,73 T - 0,033 RH$	$NO_x=58,5 - 0,0108 t$
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	$NO_x=17,04 - 0,00004 t - 3 WS - 0,16 T - 0,46 RH$	$NO_x=11,05 - 0,0001 t$
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	$NO_x=30,4 - 0,0016 t - 5,2 WS - 0,47 T - 0,016 RH$	$NO_x=17,1 - 0,0015 t$
ΣΙΝΔΟΣ	$NO_x=62,7 - 0,0026 t - 7,87 WS - 0,49 T - 0,08 RH$	$NO_x=30,1 - 0,0034 t$
Α.Π.Θ.	$NO_x=129,4 - 0,0052 t - 22 WS - 1,5 T + 0,057 RH$	$NO_x=62 - 0,0058 t$
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	$NO_x=41,46 - 0,0089 t - 12,5 WS - 1,4 T - 0,16 RH$	$NO_x=18 - 0,0063 t$

Πίνακας 6.3.3. Παρουσίαση των εξισώσεων μεταβολής της συγκέντρωσης του O_x $\{(\mu g/m^3)/day\}$ στο φάσμα του χρόνου, κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ O_x (t-WS-T-RH)	ΕΞΙΣΩΣΗ O_x (t)
ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	$O_x=203,7 - 0,0051 t - 21,5 WS + 0,26 T - 0,51 RH$	$O_x=147,5 - 0,0055 t$
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	$O_x=122,1 - 0,013 t - 7,94 WS + 0,5 T - 0,53 RH$	$O_x=97 - 0,023 t$
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	$O_x=120,1 - 0,0018 t - 1,97 WS - 1,03 T - 0,60 RH$	$O_x=92,2 - 0,00013 t$
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	$O_x=106,5 - 0,0045 t - 2,3 WS - 1,5 T - 0,4 RH$	$O_x=93,63 - 0,0016 t$
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	$O_x=146,1 - 0,0059 t - 5,03 WS + 1,74 T - 0,77 RH$	$O_x=114 - 0,0023 t$
ΣΙΝΔΟΣ	$O_x=100,3 - 0,0029 t - 1,43 WS + 0,97 T - 0,37 RH$	$O_x=86,8 - 0,0035 t$
Α.Π.Θ.	$O_x=115,5 - 0,0044 t - 5,2 WS + 1,4 T - 0,5 RH$	$O_x=97,7 - 0,0041 t$
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	$O_x=41,6 - 0,014 t - 5,3 WS + 0,63 T - 0,43 RH$	$O_x=22,2 - 0,0126 t$

Προχωρώντας ακολούθως στην μελέτη των μεταβολών της συγκέντρωσης του O_3 σε ετήσια βάση, παρατίθεται ο πίνακας 6.3.4. Από τον πίνακα, διακρίνονται

οι ετήσιες χρονικές τάσεις καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις αυτών και στα δύο μοντέλα.

Πίνακας 6.3.4. Παρουσίαση των ετησίων τάσεων των συγκεντρώσεων του O_3 $\{(\mu g/m^3)/year\}$ κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ O_3 (t-WS-T-RH)	Τυπικό Σφάλμα	ΕΞΙΣΩΣΗ O_3 (t)	Τυπικό Σφάλμα
BENIZEΛΟΥ	-1,2	0,1	-1,2	0,1
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	-5,4	0,4	-6,9	0,5
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	0,3	0,2	0,8	0,2
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	-1,8	0,1	-0,9	0,2
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	-1,6	0,2	-0,3	0,3
ΣΙΝΔΟΣ	-2,2	0,2	-2,9	0,3
Α.Π.Θ.	-0,8	0,1	-0,7	0,2
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	2,9	0,1	2,8	0,1

Παρατηρώντας τις ετήσιες τάσεις στους σταθμούς, εξάγεται αυτομάτως το συμπέρασμα ότι υπάρχει μείωση στην συγκέντρωση τού όζοντος σε όλους τους σταθμούς κατά μήκος της χρονοσειράς, εκτός των σταθμών του Επταπυργίου και του Κορδελιού, όπου καταγράφεται αντίστοιχη αύξηση. Το γεγονός αυτό, πιθανόν να οφείλεται στην μετεξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη από αναγωγική (τύπου Λονδίνου) σε οξειδωτική (τύπου Λος Άντζελες), (Δήμος Θεσσαλονίκης, 2008), γεγονός που οδήγησε στην καταγραφή των μεγαλύτερων τιμών συγκέντρωσης στο σταθμό του Επταπυργίου όσον αφορά τους σταθμούς του δήμου και το σταθμό του Κορδελιού όσον αφορά τους αστικούς σταθμούς της περιφέρειας.

Επιπλέον, ένα δεύτερο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην μεταβολή των τάσεων με την εμπλοκή μετεωρολογικών παραγόντων, δεδομένου ότι η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείται είναι $1,5 (\mu g/m^3)/\acute{e}τος$. Διαπιστώνεται δε συμπεριλαμβανομένων και των τυπικών αποκλίσεων, ότι στους σταθμούς της Βενιζέλου, του Επταπυργίου και του Α.Π.Θ., δεν καταγράφεται μεταβολή στην τάση είτε ληφθεί υπόψη η επίδραση της μετεωρολογίας, είτε όχι. Συνεχίζοντας, διακρίνεται ότι στους περιφερειακούς σταθμούς της Νεοχωρούδας και Πανοράματος, η τάση του O_3 μειώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ στον σταθμό του Κορδελιού η τάση του O_3 αυξάνεται επίσης σε μεγαλύτερο βαθμό, όταν επιδρούν μετεωρολογικές παράμετροι παρά όταν αυτές απουσιάζουν. Από την άλλη, οι σταθμοί της Καλαμαριάς και της Σίνδου,

παρουσιάζουν δραστικές τάσεις μείωσης της συγκέντρωσης του εξεταζόμενου ρύπου, όταν δεν λαμβάνονται υπόψη η επίδραση της μετεωρολογίας.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις, οδηγούν σε δύο συμπεράσματα. Πρώτον, ότι οι μετεωρολογικοί παράγοντες, δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την χρονική αυξομείωση της τάσης του O_3 , δεδομένου ότι σε τρεις από τους οκτώ σταθμούς δεν υπάρχει διαφορά στην διαμόρφωση της τάσης της συγκέντρωσης του εν λόγω ρύπου, είτε ληφθούν είτε όχι υπόψιν οι μετεωρολογικές παράμετροι. Αναφορικά με τους υπόλοιπους πέντε, οι αυξομειώσεις που καταγράφονται λόγω της επίδρασης αυτών, είναι πολύ μικρές και δεν ξεπερνούν το $1,5 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}/\text{έτος}$. Δεύτερον, το γεγονός της μικρής αύξησης, μείωσης ή της μη μεταβλητότητας της τάσης του O_3 όταν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των παραγόντων της μετεωρολογίας συνολικά, πιθανόν να οφείλεται στην θέση που καταλαμβάνουν οι σταθμοί. Συγκεκριμένα, στους σταθμούς που βρίσκονται στα προάστια της πόλης όπου δεν επηρεάζονται από την δόμηση και την κυκλοφορία, οι μετεωρολογικοί παράγοντες συμβάλουν στην ελαφρά μείωση της συγκέντρωσης του ρύπου. Ωστόσο αν και ο σταθμός της Σίνδου χαρακτηρίζεται ως βιομηχανικός-περιαστικός, η επίδραση της μετεωρολογίας δεν δείχνει να υπομοχλεύει την μείωση, αλλά αντιθέτως να οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 , γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην πιθανή μεταφορά O_3 από άλλες περιοχές όταν επιδρά αυτή. Από την άλλη, η συγκέντρωση στους περισσότερους αστικούς σταθμούς δεν μεταβάλλεται είτε αν ληφθεί υπόψη ο μετεωρολογικός παράγοντας είτε όχι, αφού από την μία η υπέρμετρη δόμηση και από την άλλη η κυκλοφορία των οχημάτων στην πόλη, δεν αφήνουν περιθώρια επίδρασης των καιρικών μεταβλητών στους ρύπους του αστικού περιβάλλοντος.

Επίσης, ο σταθμός της Καλαμαριάς όπου δείχνει να μειώνεται περισσότερο η τάση του εν λόγω ρύπου όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της μετεωρολογίας, μπορεί να οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται ανατολικά της πόλης όπου δεν κυριαρχείται από υπέρμετρη δόμηση ή αυξημένη κυκλοφορία. Το γεγονός αυτό, πιθανόν να ευνοεί και την δράση του ανέμου, ο οποίος οδηγεί στην απομάκρυνση των ρύπων από την περιοχή. Επιπλέον ανατολικά δεν υπάρχει βιομηχανική περιοχή έτσι ώστε να οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 από τυχόν μεταφορά του όταν επιδρούν οι διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι. Αναφορικά με τον σταθμό του Κορδελιού, η τάση του εν λόγω ρύπου αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό όταν επίσης λαμβάνονται υπόψη οι μετεωρολογικοί παράγοντες.

Το γεγονός αυτό, πιθανότατα να οφείλεται επίσης στην θέση που εδρεύει ο συγκεκριμένος σταθμός. Συγκεκριμένα, ο σταθμός του Κορδελιού, βρίσκεται δυτικά και τυχόν δράση αντίστοιχων μετεωρολογικών παραμέτρων, πιθανόν να μεταφέρει O₃ από την βιομηχανική περιοχή της Σίνδου ή από την περιοχή της Εορδαίας (Flocas *et al.*, 2008).

Προχωρώντας παρακάτω, στο πίνακα 6.3.5 διακρίνονται οι ετήσιες χρονικές τάσεις καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις των NO_x ανάμεσα στην πρώτη εξίσωση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που λαμβάνει υπόψη η μετεωρολογική επίδραση και στη δεύτερη εξίσωση αντίστροφα που δεν λαμβάνει.

Από τον παρακάτω πίνακα διακρίνεται ότι σε τρεις (Επταπύργιο, Κορδελίο και Σίνδος) από τους οκτώ σταθμούς, παρατηρείται αύξηση της τάσης των NO_x στο φάσμα της χρονοσειράς. Στον σταθμό της Νεοχωρούδας δεν καταγράφεται ούτε μείωση ούτε αύξηση της τάσης, δηλαδή η συγκέντρωση των NO_x δεν μεταβάλλεται στην διάρκεια της δεκαετίας, ενώ στους υπόλοιπους τέσσερις σταθμούς (Βενιζέλου, Καλαμαριά, Α.Π.Θ. και Πανόραμα) αποτυπώνεται μείωση αυτής.

Όσον αφορά την συμπεριφορά της τάσης συναρτήσει του χρόνου, όταν ληφθεί υπόψη η επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων διακρίνονται τα παρακάτω.

Πίνακας 6.3.5. Παρουσίαση των ετήσιων τάσεων των συγκεντρώσεων των NO_x {(μg/m³)/year}, κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ NO_x (t-WS-T-RH)	Τυπικό Σφάλμα	ΕΞΙΣΩΣΗ NO_x (t)	Τυπικό Σφάλμα
BENIZEΛΟΥ	-7,3	0,3	-8,7	0,4
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	-0,9	0,2	-1,6	0,3
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	3,0	0,4	3,9	0,5
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	0,0	0,1	0,0	0,1
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	-0,6	0,1	-0,5	0,1
ΣΙΝΔΟΣ	0,9	0,2	1,2	0,2
Α.Π.Θ.	-1,9	0,3	-2,1	0,4
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	3,3	0,1	2,3	0,2

Η μεγαλύτερη διαφορά που πιστοποιείται και προέρχεται από την σύγκριση των δύο εξισώσεων, αγγίζει τα 1,4 (μg/m³)/έτος. Αν και υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις τάσεις των συγκεντρώσεων των NO_x στους σταθμούς σε σχέση με αυτή που καταγράφεται για το O₃, δεν διακρίνεται επίσης η μετεωρολογία να

επηρεάζει ιδιαίτερα, την χρονική αυξομείωση της τάσης των NO_x . Αναλυτικά, οι σταθμοί της Βενιζέλου, της Καλαμαριάς και του Επταπυργίου, εμφανίζουν δραστικότερη μείωση της συγκέντρωσης των NO_x ανά έτος αν δεν ληφθούν υπόψιν οι μετεωρολογικές παράμετροι. Από την άλλη, στους περιφερειακούς σταθμούς της Νεοχωρούδας και του Πανοράματος, η αντίστοιχη τάση δεν μεταβάλλεται είτε αν ληφθούν υπόψιν οι καιρικές μεταβλητές είτε όχι, γεγονός που οφείλεται στις μικρές περιεκτικότητες σε NO_x που καταγράφονται εκεί ούτως ή άλλως. Τέλος οι εναπομείναντες σταθμοί, Κορδελιού, Σίνδου και Α.Π.Θ, εμφανίζουν τάση μείωσης της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου, κατά την εφαρμογή της εξίσωσης πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που λαμβάνει υπόψιν τις μετεωρολογικές μεταβλητές.

Από την κατανομή των σταθμών στον πίνακα 6.3.5, των οποίων οι τάσεις αποδίδονται είτε από τη μια εξίσωση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είτε από την άλλη, δεν διακρίνεται να υπάρχει κάποιος μηχανισμός σύμφωνα με την οποία σε κάποιους σταθμούς να επιδρούν θετικά τα μετεωρολογικά φαινόμενα και σε κάποιους άλλους αρνητικά. Η παραπάνω διαπίστωση τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι δεν φαίνεται να διαπιστώνεται κάποιο κριτήριο σύμφωνα με το οποίο οι αστικοί σταθμοί διαχωρίζονται σε δύο εκατέρωθεν ομάδες, αφού και οι δύο κατηγορίες που διαμορφώνονται, απαρτίζονται τόσο από σταθμούς που ανήκουν ανατολικά και δυτικά της πόλης, αλλά και από σταθμούς που βρίσκονται στην καρδιά του κέντρου και αντίστοιχους αστικούς σταθμούς σε μεγαλύτερη ακτίνα από αυτό. Ένα από τα λίγα ασφαλή συμπεράσματα που μπορεί να εξαχθούν, είναι ότι οι περιφερειακοί σταθμοί δεν επηρεάζονται ούτε από την πρώτη, ούτε από τη δεύτερη εξίσωση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για τον λόγο που προαναφέρθηκε.

Το γεγονός της μη ύπαρξης κάποιου κριτηρίου διαχωρισμού των αστικών σταθμών, καθώς και οι μικρές διαφορές στις τάσεις τους μεταξύ των δύο μοντέλων, οδηγεί στο αρχικό συμπέρασμα δηλαδή στο συμπέρασμα ότι η μετεωρολογία δεν διαδραματίζει ιδιαίτερα ενεργό ρόλο στην αυξομείωση της συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρύπου. Η αδυναμία υιοθέτησης κάποιας θεωρίας σύμφωνα με την οποία η μετεωρολογία επιδρά θετικά ή αρνητικά στην τάση των NO_x , οδηγεί και σε ένα δεύτερο συμπέρασμα, που έχει εξαχθεί και για το O_3 και αναφέρει ότι η μετεωρολογία επιδρά θετικά ή αρνητικά στην τάση των NO_x συναρτήσει της θέσης των σταθμών.

Με σκοπό την σφαιρική μελέτη της επίδρασης των μετεωρολογικών παραμέτρων στη χρονική μεταβολή της συγκέντρωσης των ρύπων, παρατίθεται ο πίνακας 6.3.6 παρακάτω. Στον πίνακα διακρίνονται οι χρονικές μεταβολές των τάσεων των O_x ανάμεσα στην εξίσωση που υπολογίζει την χρονική τάση, εισάγοντας σ' αυτό μετεωρολογικές παραμέτρους και σε αυτή που υπολογίζει την αντίστοιχη τάση χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους αυτές.

Από την διερεύνηση του παρακάτω πίνακα, διακρίνεται ότι ο σταθμός του Επταπυργίου αποτελεί τον μοναδικό σταθμό που παρουσιάζει αύξηση στην τάση των O_x ειδικά όταν επιδρούν σ' αυτόν μετεωρολογικοί παράγοντες. Δεδομένης της τάσης αύξησης τόσο του O_3 όσο και του NO_x όπως φαίνεται από τον πίνακες 6.3.4 και 6.3.5 για τον σταθμό του Επταπυργίου, κατανοείται ο λόγος που τα O_x παρουσιάζουν αύξηση στον συγκεκριμένο σταθμό. Ωστόσο αυτό που δεν είναι απόλυτα κατανοητό είναι ο λόγος που εμφανίζει μικρή μείωση ο σταθμός του Κορδελιού, αν ληφθεί υπόψη πως οι τάσεις τόσο του O_3 , όσο και του NO_x εμφανίζουν αύξηση στον συγκεκριμένο σταθμό.

Όσον αφορά τις τάσεις των O_x των υπολοίπων σταθμών, παρατηρείται ότι στην Βενιζέλου, στη Σίνδο και του Α.Π.Θ. δεν μεταβάλλεται η τάση τους (εάν βέβαια ληφθούν υπόψη και οι τυπικές αποκλίσεις), είτε κατά την εμπλοκή μετεωρολογικών δεδομένων, είτε όχι στον υπολογισμό της.

Πίνακας 6.3.6. Παρουσίαση των ετησίων τάσεων των συγκεντρώσεων των O_x $\{(\mu g/m^3)/year\}$ κατά την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων και άνευ επίδρασης αυτών.

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΞΙΣΩΣΗ O_x (t-WS-T-RH)	Τυπικό Σφάλμα	ΕΞΙΣΩΣΗ O_x (t)	Τυπικό Σφάλμα
BENIZEΛΟΥ	-1,9	0,1	-2,0	0,1
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	-4,8	0,6	-8,4	0,7
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	-0,7	0,2	0,0	0,2
ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	-1,6	0,2	-0,6	0,2
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	-2,2	0,2	-0,8	0,3
ΣΙΝΔΟΣ	-1,0	0,1	-1,3	0,2
Α.Π.Θ.	-1,6	0,1	-1,5	0,2
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	5,3	0,1	4,6	0,1

Από την άλλη πιστοποιείται, ότι οι περιφερειακοί σταθμοί με εξαίρεση τη Σίνδο όπως προαναφέρθηκε, εμφανίζουν τάση η οποία μειώνεται δραστικότερα όταν υπεισέρχονται στον υπολογισμό της μετεωρολογικά δεδομένα. Το γεγονός αυτό,

επαληθεύει την εξάρτηση της συγκέντρωσης του O_3 και κατά συνέπεια και των O_x από τις καιρικές συνθήκες, στους περιστατικούς σταθμούς μιάς και αυτό συμμετέχει ενεργά στη σύνθεση των O_x . Ακολουθώντας, οι εναπομείναντες αστικοί σταθμοί της Καλαμαριάς και του Επταπυργίου, με εξαίρεση το Κορδελιό εμφανίζουν μεγαλύτερη μείωση στην τάση που διαμορφώνεται μέσα στο χρόνο όταν δεν λαμβάνεται υπόψη ο μετεωρολογικός παράγοντας.

Από την παραπάνω ανάλυση, σύμφωνα με τα δεδομένα που αποτυπώνονται στον παραπάνω πίνακα, εξάγονται κάποια σημαντικά συμπεράσματα για τα O_x . Σύμφωνα με αυτά τα O_x ακολουθούν την πορεία των τάσεων του O_3 με πολύ μικρές εξαιρέσεις όσον αφορά τους σταθμούς των οποίων η τάση ευνοείται από την επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων αλλά και τους σταθμούς των οποίων η τάση υστερεί κατά την επίδραση αυτών. Κατά δεύτερον, οι διαφορές στις τάσεις που εμφανίζονται ανάμεσα στα δύο μοντέλα δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, αφού κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με τις αντίστοιχες διαφορές των τάσεων του O_3 και των NO_x . Ωστόσο, εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός της Καλαμαριάς, που παρουσιάζει διαφορά της τάξης των $3,6 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}/\text{έτος}$ μεταξύ των δύο μοντέλων. Το δεύτερο συμπέρασμα, ουσιαστικά επιβεβαιώνει την τρίτη γενικότερη διαπίστωση, που δεν είναι άλλη παρά αυτή που εξήχθει και κατά την μελέτη των δύο προηγούμενων ρύπων. Δηλαδή, ότι οι μετεωρολογικοί παράγοντες αν και διαμορφώνουν σε ένα μικρό βαθμό τη συγκέντρωση των O_x και γενικότερα των ρύπων, η συνεισφορά τους στην χρονική εξέλιξη της τάσης αυτών δεν είναι καταλυτική, κυρίως όσον αφορά τους αστικούς σταθμούς. Ακόμη, μία τελευταία διαπίστωση είναι ότι η έστω μικρή επίδραση ή όχι των μετεωρολογικών παραγόντων στην τάση των O_x , εξαρτάται από την θέση του σταθμού, συμπέρασμα που εξήχθει επίσης και για τους δύο πρωτότερα αναλυθέντες ρύπους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε έρευνα αναφορικά με την ανάπτυξη των αέριων ρύπων και γενικότερα την φωτοχημική ρύπανση στην πόλη της Θεσσαλονίκης σε βάθος χρόνου. Στα πλαίσια της παρακολούθησης της πορείας των συγκεντρώσεων του κάθε ρύπου ξεχωριστά, διενεργήθηκαν έλεγχοι των συγκεντρώσεων αυτών σε ημερήσια, ετήσια και εποχική βάση, ενώ επιπλέον ελέγχθηκε η συσχέτιση όλων των σταθμών που συμμετείχαν στη μελέτη. Παράλληλα, με τη λήψη μετεωρολογικών δεδομένων, έγινε δυνατή η διερεύνηση της επίδρασης μετεωρολογικών παραγόντων στην υπάρχουσα ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς και του τρόπου με τον οποίο αυτοί επιδρούν στη συγκέντρωση του κάθε ρύπου ξεχωριστά.

Από τις παραπάνω διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, εξήχθησαν συμπεράσματα τα οποία και παραθέτονται με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην πόλη και ειδικότερα στους παραγόντες που τη μεταβάλλουν.

Αναφορικά με τις συγκεντρώσεις των ρύπων σε χρονικό φάσμα εικοσαετίας 1989-2009, παρατηρείται σημαντική μείωση στις ποσότητες των ρύπων NO_x και CO , σε αντίθεση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στο O_3 και στα O_x . Στους δύο τελευταίους ρύπους, διακρίνεται διατήρηση των συγκεντρώσεων τους στα ίδια επίπεδα με εξαίρεση το χρονικό διάστημα 2006-2008, όπου πραγματοποιήθηκε αλματώδης άνοδος των συγκεντρώσεων τους. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία και με τα συμπεράσματα που καταθέτονται από την περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας στην τελευταία ετήσια έκθεσης της το 2006.

Συνεχίζοντας, σχετικά με το O_3 θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του, παρατηρούνται σε σταθμούς που εδράζονται στα προάστια της πόλης. Όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την μέγιστη τιμή O_3 την θερμή περίοδο και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ την ελάχιστη την ψυχρή περίοδο στο μέσο του χειμώνα και συγκεκριμένα από τον Δεκέμβριο έως και τον Ιανουάριο. Τόσο οι μέγιστες, όσο και οι ελάχιστες τιμές O_3 κατά την θερμή περίοδο είναι δυο φορές μεγαλύτερες έναντι της ψυχρής περιόδου. Στους σταθμούς της Νεοχωρούδας και του Πανοράματος, το μέγιστο εμφανίζεται τον Ιούνιο ενώ

στους αστικούς κυρίως τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, συμφωνώντας μερικώς με την μελέτη του *Monks (2000)*, όπου στους επιβαρυσμένους ατμοσφαιρικά σταθμούς στην λεκάνη της Μεσογείου το μέγιστο εμφανίζεται τους θερινούς μήνες ενώ στους μη επιβαρυσμένους από ρύπους σταθμούς, στο τέλος της εαρινής περιόδου. Το O_3 σε εικοσιτετράωρη βάση λαμβάνει την μέγιστη τιμή του μεταξύ των ωρών 15:00-17:00h ενώ την ελάχιστη τις πρωινές ώρες στο χρονικό διάστημα 8:00- 10:00h σε σχεδόν όλους τους σταθμούς. Ωστόσο, κατά την θερμή και ψυχρή περίοδο, η επίτευξη των ακρότατων τιμών δεν πραγματοποιείται την ίδια χρονική στιγμή αλλά με υστέρηση κατά μία ώρα της ψυχρής έναντι της θερμής περιόδου.

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στην άρρηκτη σχέση μεταξύ του O_3 και των NO_x , καθώς ο ένας ρύπος καταστρέφει τον άλλον προς όφελος του, αλλά και στην εξάρτηση του O_3 από την φωτοχημεία. Σημαντική συνεισφορά στην αύξηση της συγκέντρωσης του O_3 διαδραματίζει η φωτοχημεία δεδομένου ότι μέσω αυτής, πραγματοποιούνται οι παραπάνω αντιδράσεις ανάμεσα στο O_3 και στα NO_x . Το O_3 καταστρέφεται τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο προς όφελος του NO_2 . Ωστόσο, την θερμή περίοδο όπου η ηλιακή ακτινοβολία παρέχεται σε μεγάλη αφθονία, το O_3 αυξάνεται σε βάρος των NO_x αφού η φωτοχημεία υπερκαλύπτει το ποσοστό καταστροφής του. Αντίθετα την ψυχρή περίοδο όπου ελαττώνεται η ηλιακή ακτινοβολία, ο μηχανισμός καταστροφής του O_3 υπερτερεί του αντίστοιχου φωτοχημικού μηχανισμού και ταυτόχρονα αυξάνονται οι εκλύσεις των NO_x , με αποτέλεσμα, η συγκέντρωση του O_3 μειώνεται.

Από την μελέτη συσχέτισης των σταθμών για το όζον, προέκυψε ότι η πιο ισχυρή συσχέτιση εντοπίζεται μεταξύ των αστικών σταθμών, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα ακολούθως, βρίσκονται οι συσχετίσεις περιαστικών-περιαστικών και αστικών-περιαστικών σταθμών αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες και οι πιο στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις, επίσης αναφορικά με το O_3 εμφανίζονται την ψυχρή παρά τη θερμή περίοδο του έτους μεταξύ αστικών-αστικών και αστικών-περιαστικών σταθμών αντίστοιχα, ενώ την αντίθετη συμπεριφορά ακολουθούν οι περιαστικοί σταθμοί μεταξύ τους. Επίσης στους περιαστικούς σταθμούς βρέθηκε δυναμικό υπόβαθρου όζοντος, το οποίο βρίσκεται στις περιοχές αυτές ανεξαρτήτως της δημιουργίας O_3 στην πόλη και πιθανότατα να έχει «εισαχθεί» από άλλες περιοχές, εκτός της ευρύτερης. Για το λόγο αυτό πιθανόν, βρίσκεται ότι η μέση συγκέντρωση O_3 των περιαστικών σταθμών είναι σχεδόν διπλάσια της μέσης συγκέντρωσης των

αστικών σε όλο τον χρόνο. Οι τιμές υπόβαθρου όζοντος στους περιιαστικούς σταθμούς, παρουσιάζονται μεγαλύτερες κατά την θερμή σε σχέση με την ψυχρή περίοδο του έτους, λόγω της μεγάλης εξάρτησης του συγκεκριμένου ρύπου από την φωτοχημεία.

Με αρχή ότι κάθε μετεωρολογική παράμετρος επιδρά διαφορετικά σε κάθε ρύπο για το O_3 εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος, τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο δεν επηρεάζει τις συγκεντρώσεις του O_3 στους περιιαστικούς σταθμούς καθώς ο εν λόγω ρύπος παραμένει στα ίδια επίπεδα ανεξαρτήτως των μεταβολών στην διεύθυνση του ανέμου. Την θερμή περίοδο, οι αστικοί σταθμοί επίσης δεν επηρεάζονται από την διεύθυνση του ανέμου, καθώς οι μεταβολές την συγκεκριμένη περίοδο οφείλονται περισσότερο στην φωτοχημεία (αλληλομετατροπές O_3 - NO_x). Την ψυχρή περίοδο η διεύθυνση του ανέμου δεν επιδρά άμεσα αλλά έμμεσα στην συγκέντρωση του O_3 , δεδομένου ότι επηρεάζει τη συγκέντρωση των NO_x τα οποία μέσω της φωτοχημείας, (η οποία ακόμη και την ψυχρή περιόδου αποτελεί καθοριστικότερο παράγοντα στην διαμόρφωσης των ποσοτήτων O_3 έναντι του ανέμου) διαμορφώνουν τις ποσότητες του όζοντος, ωθώντας τη συγκέντρωση του να εμφανίζει ελάχιστες τιμές στις δυτικές-νοτιοδυτικές διευθύνσεις.

Η συγκέντρωση του O_3 στους περιιαστικούς σταθμούς αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα της ταχύτητας του ανέμου την θερμή περίοδο, ενώ την ψυχρή η ίδια συγκέντρωση αυξάνεται ανάλογα της ταχύτητας του ανέμου. Αντίθετα, η συγκέντρωση του O_3 στους αστικούς σταθμούς αυξάνεται αναλόγως της ταχύτητας, τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο με την διαφορά ότι την ψυχρή περίοδο ταχύτητα του ανέμου επιδρά σε μεγαλύτερο βαθμό. Η συγκέντρωση του O_3 στους περιιαστικούς σταθμούς δεν επηρεάζεται σε τόσο μεγάλη κλίμακα από την ταχύτητα του ανέμου όσο στους αστικούς σταθμούς. Επιπρόσθετα, προέκυψε ότι την θερμή περίοδο ο μηχανισμός που υπερτερεί και εμπλουτίζει με O_3 τους περιιαστικούς σταθμούς είναι ο φωτοχημικός μηχανισμός, ενώ την αντίστοιχη ψυχρή περίοδο ο φωτοχημικός μηχανισμός αντικαθίσταται από τον μηχανισμό μεταφοράς του συγκεκριμένου ρύπου μέσω της ταχύτητας του ανέμου, δεδομένου ότι την ψυχρή περίοδο οι φωτοχημικές αντιδράσεις είναι πολύ περιορισμένες. Στους αστικούς

σταθμούς, ο μηχανισμός που υπερτερεί ανάμεσα στους δύο προαναφερθέντες, είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο.

Κατά την θερμή περίοδο, σε όλους τους σταθμούς, αστικών-περιαστικών η συγκέντρωση του όζοντος αυξάνει ανάλογα με την θερμοκρασία, ενώ την ψυχρή αντιστρόφως ανάλογα επίσης σε όλους τους σταθμούς, εκτός της Βενιζέλου και του Πανοράματος. Η μεταβολή της θερμοκρασίας, έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην συγκέντρωση του O_3 την θερμή περίοδο έναντι της ψυχρής, ενώ επηρεάζει περισσότερο τους περιαστικούς σε σχέση με τους αστικούς σταθμούς. Όσον αφορά την σχετική υγρασία, η συγκέντρωση του O_3 αυξάνει αντιστρόφως ανάλογα αυτής τόσο κατά την θερμή όσο και κατά την ψυχρή περίοδο, ενώ τονίζεται ότι οι αστικοί και οι περιαστικοί σταθμοί επηρεάζονται το ίδιο από τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας. Επιπρόσθετα, η εποχική εναλλαγή δηλαδή η μετάβαση από την θερμή στην ψυχρή περίοδο και το αντίστροφο, δεν έχει αντίκτυπο στον βαθμό που επηρεάζει η σχετική υγρασία το O_3 , καθώς τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο το εύρος μεταξύ μέγιστης (χαμηλά επίπεδα υγρασίας) και ελάχιστης (υψηλά επίπεδα υγρασίας) τιμής O_3 σε όλους τους σταθμούς, παραμένει αμετάβλητο.

Προχωρώντας παρακάτω, διαπιστώθηκε μεγάλη σύγκλιση ως προς την συμπεριφορά των ρύπων NO_x και CO , γεγονός που οφείλεται στην ταυτόχρονη έκλυση τους από ίδιες πηγές. Συγκεκριμένα, τόσο τα NO_x όσο και το CO , μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν εντός του αστικού συγκροτήματος και ιδιαίτερα στο κέντρο της πόλης, παρά στα προάστια σε αντίθεση με το O_3 . Οι μέγιστες συγκεντρώσεις διακρίνονται την ψυχρή περίοδο ιδιαίτερα τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, ενώ οι ελάχιστες την θερμή περίοδο τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Σε εικοσιτετράωρη βάση, οι ακρότατες τιμές των NO_x και του CO επίσης παρουσιάζουν διαφορά μίας ώρας στην επίτευξη τους καθώς την ψυχρή περίοδο τα μέγιστα και ελάχιστα των συγκεντρώσεων των NO_x και CO , επιτυγχάνονται μία ώρα αργότερα έναντι της θερμής περιόδου. Αναλυτικά, και οι δύο αναφερόμενοι ρύποι εμφανίζουν σε ετήσια βάση δύο μέγιστα μεταξύ των ωρών 9:00-10:00h (πρωτεύον μέγιστο) και 22:00- 24:00h (δευτερεύον μέγιστο). Η ελάχιστη τιμή των NO_x από την άλλη, πιστοποιείται μεταξύ 15:00- 17:00h σε αντιδιαμετρική αντίθεση με το O_3 ενώ των CO επίσης μεταξύ 15:00-17:00h αλλά κυρίως 3:00-7:00h.

Παράλληλα, τόσο για το CO όσο και για τα NO_x εξάγεται, ότι η συγκέντρωση και των δυο μεταβάλλεται αναλογικά του πληθυσμού και κατ'επέκταση αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης από το κέντρο της πόλης. Όσο πιο ομοιόμορφα κατανέμεται ο πληθυσμός μιας περιοχής τόσο περισσότερη ισορροπία επικρατεί στις εκπομπές των παραπάνω ρύπων. Δεδομένου ότι καθημερινά μεγάλο μέρος του πληθυσμού συνωστίζεται στο κέντρο της πόλης αυξανόμενη της ακτίνας από αυτό, οι συγκεντρώσεις των CO και NO_x αντίστοιχα ελαττώνονται. Τέλος δεν πρέπει να αγνοηθεί ότι αναφορικά με το CO, πιστοποιείται μέγιστη συγκέντρωση του την ψυχρή περίοδο, διπλάσια της αντίστοιχης μέγιστης την θερμή περίοδο, ενώ οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των αστικών τριπλάσιες των περιαστικών σταθμών.

Από την συσχέτιση των σταθμών που πραγματοποιήθηκε για τα NO_x, προέκυψε ότι η μεγαλύτερη συσχέτιση εντοπίζεται μεταξύ των αστικών σταθμών καθόλη την διάρκεια του έτους, ενώ πολύ ασθενέστερη και χωρίς ιδιαίτερη στατιστική σημαντικότητα εμφανίζεται στους αστικούς-περιαστικούς και περιαστικούς-περιαστικούς σταθμούς. Με δεδομένο ότι οι περιαστικοί σταθμοί, συγκεντρώνουν πολύ μικρότερες τιμές NO_x σε όλο το έτος και συγκεκριμένα 2,5 φορές μικρότερες των τιμών των αστικών σταθμών, κατανοείται ο λόγος της μικρής συσχέτισης τόσο μεταξύ των αστικών-περιαστικών όσο και μεταξύ περιαστικών-περιαστικών. Ειδικεύοντας, πιστοποιείται ότι την ψυχρή περίοδο, οι συσχετίσεις μεταξύ αστικών-αστικών σταθμών, είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες συσχετίσεις την θερμή περίοδο, ενώ αν και συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο μεταξύ των αστικών-περιαστικών και περιαστικών-περιαστικών σταθμών, οι συσχετίσεις αυτές χαρακτηρίζονται ασθενείς και ανύπαρκτες αντίστοιχα.

Αναφορικά με την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων στα NO_x, εξήχθησαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα, τα οποία παραθέτονται ακολούθως.

Την θερμή περίοδο, η διεύθυνση του ανέμου δεν επηρεάζει ούτε την συγκέντρωση των NO_x (δεδομένου ότι η φωτοχημεία είναι αποτελεσματικότερος παράγοντας επίδρασης στην συγκέντρωση των NO_x, τόσο έναντι της έντασης όσο και της διεύθυνσης του ανέμου) αλλά ούτε και την συγκέντρωση του CO. Αντίθετα, την ψυχρή σε αντίθεση με την θερμή περίοδο, πρωταγωνιστικό ρόλο στον καθορισμό της συγκέντρωσης των NO_x και του CO, διαδραματίζει η διεύθυνση του ανέμου. Την ψυχρή υπάρχει ομοιομορφία ως προς την διεύθυνση στην οποία η συγκέντρωση των

NO_x και του CO μεγιστοποιείται σε όλους τους σταθμούς. Συγκεκριμένα, μεγιστοποιείται στις νότιες, νοτιοδυτικές και δυτικές διευθύνσεις ανέμου. Η παραπάνω διαπίστωση σε συνδυασμό με δεδομένα όπως ότι αύρα δραστηριοποιείται στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες που συχνά δεν ξεπερνούν τα 1-2 m/s (Σαχσαμάνογλου, 1976; Φλόκας, 1997), καθώς και ότι αυτή δραστηριοποιείται και την χειμερινή περίοδο (Flocas et al., 2008), οδηγεί σε δύο σημαντικά συμπεράσματα. Η αύρα δεν επιδρά στην συγκέντρωση των NO_x και του CO την θερμή, ενώ αντίθετα, η επίδραση της είναι καθοριστική την ψυχρή περίοδο, δεδομένου ότι δεν δύναται να προκαλέσει απομάκρυνση αυτών, με αποτέλεσμα να υπομοχλεύει την αύξηση της συγκέντρωσης τους.

Η ένταση του ανέμου επιδρά κατά τον ίδιο τρόπο στους ρύπους NO_x και CO, δεδομένου ότι εκπέμπονται από τις ίδιες πηγές. Ο παράγοντας της ταχύτητας του ανέμου, επηρεάζει τόσο την συγκέντρωση των NO_x όσο και του CO αντιστρόφως ανάλογα την θερμή και κυρίως την ψυχρή περίοδο. Η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου, εμφανίζεται ουσιώδης μόνο την ψυχρή περίοδο κυρίως στους αστικούς σταθμούς, αφού την θερμή περίοδο η επίδραση της σε όλους τους σταθμούς, αστικούς και κυρίως περιαστικούς, θεωρείται αμελητέα. Αυτό προκύπτει από τις συγκεντρώσεις των NO_x και του CO όλων των σταθμών, όπου την ψυχρή περίοδο διαφοροποιούνται κατά την μεταβολή των ανέμων από ισχυρούς σε ασθενείς, ενώ την θερμή οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις, είτε επικρατούν μεγάλες είτε μικρές ταχύτητες ανέμου, σχεδόν ταυτίζονται.

Η θερμοκρασία και σχετική υγρασία επίσης επιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο στους ρύπους NO_x και CO, δεδομένου ότι εκπέμπονται από τις ίδιες πηγές. Τόσο η συγκέντρωση των NO_x όσο και η συγκέντρωση του CO, αυξάνουν αναλογικά με τις επιδράσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Οι συγκεντρώσεις των NO_x και CO στους περιαστικούς σταθμούς καθόλο το έτος, παραμένουν αδιάφορες στις μεταβολές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Στους αστικούς σταθμούς, οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των δύο ρύπων επίσης δεν μεταβάλλονται την θερμή περίοδο κατά τις μεταβολές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Αντίθετα τη ψυχρή περίοδο και οι δύο ρύποι αντιδρούν αναλογικά στις μεταβολές και της θερμοκρασίας αλλά και της σχετικής υγρασίας, αυξάνοντας ελαφρώς τις συγκεντρώσεις τους κατά την αντίστοιχη αύξηση των δύο παραπάνω μετεωρολογικών παραγόντων.

Ακολουθώντας, μελετώντας τα O_x και με δεδομένο ότι απαρτίζονται από O_3 και NO_2 , συμπεραίνεται ότι οι μεταβολές στην συγκέντρωση τους καθόλη την διάρκεια του έτους, συγκεντρώνουν τα χαρακτηριστικά τόσο των NO_x όσο και του O_3 . Αν και εμφανίζεται μέγιστη τιμή των O_x την θερμή και ελάχιστη την ψυχρή περίοδο, οι διαφορές των δύο ακρότατων τιμών δεν έχουν μεγάλο εύρος, γεγονός που αποδεικνύει σταθερότητα στην συγκέντρωση των O_x καθόλο το έτος σε βαθμό που την θερμή περίοδο και ιδιαίτερα την θερινή, οι συγκεντρώσεις των αστικών και περιαστικών σταθμών ταυτίζονται ή να τείνουν να ταυτιστούν (Kley *et al.*, 1993). Η ίδια εικόνα, της μικρής διακύμανσης της συγκέντρωσης των O_x παρουσιάζεται και σε ημερήσια κλίμακα, σε αντίθεση με όλους τους υπολοίπους ρύπους όπου παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διακυμάνσεις τόσο σε ημερήσια όσο και σε ετήσια βάση. Αν και δεν εμφανίζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής των O_x σε ημερήσια βάση, εν τούτοις η πρώτη εμφανίζεται κατά τις απογευματινές ώρες μεταξύ 15:00-17:00h, ενώ η δεύτερη τις πρωινές ώρες μεταξύ 5:00-7:00h. Σε συμφωνία με τους υπόλοιπους προαναφερθέντες ρύπους, τα μέγιστα και ελάχιστα των συγκεντρώσεων των O_x την ψυχρή επιτυγχάνονται μία ώρα αργότερα έναντι της θερμής περιόδου.

Εν συνεχεία, από τις συσχετίσεις των σταθμών που πραγματεύονται τα O_x , προκύπτουν ότι η συσχέτιση όλων των σταθμών μεταξύ τους (αστικών-αστικών, αστικών-περιαστικών και περιαστικών-περιαστικών) είναι υψηλή καθόλη της διάρκεια του έτους. Ιδιαίτερα οι συσχετίσεις που αφορούν αστικούς-περιαστικούς σταθμούς διακρίνονται από υψηλή συσχεσιμότητα, μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες συσχετίσεις που βρέθηκαν για τους ρύπους O_3 και NO_x , γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην σύσταση των O_x τα οποία απαρτίζονται τόσο από O_3 όσο και από NO_x . Την θερμή ή την ψυχρή περίοδο, δεν εμφανίζεται μεγαλύτερη συσχέτιση σε κάποια κατηγορία συσχετισθέντων σταθμών (αστικοί-αστικοί, περιαστικοί-αστικοί και περιαστικοί-περιαστικοί), γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στο ότι οι τιμές των συσχετίσεων αυτών χαρακτηρίζονται ως ελάχιστα ή καθόλου στατιστικά σημαντικές. Όσον αφορά τα O_x σε όλους τους σταθμούς αστικούς και περιαστικούς, θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω της μεταφοράς του O_3 στις περιαστικές και της έντονης παράγωγης NO_x στις αστικές περιοχές, λαμβάνοντας τους ρύπους αθροιστικά ως O_x , παρουσιάζεται έντονη ρύπανση τόσο εντός της πόλης όσο και στα προάστια αυτής.

Αναφορικά με την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων στα O_x , εξήχθησαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα, τα οποία παραθέτονται ακολούθως.

Η διεύθυνση του ανέμου, δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της συγκέντρωσης του O_x την θερμή περίοδο αφού ο κάθε σταθμός εμφανίζει διαφορετική διεύθυνση στην οποία μεγιστοποιείται η συγκέντρωση των παραπάνω ρύπων. Η ίδια εικόνα ισχύει και την ψυχρή περίοδο, με την διαφορά ότι εμφανίζονται ελαφρά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις O_x στις νότιες και νοτιοδυτικές διευθύνσεις. Η συμπεριφορά των O_x στην επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου την θερμή περίοδο αποδίδεται στο O_3 , καθώς τα O_x ακολουθούν περισσότερο τα χαρακτηριστικά του, ενώ η αντίστοιχη συμπεριφορά τους την ψυχρή περίοδο αποδίδεται στο NO_2 και άρα στα NO_x , δεδομένου ότι το O_3 εμφανίζεται περισσότερο σύσταση των O_x την θερμή περίοδο, ενώ το NO_2 περισσότερο την ψυχρή περίοδο.

Αναφορικά με την επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στα O_x , βρέθηκε ότι την θερμή περίοδο η ταχύτητα του ανέμου επιδρά μόνο στους περιαστικούς σταθμούς αντιστρόφως ανάλογα με κάποιες εξαιρέσεις, ενώ την ψυχρή περίοδο ο ίδιος παράγοντας επιδρά περισσότερο στους αστικούς και λιγότερο στους περιαστικούς σταθμούς επίσης με εξαιρέσεις και χωρίς να είναι ξεκάθαρη η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε σταθμό. Οι παραπάνω εξαιρέσεις που εμφανίζονται τόσο στους αστικούς όσο και στους περιαστικούς σταθμούς, έχουν να κάνουν με την ταυτότητα του ρύπου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία (O_3 ή NO_2), δεδομένου ότι ο εν λόγω παράγοντας επιδρά διαφορετικά στο O_3 και στο NO_2 . Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι διαφορετική επίδραση επιφέρει η ταχύτητα του ανέμου στην συγκέντρωση των O_x σε σταθμό που είναι περισσότερο το NO_2 και διαφορετική σε σταθμό όπου περισσότερο είναι το O_3 .

Την θερμή περίοδο η συγκέντρωση των O_x αυξάνει αναλογικά με την θερμοκρασία, ενώ την ψυχρή περίοδο, η αντίστοιχη συγκέντρωση παραμένει αδιάφορη των μεταβολών της θερμοκρασίας, με μοναδική εξαίρεση το σταθμό του Πανοράματος. Συνεπώς την θερμή περίοδο, η θερμοκρασία διαδραματίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην παραγωγή O_x σε όλους τους σταθμούς και ιδιαίτερα στους περιαστικούς σταθμούς, ενώ την ψυχρή δεν διαδραματίζει κανένα ρόλο στην μεταβολή των O_x σε όλους τους σταθμούς. Επιπρόσθετα, όσον αφορά την σχετική υγρασία, επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στην συγκέντρωση των O_x τόσο την θερμή

όσο και την ψυχρή περίοδο, σχεδόν κατά τον ίδιο τρόπο όσον αφορά τους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς και κατά τον ίδιο βαθμό όσον αφορά τις περιόδους.

Ενώ ο κάθε μετεωρολογικός παράγοντας επηρεάζει ξεχωριστά την συγκέντρωση των ρύπων, η μετεωρολογία σαν σύνολο δεν διακρίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα τις χρονικές αυξομειώσεις των τάσεων του O_3 , των NO_x και των O_x στην πόλη της Θεσσαλονίκης, καθώς προκύπτει ότι η μεταβολή ή όχι της τάσης των παραπάνω ρύπων κατά την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων, πιθανόν να οφείλεται στην θέση που καταλαμβάνουν οι σταθμοί. Η τάση των NO_x στους περιαστικούς σταθμούς είναι ανεξάρτητη της επίδρασης μετεωρολογικών παραγόντων, ενώ η επίδραση αυτών στην τάση των O_x στους αστικούς σταθμούς, είναι ασθενέστερη της αντίστοιχης επίδρασης στην τάση των περιαστικών σταθμών. Το γεγονός ότι οι μετεωρολογικοί παράγοντες συνολικά δεν επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, δεν θα πρέπει να θεωρηθεί απόλυτο, ούτε να παρανοηθεί. Η Μετεωρολογία διαδραματίζει ισχυρό και σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων σε ημερήσια βάση. Το παραπάνω γενικότερο συμπέρασμα, της όχι ιδιαίτερα ισχυρής επίδρασης της Μετεωρολογίας στους ατμοσφαιρικούς ρύπους αναφέρεται στις αυξομειώσεις των χρονικών τάσεων των ρύπων σε βάθος χρόνου, καθώς κατά μήκος του χρονικού φάσματος, η ικανότητα των μετεωρολογικών παραγόντων να επιδρούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση πιθανόν να εξασθενεί.

Θα πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι οι διάφοροι μετεωρολογικοί παράγοντες που μελετήθηκαν παραπάνω, δεν εμπλέκονται στην εποχικότητα εμφάνισης των ακρότατων τιμών συγκέντρωσης των ρύπων O_3 , NO_x , O_x και CO . Επίσης δεν εμπλέκονται στην επιλογή του σταθμού στον οποίο εμφανίζονται οι ακρότατες τιμές συγκέντρωσης των O_3 , NO_x και CO , δεδομένου ότι οι περιαστικοί σταθμοί καταγράφουν τις μέγιστες τιμές σε O_3 και τις ελάχιστες NO_x και CO , ενώ από την άλλη στους αστικούς σταθμούς δημιουργείται η ακριβώς αντίθετη κατάσταση. Στον αντίποδα ωστόσο, οι παράγοντες της ταχύτητας του ανέμου, της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας, επιδρούν στον καθορισμό του σταθμού στον οποίο καταγράφονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες συγκεντρώσεις των O_x .

Όσον αφορά τους σταθμούς που μελετήθηκαν, συμπεραίνεται ότι ο σταθμός της Βενιζέλου αποτελεί αστικό φαράγγι, δεδομένου ότι δεν υποστηρίζεται από μηχανισμούς διάχυσης-διασποράς. Καταυτό τον τρόπο, η παρατήρηση μεγάλων ποσοτήτων NO_x και CO , πιθανόν να οφείλεται σε αυτό, είτε στην εισαγωγή ρύπων από περιοχές πολύ κοντά στο σταθμό.

Τέλος, μελετώντας την συμπεριφορά των δεδομένων του σταθμού της Σίνδου, σε όποιο κομμάτι της μελέτης και αν χρησιμοποιήθηκε, τα αποτελέσματα που παρήχθησαν άλλες φορές ταυτίζονται με τα αποτελέσματα των περιαστικών σταθμών ενισχύοντας την άποψη της σωστής επιλογής να συμπεριληφθεί και να αναλυθεί ως περιαστικός σταθμός, ενώ σε άλλες ταυτίζεται περισσότερο με την συμπεριφορά των αστικών σταθμών, δημιουργώντας ερωτηματικά και αμφιβολίες για τον χαρακτηρισμό της ως περιαστικός σταθμός. Ωστόσο, λύση σε αυτό το προβληματισμό δίνει το γεγονός ότι η Σίνδος χαρακτηρίζεται εκτός από περιαστικός και βιομηχανικός σταθμός, δεδομένου ότι εκεί βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή της Σίνδου. Αν λοιπόν ληφθεί υπόψη, ότι από τις βιομηχανικές μονάδες εκλύονται σημαντικές ποσότητες NO_x και CO , οι οποίες σε μικρό βαθμό εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα της περιοχής με οξείδια του αζώτου και μονοξείδιο, είναι απόλυτα λογικό άλλες φορές να ταυτίζεται με τα αποτελέσματα των αστικών και άλλες να ταυτίζεται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των περιαστικών σταθμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. Συγγράμματα-Ετήσιες Εκθέσεις

1. **Δήμος Θεσσαλονίκης-Αντιδημαρχία Περιβάλλοντος και Πρασίνου** (2008). *Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Θεσσαλονίκη το έτος 2008*: σελ 23
2. **Ζάνης Πρόδρομος** (2008) *Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας*, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: σελ 116
3. **Ζημεράς Ι Στέλιος** (2003) *Στατιστικά πακέτα Ι. Τμήμα Στατιστικής και Αναλογιστικής επιστήμης*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου: σελ 77
4. **Κοντογιάννη Παρασκευή** (2008) *Μελέτη της θαλάσσιας Αύρας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης με τη χρήση Αριθμητικού Μοντέλου Μέσης Κλίμακας*, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης : σελ 100
5. **Κουγιουμτζής Δημήτρης** (2011) *Σημειώσεις της Εφαρμοσμένης Στατιστικής Ανάλυσης*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, σελ 22
6. **Μακρογιάννης Τ.Ι.-Σαχσαμάνογλου Χ.Σ.** (1985), *Στοιχεία Μετεωρολογίας*, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: σελ 238
7. **Μελάς Δημήτρης** (2000), *Ατμοσφαιρική ρύπανση (Οδηγός εκπαιδευτικών)*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου: σελ 53.
8. **Μπαλαφούτης Χρήστος** (1985) *Γενική Κλιματολογία*, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: σελ 190
9. **Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας Διεύθυνση Περιβάλλοντος & Χωροταξίας** (2006) *Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης* : σελ 84
10. **Φλόκας Απόστολος**, (1997): *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη: σελ 465.

11. **Χρονόπουλος Αναστάσιος** (2006) *Σημειώσεις στατιστικής*, Τμήμα διοίκησης και Εφοδιασμού.: σελ 14
12. **National Research Council of the National Academies (U.S.)** (2003) *Managing Carbon Monoxide Pollution in Meteorological and Topographical Problem Areas* : pp 196.
13. **Reddy Patrick J.** (2008) *Ozone Photochemistry and Meteorology* Presentation for the regional air quality council ozone Stakeholders meeting: pp 58.

B. Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά

1. **Σαχσαμάνογλου Χ.Σ.** (1976): Η θαλάσσια αύρα στη Θεσσαλονίκη *Δελτίο Ε.ΜΤ.Ε*, Τόμος 1^{ος}, Τεύχος 2^ο: 19-33
2. **Ντουμανάκης Ε.** και **Νικολάου Κ.** (2011) Διακύμανση ατμοσφαιρικών ρύπων σε συνάρτηση με την κυκλοφοριακή κίνηση και τις μετεωρολογικές συνθήκες στην πόλη της Θεσσαλονίκης. 4^ο *Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας*.
3. **Baertsch-Ritter N.**, Keller J., Dommén J., and Prevot A.S.H.. (2004): Effects of various meteorological conditions and spatial emission resolutions on the ozone concentration and ROG/NOx limitation in the Milan area. *Atmos. Chem. Phys.*, **4**: 423–438.
4. **Cardenas L.M.**, Austin J.F., Burgess R.A., Clemitshaw K.C., Dorling S., Penkett S.A. and Harrison R.M. (1998): Correlations between CO, NOy, O3 and non-methane hydrocarbons and their relationships with meteorology during winter 1993 on the North Norfolk coast, U.K. *Atmospheric Environment* **Vol. 32**, No. 19: 3339-3351
5. **Duenas C.**, Fernandez M.C., Canete S., Carretero J., Ligerb E. (2002): Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast. *The Science of the Total Environment* **299**: 97–113
6. **Flocas H.** & Kelessis A. & Helmis C. & Petrakakis M. & Zoumakis M. & Pappas K. (2008): Synoptic and local scale atmospheric

- circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area. *Theor Appl Climatol.* **95**: 265–277
7. **Fuglestad J.S.**, Berntsen T.K., Isaksen I.S.A., Mao H., Liang X.Z. and Wang W.C. (1997): Climatic effects of NO_x emissions through changes in tropospheric O₃ and CH₄ a global 3-D model study. *Report ISSN: 0804-4562*
 8. **Hao, J.**, Wang, L. Li, L., Hu, J., and Yu, X. (2005): Air pollutants contribution and control strategies of energy-use related sources in Beijing, *Sci. China – Ser. D Earth Sci.*, **48**, 138–146
 9. **Jacob D.J.**, Logan J.A., Gardner G.M., Yevich R.M., Spivakovsky C.M., Wofsy S.C., Sillman S., Prather M.J. (1993): Factors regulating ozone over the United States and its export to the global atmosphere. *Journal of Geophysical research* **Vol. 98**. No. D8: 14,817-14,826
 10. **Kalabokas.P.D.** and Bartzis.G.J. (1998): Photochemical air pollution air pollution characteristics at the station of the NCSR-Demokritos, during the medcaphot-trace campaign in Athens Greece (20 August-20 September). *Atmospheric Environment* **Vol. 32**, No.12: 2123-2139
 11. **Kalabokas.P.D.**, Viras L.G., Bartzis J.G., Repapis C.C. (2000): Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens. *Atmospheric Environment* **34**: 5199-5208
 12. **Kalabokas P. D.** and Repapis C. C. (2004): A climatological study of rural surface ozone in central Greece. *Atmos. Chem. Phys.*, **4**: 1139–1147
 13. **Kalbarczyk R.**, Kalbarczyk E. (2007): Influence of meteorological conditions on the concentration of NO₂ and NO_x in northwest Poland in relation to wind direction. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation* No 38: 81–94
 14. **Kley D., Geiss H. and Mohnen V. A.** (1993): Tropospheric ozone at elevated sites and precursor emissions in the united states and Europe. *Atmospheric Environment* **Vol. 28**. No 1: 149-158
 15. **Lin, W.**, Xu, X., Ge, B., and Zhang, X. (2009): Characteristics of gaseous pollutants at Gucheng, a rural site southwest of Beijing, *J. Geophys. Res.*, **114**: D00G14, doi:10.1029/2008JD010339,2009

16. **Lin W.**, Xu X., Ge B. and Liu X. (2011): Gaseous pollutants in Beijing urban area during the heating period 2007–2008: variability, sources, meteorological and chemical impacts. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **11**: 6919–6956
17. **Mavrakis A.**, Theoharatos G., Pitsitakis N., Christides A., Makrigiannis G. (2004): Meteorological conditions during the occurrence of severe air pollution episodes in the thriassio plain. *EIKI55*
18. **Mavroidis I.**, Chaloulakou A. (2011): Long-term trends of primary and secondary NO₂ production in the Athens area. Variation of the NO₂/NO_x ratio. *Atmospheric Environment* **45**: 6872-6879
19. **Monks P.S.** (2000): A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. *Atmospheric Environment* **34**: 3545-3561
20. **Petrakakis M.I.**, Kelessis A.G., Tzoumaka P.N. and Nikolaou K.I. (2001): Air pollution concentration levels in thessaloniki during the period 1989-1999. *Proc. of the 7th Int. Conf. on Environmental Science and Technology*, **Vol. C**: 425-431
21. **Tarasova O.A.** and Karpetchko A.Yu. (2003): Accounting for local meteorological effects in the ozone time-series of Lovozero (Kola Peninsula). *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **3**: 655–676
22. **Zickus M.**, Graig A. (2001): Effects of congested vs. free urban freeway urban traffic flow on air pollutant concentrations in a street canyon. *7th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*.

Γ. Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο

1. Άρθρο στο Energia.gr
http://www.energia.gr/article.asp?art_id=15433
2. Αρχείο ημερήσιων μετρήσεων Δήμος Θεσσαλονίκης Τμήμα Περιβάλλοντος
<http://www.envdimosthes.gr>
3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/chapter1_a.pdf

4. Ατμοσφαιρική ρύπανση - μετεωρολογία σε αστικό περιβάλλον υπό συνθήκες υψηλού υπόβαθρου, Παπαναστασίου, Δημήτρης (2007, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ))
<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/14640#page/44/mode/2up>
5. Διάγραμμα όζοντος. Η χημική ένωση του μήνα (Οζόν) Ιούλιος 2009
http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm
6. Δομή Απασχόλησης και Σταδιοδρομίας Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
<http://www.lisys.gr/demometeo/index.php/el/information/meteorology-a-air-pollution>
7. Εικόνα από την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης
<http://www.ktimatologio.gr/ktima/>
8. Εικόνα ρύπανσης σε CO στην ατμόσφαιρα της γης από το διάστημα (NASA)
<http://aqua.nasa.gov/highlight.php?id=44>
9. Εικόνα ρύπανσης σε NO₂ στην ατμόσφαιρα της γης από το διάστημα (ESA)
<http://oceanworld.tamu.edu/resources/environment-book/atmosphericpollutants.html>
10. Εικόνα ρύπανσης σε O₃ στην ατμόσφαιρα της γης από το διάστημα (NASA)
http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/cloud_slice/
11. Ιστορική Ανάδρομή Ιστοσελίδα 10^{ου} δημοτικού σχολείου Ιλίου
<http://www.10dimotikoiliou.gr/selides/yliko/programmata/anadromi.php>
12. Ρύπανση του αέρα-Βιοιστολόγιο
<http://kkeram1441.wordpress.com/2009/06/27/%CF%81%CF%85%C>
[F%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7/](http://kkeram1441.wordpress.com/2009/06/27/%CF%81%CF%85%C)
13. *London Going out of Town*. George Cruikshank
<http://www.historyhome.co.uk/peel/p-health/bricks.htm>
14. StadtKlima – The International Association for Urban Climate
<http://www.stadtlima.de/>
15. Wikipedia
<http://el.wikipedia.org>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

$R^2 O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,82	0,94	0,88	0,56	0,81	0,74	0,70	0,84	0,79	0,70	0,88
ΚΑΛ		1	0,78	0,50	0,39	0,50	0,50	0,44	0,69	0,58	0,63	0,59
Α.Π.Θ.			1	0,85	0,56	0,78	0,72	0,66	0,80	0,81	0,69	0,89
ΜΑΡΤ				1	0,56	0,86	0,83	0,82	0,66	0,79	0,61	0,79
ΒΕΝ					1	0,55	0,54	0,65	0,38	0,57	0,57	0,46
ΤΟΥΜ						1	0,83	0,80	0,67	0,70	0,56	0,74
ΕΠΤ							1	0,87	0,40	0,78	0,55	0,64
ΛΑΓΚ								1	0,44	0,69	0,50	0,59
ΚΟΡΔ									1	0,63	0,60	0,79
ΝΕΟ										1	0,79	0,74
ΠΑΝ											1	0,70
ΣΙΝ												1
$R^2 O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,68	0,88	0,78	0,31	0,66	0,54	0,49	0,7	0,62	0,49	0,77
ΚΑΛ		1	0,59	0,25	0,15	0,25	0,25	0,19	0,47	0,34	0,39	0,35
Α.Π.Θ.			1	0,72	0,31	0,61	0,51	0,44	0,64	0,66	0,48	0,8
ΜΑΡΤ				1	0,31	0,73	0,68	0,68	0,44	0,63	0,38	0,63
ΒΕΝ					1	0,3	0,29	0,42	0,14	0,32	0,33	0,21
ΤΟΥΜ						1	0,68	0,64	0,45	0,50	0,31	0,54
ΕΠΤ							1	0,75	0,16	0,60	0,30	0,40
ΛΑΓΚ								1	0,19	0,48	0,25	0,34
ΚΟΡΔ									1	0,4	0,36	0,62
ΝΕΟ										1	0,63	0,55
ΠΑΝ											1	0,49
ΣΙΝ												1
αO_3	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,82	1,1	0,8	0,33	0,8	0,73	0,54	0,96	0,92	1,05	0,89
ΚΑΛ		1	0,85	0,41	0,2	0,45	0,48	0,33	0,82	0,63	0,93	0,56
Α.Π.Θ.			1	0,68	0,28	0,66	0,64	0,46	0,75	0,8	0,89	0,77
ΜΑΡΤ				1	0,35	0,91	0,92	0,71	0,88	1,02	1,03	0,88
ΒΕΝ					1	0,92	0,93	0,88	0,72	1,15	1,53	0,8
ΤΟΥΜ						1	0,83	0,65	0,82	0,84	0,86	0,67
ΕΠΤ							1	0,67	0,45	0,93	0,84	0,64
ΛΑΓΚ								1	0,69	1,06	1	0,76
ΚΟΡΔ									1	0,69	0,75	0,72
ΝΕΟ										1	1,01	0,65
ΠΑΝ											1	0,47
ΣΙΝ												1
βO_3	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	8	5	12	26	19	25	17	13	47	48	20
ΚΑΛ		1	19	32	31	38	41	30	15	61	48	34
Α.Π.Θ.			1	13	25	21	25	19	13	45	44	18
ΜΑΡΤ				1	23	12	15	9	13	39	38	14
ΒΕΝ					1	18	20	7	24	40	26	24
ΤΟΥΜ						1	11	6	12	40	38	14
ΕΠΤ							1	3	28	33	39	19
ΛΑΓΚ								1	26	42	45	24
ΚΟΡΔ									1	51	60	22
ΝΕΟ										1	6	2
ΠΑΝ											1	14
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π1. Πίνακες R , R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για το O_3 όλο το έτος

R NO _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,80	0,90	0,85	0,84	0,83	0,79	0,92	0,84	0,52	0,57	0,75
ΚΑΛ		1	0,83	0,81	0,73	0,77	0,77	0,82	0,76	0,50	0,62	0,58
Α.Π.Θ.			1	0,78	0,76	0,84	0,74	0,89	0,86	0,54	0,67	0,72
ΜΑΡΤ				1	0,80	0,71	0,76	0,84	0,78	0,49	0,57	0,75
ΒΕΝ					1	0,66	0,65	0,81	0,76	0,33	0,52	0,67
ΤΟΥΜ						1	0,78	0,82	0,84	0,60	0,66	0,73
ΕΠΤ							1	0,84	0,76	0,66	0,70	0,66
ΛΑΓΚ								1	0,87	0,57	0,57	0,77
ΚΟΡΔ									1	0,56	0,65	0,72
ΝΕΟ										1	0,43	0,49
ΠΑΝ											1	0,59
ΣΙΝ												1
R ² NO _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,63	0,80	0,72	0,71	0,69	0,62	0,84	0,70	0,27	0,33	0,56
ΚΑΛ		1	0,70	0,66	0,53	0,59	0,60	0,66	0,57	0,25	0,38	0,34
Α.Π.Θ.			1	0,60	0,57	0,71	0,55	0,78	0,73	0,30	0,45	0,51
ΜΑΡΤ				1	0,63	0,50	0,57	0,71	0,61	0,24	0,33	0,57
ΒΕΝ					1	0,43	0,42	0,66	0,57	0,11	0,27	0,44
ΤΟΥΜ						1	0,61	0,66	0,71	0,36	0,43	0,53
ΕΠΤ							1	0,70	0,58	0,44	0,49	0,44
ΛΑΓΚ								1	0,76	0,32	0,33	0,59
ΚΟΡΔ									1	0,31	0,42	0,51
ΝΕΟ										1	0,18	0,24
ΠΑΝ											1	0,34
ΣΙΝ												1
α NO _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,49	0,69	0,66	1,35	0,67	0,56	0,95	0,70	0,08	0,12	0,25
ΚΑΛ		1	1,09	1,04	1,89	1	0,92	1,38	1,02	0,14	0,22	0,31
Α.Π.Θ.			1	0,67	1,7	0,78	0,67	1,22	0,90	0,12	0,18	0,31
ΜΑΡΤ				1	1,6	0,66	0,65	1,06	0,84	0,1	0,18	0,38
ΒΕΝ					1	0,3	0,28	0,5	0,39	0,03	0,06	0,13
ΤΟΥΜ						1	0,73	1,1	0,90	0,13	0,19	0,32
ΕΠΤ							1	1,19	0,85	0,15	0,24	0,35
ΛΑΓΚ								1	0,68	0,09	0,12	0,24
ΚΟΡΔ									1	0,11	0,17	0,29
ΝΕΟ										1	0,57	1,15
ΠΑΝ											1	0,92
ΣΙΝ												1
β NO _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	5	-7,5	13	91	4	-5	-11	-4	3	5	6
ΚΑΛ		1	6	23	121	18	1	9	12	4	6	15
Α.Π.Θ.			1	32	125	25	7	10	9	4	6	13
ΜΑΡΤ				1	91	12	0	-2	2	4	5	3
ΒΕΝ					1	-3	-11	-30	-22	4	2	1
ΤΟΥΜ						1	4	9	0	2	3	7
ΕΠΤ							1	19	21	4	6	14
ΛΑΓΚ								1	9	4	7	11
ΚΟΡΔ									1	4	6	13
ΝΕΟ										1	9	18
ΠΑΝ											1	15
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π2. Πίνακες R, R², α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για το NO_x όλο το έτος

R O _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,72	0,88	0,73	0,63	0,77	0,58	0,62	0,82	0,77	0,78	0,79
ΚΑΛ		1	0,73	0,57	0,42	0,62	0,49	0,41	0,62	0,62	0,59	0,47
Α.Π.Θ.			1	0,78	0,60	0,71	0,58	0,63	0,88	0,81	0,79	0,80
ΜΑΡΤ				1	0,51	0,64	0,64	0,57	0,65	0,70	0,65	0,73
ΒΕΝ					1	0,50	0,60	0,70	0,44	0,70	0,54	0,37
ΤΟΥΜ						1	0,71	0,70	0,57	0,71	0,74	0,63
ΕΠΤ							1	0,78	0,39	0,72	0,62	0,39
ΛΑΓΚ								1	0,45	0,71	0,67	0,35
ΚΟΡΔ									1	0,65	0,65	0,82
ΝΕΟ										1	0,79	0,64
ΠΑΝ											1	0,71
ΣΙΝ												1
R ² O _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,51	0,77	0,54	0,39	0,59	0,34	0,38	0,67	0,6	0,61	0,63
ΚΑΛ		1	0,54	0,32	0,17	0,39	0,24	0,17	0,38	0,38	0,35	0,22
Α.Π.Θ.			1	0,61	0,37	0,50	0,34	0,40	0,78	0,65	0,62	0,65
ΜΑΡΤ				1	0,26	0,41	0,41	0,33	0,42	0,49	0,43	0,53
ΒΕΝ					1	0,25	0,36	0,50	0,20	0,49	0,29	0,14
ΤΟΥΜ						1	0,50	0,49	0,33	0,51	0,55	0,40
ΕΠΤ							1	0,6	0,15	0,52	0,38	0,15
ΛΑΓΚ								1	0,20	0,50	0,44	0,12
ΚΟΡΔ									1	0,43	0,42	0,68
ΝΕΟ										1	0,63	0,41
ΠΑΝ											1	0,50
ΣΙΝ												1
α O _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,65	0,95	0,68	0,72	0,88	0,64	0,62	0,84	1,1	1,1	0,72
ΚΑΛ		1	0,92	0,53	0,47	0,76	0,59	0,46	0,78	0,92	0,96	0,54
Α.Π.Θ.			1	0,66	0,69	0,83	0,59	0,58	0,82	1,05	1	0,66
ΜΑΡΤ				1	0,63	0,8	0,81	0,65	0,75	1,12	0,99	0,62
ΒΕΝ					1	0,53	0,63	0,65	0,38	0,84	0,62	0,28
ΤΟΥΜ						1	0,67	0,61	0,51	0,88	0,85	0,49
ΕΠΤ							1	0,7	0,37	0,92	0,74	0,32
ΛΑΓΚ								1	0,47	0,99	0,92	0,31
ΚΟΡΔ									1	0,92	0,89	0,75
ΝΕΟ										1	0,77	0,43
ΠΑΝ											1	0,45
ΣΙΝ												1
β O _x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	18	0	22	48	6	26	26	9	16	4	9
ΚΑΛ		1	23	48	80	40	45	52	32	57	39	45
Α.Π.Θ.			1	22	50	12	28	29	17	25	15	18
ΜΑΡΤ				1	63	19	17	29	28	29	27	27
ΒΕΝ					1	28	16	9	49	29	41	49
ΤΟΥΜ						1	30	31	48	43	35	40
ΕΠΤ							1	23	61	44	49	58
ΛΑΓΚ								1	53	40	34	57
ΚΟΡΔ									1	42	30	10
ΝΕΟ										1	15	29
ΠΑΝ											1	33
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π3. Πίνακες R, R², α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για το O_x όλο το έτος

$R\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,46	0,79	0,61	0,51	0,55	0,37	0,47	0,60	0,51	0,38	0,75
ΚΑΛ		1	0,54	0,10	0,10	0,18	0,19	0,13	0,38	0,28	0,46	0,47
Α.Π.Θ.			1	0,56	0,50	0,50	0,37	0,41	0,59	0,60	0,47	0,80
ΜΑΡΤ				1	0,56	0,69	0,68	0,81	0,20	0,58	0,24	0,47
ΒΕΝ					1	0,49	0,34	0,51	0,24	0,48	0,38	0,41
ΤΟΥΜ						1	0,61	0,68	0,35	0,44	0,19	0,43
ΕΠΤ							1	0,80	-0,14	0,61	0,13	0,24
ΛΑΓΚ								1	0,07	0,54	0,17	0,30
ΚΟΡΔ									1	0,24	0,11	0,51
ΝΕΟ										1	0,69	0,55
ΠΑΝ											1	0,53
ΣΙΝ												1
$R^2\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,21	0,62	0,37	0,26	0,3	0,14	0,22	0,16	0,26	0,14	0,56
ΚΑΛ		1	0,29	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,14	0,08	0,21	0,22
Α.Π.Θ.			1	0,31	0,25	0,25	0,14	0,37	0,15	0,36	0,22	0,65
ΜΑΡΤ				1	0,31	0,47	0,47	0,66	0,04	0,33	0,06	0,22
ΒΕΝ					1	0,24	0,11	0,26	0,06	0,23	0,14	0,17
ΤΟΥΜ						1	0,37	0,47	0,12	0,19	0,04	0,18
ΕΠΤ							1	0,64	0,02	0,37	0,02	0,06
ΛΑΓΚ								1	0,01	0,29	0,03	0,09
ΚΟΡΔ									1	0,06	0,01	0,26
ΝΕΟ										1	0,48	0,31
ΠΑΝ											1	0,28
ΣΙΝ												1
$\alpha\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,51	0,92	0,54	0,35	0,64	0,46	0,47	0,86	0,6	0,61	0,7
ΚΑΛ		1	0,46	0,07	0,05	0,14	0,16	0,19	0,56	0,28	0,71	0,32
Α.Π.Θ.			1	0,43	0,31	0,49	0,41	0,35	0,75	0,6	0,76	0,67
ΜΑΡΤ				1	0,43	0,86	0,96	0,85	0,34	0,76	0,49	0,5
ΒΕΝ					1	0,8	0,61	0,72	0,48	0,83	1,03	0,55
ΤΟΥΜ						1	0,65	0,59	0,39	0,44	0,29	0,35
ΕΠΤ							1	0,61	-0,15	0,58	0,2	0,18
ΛΑΓΚ								1	0,11	0,64	0,32	0,3
ΚΟΡΔ									1	0,19	0,12	0,33
ΝΕΟ										1	0,93	0,45
ΠΑΝ											1	0,27
ΣΙΝ												1
$\beta\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	29	18	29	25	31	45	25	17	70	78	31
ΚΑΛ		1	47	61	43	64	69	52	32	92	70	55
Α.Π.Θ.			1	33	25	36	46	31	11	63	55	25
ΜΑΡΤ				1	19	17	15	3	46	59	77	40
ΒΕΝ					1	33	46	22	45	68	62	46
ΤΟΥΜ						1	27	14	45	75	87	47
ΕΠΤ							1	11	77	64	94	58
ΛΑΓΚ								1	62	72	92	56
ΚΟΡΔ									1	97	113	55
ΝΕΟ										1	15	26
ΠΑΝ											1	43
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π4. Πίνακες R , R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για το O_3 την θερμή περίοδο

$R^2 NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,51	0,78	0,69	0,62	0,60	0,66	0,72	0,65	0,24	0,47	0,69
ΚΑΛ		1	0,73	0,58	0,25	0,34	0,44	0,53	0,32	0,27	0,31	0,57
Α.Π.Θ.			1	0,75	0,34	0,71	0,72	0,83	0,69	0,40	0,61	0,78
ΜΑΡΤ				1	0,53	0,50	0,57	0,62	0,48	0,31	0,41	0,73
ΒΕΝ					1	0,36	0,26	0,53	0,47	-0,13	0,24	0,26
ΤΟΥΜ						1	0,60	0,62	0,72	0,30	0,55	0,68
ΕΠΤ							1	0,63	0,64	0,43	0,64	0,66
ΛΑΓΚ								1	0,72	0,34	0,50	0,74
ΚΟΡΔ									1	0,33	0,58	0,68
ΝΕΟ										1	0,36	0,40
ΠΑΝ											1	0,58
ΣΙΝ												1
$R^2 NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,26	0,61	0,47	0,38	0,36	0,43	0,5	0,43	0,06	0,22	0,47
ΚΑΛ		1	0,53	0,33	0,06	0,11	0,19	0,28	0,1	0,07	0,1	0,32
Α.Π.Θ.			1	0,57	0,11	0,5	0,51	0,69	0,47	0,16	0,37	0,62
ΜΑΡΤ				1	0,28	0,25	0,32	0,38	0,23	0,1	0,17	0,54
ΒΕΝ					1	0,13	0,07	0,28	0,22	0,02	0,06	0,07
ΤΟΥΜ						1	0,36	0,39	0,52	0,09	0,3	0,46
ΕΠΤ							1	0,39	0,41	0,19	0,41	0,43
ΛΑΓΚ								1	0,51	0,12	0,25	0,54
ΚΟΡΔ									1	0,1	0,34	0,46
ΝΕΟ										1	0,13	0,16
ΠΑΝ											1	0,34
ΣΙΝ												1
αNO_x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,33	0,54	0,57	1,34	0,61	0,44	0,66	0,61	0,05	0,11	0,28
ΚΑΛ		1	0,88	0,84	0,84	0,56	0,52	0,83	0,49	0,1	0,13	0,4
Α.Π.Θ.			1	0,93	1,08	0,93	0,77	1,04	0,92	0,13	0,21	0,46
ΜΑΡΤ				1	1,43	0,58	0,41	0,64	0,47	0,07	0,11	0,36
ΒΕΝ					1	0,15	0,07	0,2	0,21	0	0,03	0,05
ΤΟΥΜ						1	0,4	0,58	0,7	0,07	0,15	0,3
ΕΠΤ							1	0,9	0,84	0,13	0,21	0,35
ΛΑΓΚ								1	0,75	0,08	0,14	0,34
ΚΟΡΔ									1	0,07	0,15	0,29
ΝΕΟ										1	0,41	0,73
ΠΑΝ											1	0,94
ΣΙΝ												1
βNO_x	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	10	2	17	88	8	2	8	6	5	4	5
ΚΑΛ		1	12	29	150	35	16	28	33	6	8	11
Α.Π.Θ.			1	21	141	20	2	15	11	4	3	6
ΜΑΡΤ				1	91	17	12	18	25	5	6	3
ΒΕΝ					1	23	22	19	13	12	7	16
ΤΟΥΜ						1	15	24	10	5	3	8
ΕΠΤ							1	22	21	5	5	13
ΛΑΓΚ								1	8	4	4	5
ΚΟΡΔ									1	5	4	11
ΝΕΟ										1	8	19
ΠΑΝ											1	14
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π5. Πίνακες R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για τα NO_x την θερμή περίοδο

R_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,32	0,76	0,44	0,45	0,52	0,26	0,41	0,58	0,62	0,47	0,70
ΚΑΛ		1	0,50	0,13	0,06	0,26	0,20	0,11	0,33	0,47	0,29	0,31
Α.Π.Θ.			1	0,75	0,64	0,62	0,46	0,60	0,76	0,76	0,54	0,71
ΜΑΡΤ				1	0,55	0,60	0,54	0,59	0,49	0,53	0,35	0,61
ΒΕΝ					1	0,49	0,40	0,59	0,22	0,55	0,43	0,38
ΤΟΥΜ						1	0,59	0,74	0,22	0,67	0,70	0,57
ΕΠΤ							1	0,68	-0,08	0,69	0,48	0,29
ΛΑΓΚ								1	0,12	0,69	0,68	0,46
ΚΟΡΔ									1	0,32	0,23	0,64
ΝΕΟ										1	0,67	0,54
ΠΑΝ											1	0,66
ΣΙΝ												1
R^2_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,1	0,58	0,2	0,2	0,27	0,07	0,17	0,33	0,39	0,23	0,48
ΚΑΛ		1	0,25	0,02	0,04	0,07	0,04	0,01	0,11	0,22	0,08	0,1
Α.Π.Θ.			1	0,56	0,41	0,38	0,21	0,36	0,58	0,58	0,29	0,51
ΜΑΡΤ				1	0,3	0,36	0,29	0,35	0,24	0,28	0,12	0,38
ΒΕΝ					1	0,24	0,16	0,35	0,05	0,3	0,19	0,14
ΤΟΥΜ						1	0,35	0,55	0,05	0,44	0,5	0,32
ΕΠΤ							1	0,46	0,07	0,48	0,23	0,08
ΛΑΓΚ								1	0,15	0,47	0,46	0,21
ΚΟΡΔ									1	0,1	0,05	0,41
ΝΕΟ										1	0,44	0,29
ΠΑΝ											1	0,43
ΣΙΝ												1
α_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,43	0,91	0,46	0,53	0,71	0,35	0,47	0,73	0,81	0,83	0,62
ΚΑΛ		1	0,46	0,12	0,06	0,25	0,22	0,12	0,38	0,46	0,4	0,16
Α.Π.Θ.			1	0,75	0,77	0,79	0,61	0,64	0,77	0,85	0,83	0,51
ΜΑΡΤ				1	0,65	0,85	0,74	0,69	0,65	0,62	0,55	0,42
ΒΕΝ					1	0,55	0,46	0,57	0,23	0,55	0,58	0,25
ΤΟΥΜ						1	0,63	0,64	0,25	0,61	0,93	0,3
ΕΠΤ							1	0,55	-0,08	0,59	0,53	0,13
ΛΑΓΚ								1	0,15	0,73	0,98	0,29
ΚΟΡΔ									1	0,27	0,29	0,52
ΝΕΟ										1	0,9	0,31
ΠΑΝ											1	0,25
ΣΙΝ												1
β_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	39	9	49	68	27	60	44	22	24	34	24
ΚΑΛ		1	73	90	120	91	83	87	72	78	96	86
Α.Π.Θ.			1	13	38	16	25	20	21	19	34	38
ΜΑΡΤ				1	59	17	28	27	39	55	75	50
ΒΕΝ					1	35	44	24	73	47	57	65
ΤΟΥΜ						1	36	29	80	51	31	66
ΕΠΤ							1	39	112	57	78	86
ΛΑΓΚ								1	90	46	38	70
ΚΟΡΔ									1	90	102	39
ΝΕΟ										1	25	61
ΠΑΝ											1	65
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π6. Πίνακες R, R^2, α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για τα O_x την θερμή περίοδο

$R\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,88	0,86	0,87	0,16	0,70	0,66	0,26	0,89	0,62	0,52	0,82
ΚΑΛ		1	0,86	0,60	0,35	0,57	0,50	0,22	0,80	0,50	0,54	0,70
Α.Π.Θ.			1	0,81	0,10	0,69	0,65	0,16	0,84	0,63	0,50	0,83
ΜΑΡΤ				1	0,12	0,76	0,67	0,32	0,79	0,59	0,44	0,75
ΒΕΝ					1	0,16	0,29	0,57	0,14	0,21	0,45	0,06
ΤΟΥΜ						1	0,76	0,47	0,60	0,41	0,36	0,64
ΕΠΤ							1	0,50	0,62	0,57	0,46	0,56
ΛΑΓΚ								1	0,19	0,19	0,18	0,16
ΚΟΡΔ									1	0,60	0,67	0,85
ΝΕΟ										1	0,54	0,53
ΠΑΝ											1	0,52
ΣΙΝ												1
$R^2\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,77	0,88	0,76	0,03	0,49	0,44	0,07	0,79	0,38	0,27	0,67
ΚΑΛ		1	0,74	0,36	0,12	0,32	0,25	0,05	0,64	0,25	0,29	0,45
Α.Π.Θ.			1	0,65	0,01	0,47	0,42	0,02	0,7	0,39	0,25	0,69
ΜΑΡΤ				1	0,01	0,57	0,45	0,1	0,63	0,34	0,19	0,56
ΒΕΝ					1	0,03	0,09	0,33	0,02	0,05	0,2	0,01
ΤΟΥΜ						1	0,58	0,22	0,36	0,17	0,13	0,41
ΕΠΤ							1	0,25	0,39	0,32	0,21	0,32
ΛΑΓΚ								1	0,03	0,03	0,03	0,03
ΚΟΡΔ									1	0,37	0,44	0,72
ΝΕΟ										1	0,29	0,28
ΠΑΝ											1	0,27
ΣΙΝ												1
$\alpha\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,96	1,19	0,78	0,14	0,65	0,5	0,17	1,28	0,74	1,02	1,06
ΚΑΛ		1	0,99	0,48	0,22	0,46	0,31	0,11	0,95	0,49	0,83	0,73
Α.Π.Θ.			1	0,57	0,07	0,52	0,39	0,08	0,91	0,6	0,74	0,86
ΜΑΡΤ				1	0,11	0,79	0,55	0,22	1,32	0,77	0,88	1,05
ΒΕΝ					1	0,19	0,27	0,44	0,22	0,3	1	0,09
ΤΟΥΜ						1	0,61	0,31	0,93	0,53	0,68	0,87
ΕΠΤ							1	0,4	1,15	0,9	1,15	0,96
ΛΑΓΚ								1	0,4	0,35	0,54	0,33
ΚΟΡΔ									1	0,51	0,79	0,78
ΝΕΟ										1	0,86	0,57
ΠΑΝ											1	0,37
ΣΙΝ												1
$\beta\ O_3$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	2	2	10	30	21	26	24	6	47	44	15
ΚΑΛ		1	7	20	26	26	32	25	10	55	40	20
Α.Π.Θ.			1	12	31	22	28	26	9	47	45	15
ΜΑΡΤ				1	30	15	23	22	0	43	37	8
ΒΕΝ					1	32	30	14	31	55	31	37
ΤΟΥΜ						1	16	17	4	44	37	6
ΕΠΤ							1	13	-6	30	19	1
ΛΑΓΚ								1	26	54	48	30
ΚΟΡΔ									1	44	46	13
ΝΕΟ										1	12	4
ΠΑΝ											1	15
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π7. Πίνακες R , R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για το O_3 την ψυχρή περίοδο

$R\ NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,86	0,90	0,83	0,86	0,86	0,78	0,92	0,86	0,00	0,45	0,72
ΚΑΛ		1	0,87	0,83	0,77	0,85	0,79	0,84	0,85	-0,13	0,58	0,63
Α.Π.Θ.			1	0,75	0,80	0,85	0,69	0,87	0,88	-0,05	0,59	0,68
ΜΑΡΤ				1	0,80	0,73	0,75	0,84	0,81	-0,04	0,49	0,75
ΒΕΝ					1	0,69	0,65	0,83	0,79	-0,05	0,46	0,69
ΤΟΥΜ						1	0,79	0,83	0,85	0,07	0,60	0,74
ΕΠΤ							1	0,83	0,76	0,03	0,64	0,61
ΛΑΓΚ								1	0,88	0,01	0,45	0,75
ΚΟΡΔ									1	-0,12	0,61	0,71
ΝΕΟ										1	-0,09	0,01
ΠΑΝ											1	0,52
ΣΙΝ												1
$R^2\ NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,75	0,80	0,68	0,75	0,74	0,6	0,84	0,74	0	0,2	0,51
ΚΑΛ		1	0,76	0,69	0,60	0,72	0,63	0,71	0,72	0,02	0,33	0,39
Α.Π.Θ.			1	0,56	0,63	0,73	0,48	0,75	0,78	0,03	0,35	0,46
ΜΑΡΤ				1	0,64	0,54	0,56	0,71	0,66	0,01	0,24	0,56
ΒΕΝ					1	0,48	0,42	0,68	0,63	0,003	0,21	0,48
ΤΟΥΜ						1	0,62	0,69	0,73	0,005	0,37	0,55
ΕΠΤ							1	0,68	0,57	0,001	0,40	0,38
ΛΑΓΚ								1	0,78	0	0,20	0,56
ΚΟΡΔ									1	0,01	0,37	0,5
ΝΕΟ										1	0,01	0,01
ΠΑΝ											1	0,27
ΣΙΝ												1
$\alpha\ NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,5	0,72	0,64	1,3	0,73	0,62	1	0,75	0	0,1	0,24
ΚΑΛ		1	1,27	1,09	2,03	1,25	1,09	1,6	1,31	-0,04	0,22	0,36
Α.Π.Θ.			1	0,61	1,59	0,77	0,62	1,19	0,92	-0,01	0,15	0,27
ΜΑΡΤ				1	1,53	0,76	0,73	1,15	0,93	-0,01	0,16	0,38
ΒΕΝ					1	0,38	0,35	0,6	0,45	-0,01	0,06	0,15
ΤΟΥΜ						1	0,75	1,1	0,9	0,01	0,16	0,32
ΕΠΤ							1	1,11	0,82	0,01	0,21	0,32
ΛΑΓΚ								1	0,69	0,002	0,09	0,23
ΚΟΡΔ									1	0	0,15	0,28
ΝΕΟ										1	-0,1	0
ΠΑΝ											1	0,81
ΣΙΝ												1
$\beta\ NO_x$	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	10	-8	19	103	-1	-8	-16	-11	13	10	7
ΚΑΛ		1	-7	19	115	-3	-11	-9	-13	16	7	10
Α.Π.Θ.			1	38	142	23	10	13	6	13	10	15
ΜΑΡΤ				1	111	2	-6	-9	-7	13	8	3
ΒΕΝ					1	-22	-25	-54	-36	14	5	-3
ΤΟΥΜ						1	8	19	4	12	8	8
ΕΠΤ							1	29	24	12	10	17
ΛΑΓΚ								1	8	13	13	12
ΚΟΡΔ									1	15	10	14
ΝΕΟ										1	22	36
ΠΑΝ											1	18
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π8. Πίνακες R , R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για τα NO_x την ψυχρή περίοδο

R_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,79	0,80	0,69	0,61	0,76	0,59	0,58	0,91	0,59	0,87	0,70
ΚΑΛ		1	0,79	0,69	0,41	0,68	0,31	0,31	0,81	0,64	0,80	0,76
Α.Π.Θ.			1	0,56	0,54	0,62	0,53	0,53	0,87	0,58	0,84	0,70
ΜΑΡΤ				1	0,38	0,43	0,49	0,30	0,65	0,56	0,69	0,62
ΒΕΝ					1	0,50	0,66	0,73	0,51	0,22	0,55	0,18
ΤΟΥΜ						1	0,66	0,56	0,69	0,35	0,63	0,52
ΕΠΤ							1	0,74	0,53	0,18	0,61	0,25
ΛΑΓΚ								1	0,51	0,16	0,55	0,09
ΚΟΡΔ									1	0,66	0,90	0,84
ΝΕΟ										1	0,65	0,66
ΠΑΝ											1	0,70
ΣΙΝ												1
R^2_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,62	0,65	0,47	0,38	0,58	0,35	0,34	0,83	0,35	0,75	0,5
ΚΑΛ		1	0,63	0,48	0,17	0,46	0,1	0,09	0,66	0,4	0,63	0,57
Α.Π.Θ.			1	0,31	0,29	0,39	0,29	0,29	0,76	0,33	0,72	0,5
ΜΑΡΤ				1	0,15	0,19	0,25	0,09	0,43	0,31	0,47	0,38
ΒΕΝ					1	0,25	0,43	0,54	0,27	0,5	0,31	0,03
ΤΟΥΜ						1	0,43	0,31	0,47	0,13	0,4	0,27
ΕΠΤ							1	0,55	0,28	0,03	0,37	0,06
ΛΑΓΚ								1	0,26	0,02	0,3	0,01
ΚΟΡΔ									1	0,44	0,81	0,7
ΝΕΟ										1	0,42	0,43
ΠΑΝ											1	0,49
ΣΙΝ												1
α_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	0,79	0,79	0,63	0,93	0,93	0,73	0,74	0,92	0,74	1,15	0,6
ΚΑΛ		1	0,93	0,61	0,54	0,68	0,39	0,39	0,92	0,8	1,13	0,97
Α.Π.Θ.			1	0,5	0,85	0,92	0,65	0,68	0,94	0,68	1,15	0,66
ΜΑΡΤ				1	0,6	0,54	0,64	0,4	0,75	0,94	1,02	0,57
ΒΕΝ					1	0,41	0,58	0,64	0,33	0,22	0,46	0,1
ΤΟΥΜ						1	0,63	0,58	0,51	0,47	0,62	0,37
ΕΠΤ							1	0,76	0,45	0,21	0,68	0,22
ΛΑΓΚ								1	0,42	0,18	0,59	0,07
ΚΟΡΔ									1	0,73	1,16	0,7
ΝΕΟ										1	0,75	0,61
ΠΑΝ											1	0,46
ΣΙΝ												1
β_{Ox}	ΑΓ.ΣΟΦ	ΚΑΛ	Α.Π.Θ.	ΜΑΡΤ	ΒΕΝ	ΤΟΥΜ	ΕΠΤ	ΛΑΓΚ	ΚΟΡΔ	ΝΕΟ	ΠΑΝ	ΣΙΝ
ΑΓ.ΣΟΦ	1	2	12	24	32	1	17	17	3	13	-4	17
ΚΑΛ		1	14	39	71	36	51	51	15	25	14	0
Α.Π.Θ.			1	35	42	4	24	23	7	21	3	16
ΜΑΡΤ				1	66	36	27	46	26	1	19	28
ΒΕΝ					1	31	14	6	45	51	44	58
ΤΟΥΜ						1	32	34	44	36	49	41
ΕΠΤ							1	17	47	58	43	53
ΛΑΓΚ								1	49	60	48	63
ΚΟΡΔ									1	14	0	12
ΝΕΟ										1	42	23
ΠΑΝ											1	25
ΣΙΝ												1

Σχήμα Π9. Πίνακες R , R^2 , α και β αστικών-περιαστικών σταθμών για τα O_x την ψυχρή περίοδο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ανάπτυξη των αέριων ρύπων και γενικότερα η φωτοχημική ρύπανση στην πόλη της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας, καθώς και η επίδραση που ασκούν διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι στην συγκέντρωση του κάθε ρύπου ξεχωριστά.

Διαπιστώθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των NO_x και CO σημειώνουν σημαντική μείωση, ενώ οι αντίστοιχες των O_3 και O_x παρέμειναν σταθερές κατά την περίοδο αναφοράς.

Στα πλαίσια της παρακολούθησης της πορείας των συγκεντρώσεων του κάθε ρύπου ξεχωριστά, διενεργήθηκαν έλεγχοι των συγκεντρώσεων αυτών σε ημερήσια, ετήσια και εποχική βάση. Διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη και η ελάχιστη συγκέντρωση του κάθε ρύπου, εντοπίζεται σε διαφορετική ώρα και εποχή που καθορίζεται ανάλογα με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς και τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Αναφορικά της σχέσης μεταξύ O_3 - NO_x , διαπιστώθηκε σημαντική αλληλεπίδραση, καθώς το ένα δημιουργείται σε βάρος του άλλου.

Μελετώντας το βαθμό συσχέτισης όλων των υπό εξέταση σταθμών (σύνολο 12) προέκυψε μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των περιαστικών σταθμών αναφορικά με το O_3 την θερμή περίοδο. Αναφορικά, με τα NO_x και το CO εντοπίστηκε ανάλογη υψηλή συσχέτιση μεταξύ των αστικών σταθμών, την ψυχρή περίοδο. Όσον αφορά την περίπτωση των O_x , λόγω της χαμηλής στατιστικής σημαντικότητας που προέκυψε, δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερα σημαντική συσχέτιση μεταξύ συγκεκριμένων ομάδων σταθμών. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι το O_3 στο αστικό κέντρο μπορεί να χαρακτηριστεί ως γηγενές, αφού σχηματίζεται από φωτοχημικούς μηχανισμούς παραγωγής μέσω των εκπομπών ρύπων NO_x από ανθρωπογενείς δραστηριότητες εντός αυτής. Από την άλλη μεριά, το O_3 που εμφανίζεται στα περίχωρα της πόλης είτε «εισάγεται» από άλλες περιοχές, είτε σχηματίζεται από φυσικούς μηχανισμούς που δεν σχετίζονται απαραίτητα με ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Ερευνώντας την επίδραση διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων στην υπάρχουσα ατμοσφαιρική ρύπανση, διαπιστώθηκε αρχικά ότι η αύρα δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση των NO_x και του CO κατά την

θερμή περίοδο του έτους. Αντίθετα η επίδραση της είναι καθοριστική την ψυχρή περίοδο, καθώς αποτελεί τον μηχανισμό εισαγωγής ρύπων από μακρινές ατμοσφαιρικά μολυσμένες περιοχές. Επιπλέον, αναφορικά με την επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου προέκυψε ότι οι συγκεντρώσεις των O_3 και O_x δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα άμεσα παρά μόνο έμμεσα, λόγω της αλληλεπίδρασης τους με τα NO_x και μόνο κατά την ψυχρή περίοδο.

Η σχετική υγρασία, επιδρά αναλογικά στην συγκέντρωση των NO_x και CO κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο, ενώ δρα αντιστρόφως ανάλογα για το O_3 και τα O_x . Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου παρατηρήθηκε ότι δρα αντιστρόφως ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των NO_x και CO καθώς και με τις συγκεντρώσεις του O_3 στους περιστατικούς σταθμούς, ενώ αντίθετα στους αστικούς στον ίδιο ρύπο επιδρά αναλογικά. Ειδικά για τα O_x δεν διαπιστώθηκε ξεκάθαρη εικόνα της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε σταθμό. Δεδομένου ότι ο εν λόγω παράγοντας, επιδρά διαφορετικά στο O_3 και στο NO_2 , η συμπεριφορά της συγκέντρωσης των O_x διαμορφώνεται ανάλογα με την ταυτότητα του ρύπου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία (O_3 ή NO_2) σε κάθε σταθμό.

Ακολούθως, βρέθηκε ότι η θερμοκρασία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων με διαφορετικό όμως τρόπο, ανάλογα με τον εκάστοτε ρύπο. Έτσι το O_3 επηρεάζεται καθόλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά την θερμή περίοδο, ενώ το O_x μόνο τη θερμή. Αντίθετα, αναφορικά με τα NO_x και CO , η επίδραση βρέθηκε αναλογική και παρατηρήθηκε κατά την ψυχρή περίοδο καθώς την θερμή η επιρροή της θερμοκρασίας ήταν αμελητέα.

Παρόλο που διαπιστώθηκε ότι ο κάθε μετεωρολογικός παράγοντας ξεχωριστά συμβάλλει στην πορεία της συγκέντρωσης των ρύπων, η μετεωρολογία σαν σύνολο δεν εμφανίστηκε να επηρεάζει ιδιαίτερα τις χρονικές αυξομειώσεις των τάσεων του O_3 , των NO_x και των O_x στην πόλη της Θεσσαλονίκης σε βάθος χρόνου. Γενικά προκύπτει ότι η μεταβολή ή όχι της τάσης των παραπάνω ρύπων κατά την επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων, πιθανόν να οφείλεται στην θέση που είναι τοποθετημένοι οι σταθμοί.

ABSTRACT

In the present study it was examined the development of air pollutants and generally the photochemical pollution in Thessaloniki, during the last twenty years, and the influence of various meteorological parameters on the concentration of each pollutant separately.

It was proved that the concentrations of NO_x and CO decreased considerably while the concentrations of O_3 and O_x remained stable during the examined period.

In addition it was examined the concentrations of each pollutant separately on a daily, annual and seasonal basis. It was verified that the maximum and minimum concentration of each pollutant appears in a different time and season, that determine according to the anthropogenic activities and prevailing weather conditions. As far as concerns the relationship between O_3 - NO_x , it was found a significant interaction, as one is created at the expense of another.

Moreover, during the calculation of the correlation coefficient between all the examined stations (total 12), it was indicated that about O_3 the correlation was greater between rural stations during the warm period. Relatively to the NO_x and CO, it was found similar high correlation between urban stations the cold period. Regarding the O_x , because of the low statistical significance that was obtained, there is no particular high correlation between specific groups of stations. Furthermore, it was found that the O_3 in the urban center can be classified as indigenous, due to the fact that is formed by the emissions of anthropogenic activities within it. On the other hand, the O_3 on the outskirts of the city, whether it is 'imported' from other areas or it is formed by natural mechanisms that are not necessarily associated with anthropogenic activities.

At another part of the study, it was investigated the effect that have various meteorological parameters on the existing air pollution. Initially it was found that the breeze does not play an important role in the concentration of NO_x and CO during the warm season. In contrast, during the cold period the effect of breeze on these air pollutants is crucial, as it results in introducing atmospheric pollutants from distant infected areas. Furthermore, regarding the influence that wind direction have on the

concentrations of O_3 and O_x , it was proved that affects them indirectly due to the NO_x interaction with them and only during the cold season.

The relative humidity affects the concentration of NO_x and CO proportionally, especially during the cold season, while it acts inversely on the O_3 and O_x . Regarding to the wind speed, it was observed that acts inversely proportional to the concentrations of NO_x and CO. The same result was observed in O_3 concentrations in rural stations, while the same air pollutant affected proportionally by the wind in urban stations. The case of O_x , did not reveal a clear picture of the effect of wind speed at each station. Since the relative humidity have a different impact on O_3 and NO_2 , the concentration of O_x formed according to the identity of the pollutant found in greater proportion (O_3 or NO_2) at each station.

Subsequently, was found that the temperature leads to an increase in the concentration of pollutants in a different way, depending on the kind of pollutant. So O_3 affected throughout the year and especially during the hot season, while the O_x only in the warm period of the year. Unlike, the case of NO_x and CO, the effect of the temperature, was found proportionate and observed during the cold season, as in the warm the influence was negligible.

Although it appeared that each meteorological parameter determines the concentration of pollutants, meteorology as a whole did not affect so much the changes in the trends of O_3 , NO_x and O_x in the city of Thessaloniki during the ages. Generally emerged, that the concentration of these pollutants depends mostly on the position of each station and not so much by the meteorological factors.