



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Χωροχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του όζοντος στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Εκτίμηση των επιπτώσεων στην δημόσια υγεία από τις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος.

Spatiotemporal evaluation of ozone concentrations in the greater Athens area. Assessment of public health impacts due to high ozone concentrations

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αυγουστίνος Αντώνιος
Αριθμός Μητρώου: 46147322**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

**Μουστρής Κωνσταντίνος
Καθηγητής ΠΑΔΑ**

Ντούρου Κλεοπάτρα ΕΔΙΠ

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2023

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Α/Α	Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
1	ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ	
2	ΝΤΟΥΡΟΥ ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ	
3	ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΙΔΡΥΜΑ	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	
ΣΧΟΛΗ	ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	
ΤΜΗΜΑ	ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ	
ΤΟΜΕΑΣ	Ενεργειακός	
ΕΡΓΑΣΙΑ	Διπλωματική Εργασία	
ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Χωροχρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του όζοντος στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Εκτίμηση των επιπτώσεων στην δημόσια υγεία από τις υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Spatiotemporal evaluation of ozone concentrations in the greater Athens area. Assessment of public health impacts due to high ozone concentrations.	
ΕΚΠΟΝΗΣΗ	Αυγουστίνος Αντώνιος	
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	6/3/2023	
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ	Μουστρής Κων/νος - Ντούρου Κλεοπάτρα	
ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	Μουστρής Κων/νος Ντούρου Κλεοπάτρα Σπυρόπουλος Γεώργιος	
ΟΝΟΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ		
ΣΥΝΝΗΜΕΝΑ ΑΡΧΕΙΑ	-	
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	Αναλογική μορφή	Ψηφιακή μορφή
	Το παρόν τεύχος αποτελεί τη Διπλωματική εργασία, που περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας, την εφαρμογή, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας.	Στο CD (ή DVD) που συνοδεύει το τεύχος περιλαμβάνονται σε ψηφιακή μορφή: το κείμενο της εργασίας σε μορφή αρχείων pdf.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αυγουστίνος Αντώνιος με αριθμό μητρώου 47322 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Copyright © - 6/3/ 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Περίληψη

Το όζον αποτελεί μια πολύ δραστική, αλλοτροπική μορφή οξυγόνου η έκθεση στην οποία ελλοχεύει κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων. Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής ήταν η ανάλυση του ρύπου του όζοντος, η μελέτη της διαχρονικής μεταβολής του σε πληθώρα σταθμών και η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων και των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Μελετήθηκε η δημιουργία του όζοντος στην στρατόσφαιρα, αναλύθηκε η ύπαρξη του όζοντος τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, καθώς και οι πηγές που δημιουργούν τις παραπάνω συγκεντρώσεις και έγινε η ανάλυση μετά από βιβλιογραφική έρευνα τόσο των μακροχρόνιων όσο και των βραχυχρόνιων επιπτώσεων του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές μελετήθηκαν εκτενώς για ένα σύνολο σταθμών του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Μέσω του προγράμματος AirQ+ έγινε η ανάλυση των επιπτώσεων του όζοντος στη δημόσια υγεία αλλά και η συσχέτιση με θανάτους που προκλήθηκαν στο καρδιοαναπνευστικά σύστημα. Χρησιμοποιήθηκαν, από την Ελληνική Στατιστική Εταιρία αριθμητικά στοιχεία σχετικά με τους θανάτους ανά έτος και ανά περιοχή οι οποίοι προήλθαν από αναπνευστικά και κυκλοφορικά νοσήματα και μελετήθηκαν συνδυαστικά ώστε να υπολογιστούν οι περιπτώσεις των θανάτων που αποδίδονται στην έκθεση του πληθυσμού στο όζον. Διαγράμματα που σχετίζονται με στοιχεία του τυπικού εικοσιτετράωρου, με τις μέσες τιμές του όζοντος, τις μέσες ημερήσιες και μηνιαίες τιμές, καθώς και τις υπερβάσεις που παρατηρήθηκαν κατασκευάστηκαν προκειμένου να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις συγκεντρώσεις του ρύπου και να ποσοτικοποιηθούν και να οπτικοποιηθούν χρονικά τα αριθμητικά στοιχεία που σχετίζονται με την ύπαρξη του ρύπου σε δεκατρείς σταθμούς μέτρησης.

Abstract

Ozone is a highly reactive, allotropic form of oxygen and the exposure to it poses health risks to human health. The aim of this thesis was to analyse the ozone pollutant, to study its changes over time at a large number of stations and to quantify the results and the impact on human health. The creation of ozone in the stratosphere was studied, the existence of ozone both indoors and outdoors was analysed, as well as the sources that create these concentrations, and an analysis was made after a literature survey of both the long-term and short-term effects of ozone on human health. These impacts have been extensively studied for a set of stations in the National Air Pollution Monitoring Network. Through the AirQ+ program, the analysis of the public health effects of ozone and the correlation with cardio-respiratory deaths was carried out. Figures on deaths per year and per region from respiratory and circulatory diseases were used from the Hellenic Statistical Society and then they were combined to calculate the number of deaths attributed to population exposure to ozone. Graphs related to typical 24-hour data, average ozone values, daily and monthly averages and excesses observed were constructed in order to provide a comprehensive picture of the pollutant concentrations and to quantify and visualise over time the numerical data related to the presence of the pollutant at thirteen monitoring stations.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Την κυρία Ντούρου Κλεοπάτρα, ΕΔΙΠ του ΠΑΔΑ και επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής, για την συνεργασία της, τις γνώσεις που μου μετέδωσε, τις πολύτιμες παρατηρήσεις και την υποστηρικτική της δράση σε όλη την εκπόνηση της εργασίας
- Την μητέρα μου Κατερίνα, για την στήριξη, την αγάπη, το κίνητρο και την απίστευτη δύναμη της που συνεχίζει να είναι εδώ και να με γεμίζει αγάπη και ελπίδα.
- Τον πατέρα μου Διονύση, ο οποίος δυστυχώς δεν πρόλαβε να με δει να ολοκληρώνω την διπλωματική μου και να με καμαρώσει πτυχιούχο. Του αφιερώνω όλο μου τον κόπο, την προσπάθεια, τα γέλια και τα δάκρυα αυτής της διαδρομής από την εισαγωγή μου στην σχολή μέχρι το πτυχίο. Ο «μηχανολόγος σου» θα σε κάνει περήφανο και ελπίζω να με βλέπεις από εκεί ψηλά.
- Την κοπέλα μου Θωμαΐς, για την αγάπη, την βοήθεια και την αδιάκοπη παρουσία της δίπλα μου καθόλη την διάρκεια της διπλωματικής. Η παρουσία της ήταν κομβική και χωρίς εκείνη δεν θα τα είχα καταφέρει.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	6
Abstract.....	7
Ευχαριστίες	8
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	12
Κατάλογος Εικόνων.....	15
Συνομογραφίες.....	16
1. Αντικείμενο μελέτης	17
1.1 Εισαγωγή.....	17
1.2 Διάρθρωση μελέτης.....	18
2. Όζον.....	19
2.1 Όζον: ορισμός και ιδιότητες	19
2.2 Το όζον στους εσωτερικούς χώρους (indoors)	22
2.2.1 Πηγές δημιουργίας συγκεντρώσεων όζοντος σε εσωτερικούς χώρους	23
2.3 Το όζον στους εξωτερικούς χώρους (outdoors)	24
2.3.1 Πηγές δημιουργίας συγκεντρώσεων όζοντος σε εξωτερικούς χώρους	24
2.3.2 Σύγκριση των συγκεντρώσεων όζοντος σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους.....	24
2.4 Επιπτώσεις από την έκθεση του ανθρώπου στο όζον.....	25
2.5 Όρια έκθεσης του ανθρώπου στο όζον	27
2.6 Κίνδυνος από την έκθεση στο όζον ανά ηλικιακή ομάδα.	29
2.7 Αναπνευστικά συμπτώματα από επιδράσεις του όζοντος	29
2.8 Επιπτώσεις του όζοντος σε κυτταρικό επίπεδο.....	31
2.9 Η διαφορετική ανταπόκριση μεταξύ των ατόμων στην έκθεση στο όζον.	32
2.10 Επιπτώσεις του όζοντος στη θνησιμότητα	34
2.11 Πιθανές επιπτώσεις της βραχυπρόθεσμης έκθεσης στο όζον	35
2.12 Οι επιπτώσεις της επαναλαμβανόμενης ή μακροχρόνιας έκθεσης στο όζον.....	36
2.13 Η επίδραση του όζοντος στην αναπνευστική οδό.....	37
2.14 Τρόποι μείωσης στην έκθεση στο O ₃	38
3. Η περιοχή μελέτης	39
3.1 Η γεωγραφική θέση της Αττικής.....	39
3.2 Το κλίμα της Αττικής	41
3.3 Μέθοδος μέτρησης των ρύπων	42

3.4	Χαρτογράφηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης	43
3.5	Σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	44
4.	Το λογισμικό πρόγραμμα AirQ+	60
4.1	Το AirQ+ ως εργαλείο ανάλυσης των επιπτώσεων του όζοντος.....	60
4.2	Πως χρησιμοποιήθηκε το AirQ+ στην διπλωματική.....	63
5.	Διαγράμματα και ανάλυση.....	69
5.1	Σταθμός Αθηνάς.....	70
5.2	Σταθμός Γεωπονικής.....	75
5.3	Σταθμός Κορωπίου	79
5.4	Σταθμός Νέας Σμύρνης	83
5.5	Σταθμός Πειραιά.....	87
5.6	Σταθμός Πατησίων.....	91
5.7	Σταθμός Αγίας Παρασκευής	95
5.8	Σταθμός Περιστερίου.....	99
5.9	Σταθμός Αμαρουσίου	103
5.10	Σταθμός Λυκόβρυσης	107
5.11	Σταθμός Λιοσίων.....	111
5.12	Σταθμός Ελευσίνας	115
5.13	Σταθμός Θρακομακεδόνων	119
6.	Συμπεράσματα και σχόλια των αποτελεσμάτων	124
	Βιβλιογραφία	126

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μετρούμενοι ρύποι	43
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, την ευθύνη των οποίων έχει το ΥΠΕΝ	44
Πίνακας 3: Υπερβάσεις της τιμής στόχου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας για την τριετία 2017 – 2019	47
Πίνακας 4: Μετρήσεις τιμών όζοντος από το Υπουργείο Περιβάλλοντος	59
Πίνακας 5: Σύνολο θανάτων για την Αγία Παρασκευή σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ].....	67
Πίνακας 6 : Περιοχές μελέτης και ο πληθυσμός τους.....	68

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1.1: Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αθηνάς.....	70
Διάγραμμα 5.1.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς.....	71
Διάγραμμα 5.1.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς.....	71
Διάγραμμα 5.1.4 : Μέσες Ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς	72
Διάγραμμα 5.1.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Αθηνάς	72
Διάγραμμα 5.1.6 : CVDs cases στο σταθμό Αθηνάς	73
Διάγραμμα 5.1.7 : Respiratory cases στο σταθμό Αθηνάς	73
Διάγραμμα 5.2.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Γεωπονικής	75
Διάγραμμα 5.2.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Γεωπονικής.....	75
Διάγραμμα 5.2.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Γεωπονικής.....	76
Διάγραμμα 5.2.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Γεωπονικής.....	76
Διάγραμμα 5.2.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Γεωπονικής	77
Διάγραμμα 5.2.6 : CVDs cases στο σταθμό Γεωπονικής	77
Διάγραμμα 5.2.7 : Respiratory cases στο σταθμό Γεωπονικής	78
Διάγραμμα 5.3.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Κορωπίου	79
Διάγραμμα 5.3.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου	80
Διάγραμμα 5.3.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου	80
Διάγραμμα 5.3.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου.....	81
Διάγραμμα 5.3.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Κορωπίου	81
Διάγραμμα 5.3.6 : CVDs cases στο σταθμό Κορωπίου	82
Διάγραμμα 5.3.7 : Respiratory cases στο σταθμό Κορωπίου.....	82
Διάγραμμα 5.4.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Νέας Σμύρνης	83
Διάγραμμα 5.4.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης.....	84
Διάγραμμα 5.4.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης.....	84
Διάγραμμα 5.4.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης.....	85
Διάγραμμα 5.4.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Νέας Σμύρνης	85
Διάγραμμα 5.4.6 : CVDs cases στο σταθμό Νέας Σμύρνης.....	86
Διάγραμμα 5.4.7 : Respiratory cases στο σταθμό Νέας Σμύρνης	86
Διάγραμμα 5.5.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Πειραιά	87
Διάγραμμα 5.5.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά.....	88
Διάγραμμα 5.5.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά	88
Διάγραμμα 5.5.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά.....	89
Διάγραμμα 5.5.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Πειραιά	89
Διάγραμμα 5.5.6 : CVDs cases στο σταθμό Πειραιά	90
Διάγραμμα 5.5.7 : Respiratory cases στο σταθμό Πειραιά	90
Διάγραμμα 5.6.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Πατησίων	91
Διάγραμμα 5.6.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων.....	92
Διάγραμμα 5.6.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων.....	92
Διάγραμμα 5.6.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων.....	93
Διάγραμμα 5.6.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Πατησίων	93
Διάγραμμα 5.6.6 : CVDs cases στο σταθμό Πατησίων	94
Διάγραμμα 5.6.7 : Respiratory cases στο σταθμό Πατησίων	94
Διάγραμμα 5.7.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αγίας Παρασκευής.....	95
Διάγραμμα 5.7.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής	96

Διάγραμμα 5.7.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής	96
Διάγραμμα 5.7.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής	97
Διάγραμμα 5.7.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Αγίας Παρασκευής.....	97
Διάγραμμα 5.7.6 : CVDs cases στο σταθμό Αγίας Παρασκευής.....	98
Διάγραμμα 5.7.7 : Respiratory cases στο σταθμό Αγίας Παρασκευής.....	98
Διάγραμμα 5.8.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Περιστερίου	99
Διάγραμμα 5.8.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου.....	100
Διάγραμμα 5.8.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου.....	100
Διάγραμμα 5.8.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου.....	101
Διάγραμμα 5.8.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Περιστερίου	101
Διάγραμμα 5.8.6 : CVDs cases στο σταθμό Περιστερίου	102
Διάγραμμα 5.8.7 : Respiratory cases στο σταθμό Περιστερίου	102
Διάγραμμα 5.9.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αμαρουσίου.....	103
Διάγραμμα 5.9.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου	104
Διάγραμμα 5.9.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου	104
Διάγραμμα 5.9.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου.....	105
Διάγραμμα 5.9.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Αμαρουσίου	105
Διάγραμμα 5.9.6 : CVDs cases στο σταθμό Αμαρουσίου	106
Διάγραμμα 5.9.7 : Respiratory cases στο σταθμό Αμαρουσίου.....	106
Διάγραμμα 5.10.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Λυκόβρυσης.....	107
Διάγραμμα 5.10.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης	108
Διάγραμμα 5.10.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης	108
Διάγραμμα 5.10.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης	109
Διάγραμμα 5.10.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Λυκόβρυσης.....	109
Διάγραμμα 5.10.6 : CVDs cases στο σταθμό Λυκόβρυσης.....	110
Διάγραμμα 5.10.7 : Respiratory cases στο σταθμό Λυκόβρυσης.....	110
Διάγραμμα 5.11.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Λιοσίων	111
Διάγραμμα 5.11.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων.....	112
Διάγραμμα 5.11.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων.....	112
Διάγραμμα 5.11.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων.....	113
Διάγραμμα 5.11.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Λιοσίων	113
Διάγραμμα 5.11.6 : CVDs cases στο σταθμό Λιοσίων	114
Διάγραμμα 5.11.7 : Respiratory cases στο σταθμό Λιοσίων	114
Διάγραμμα 5.12.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Ελευσίνας.....	115
Διάγραμμα 5.12.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας	116
Διάγραμμα 5.12.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας	116
Διάγραμμα 5.12.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας	117
Διάγραμμα 5.12.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Ελευσίνας.....	117
Διάγραμμα 5.12.6 : CVDs cases στο σταθμό Ελευσίνας.....	118
Διάγραμμα 5.12.7 : Respiratory cases στο σταθμό Ελευσίνας.....	118
Διάγραμμα 5.13.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Θρακομακεδόνων.....	119
Διάγραμμα 5.13.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων	120
Διάγραμμα 5.13.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων.....	120
Διάγραμμα 5.13.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων.....	121
Διάγραμμα 5.13.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Θρακομακεδόνων	121

Διάγραμμα 5.13.6 : CVDs cases στο σταθμό Θρακομακεδόνων	122
Διάγραμμα 5.13.7 : Respiratory cases στο σταθμό Θρακομακεδόνων.....	122

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Σχηματισμός και καταστροφή του όζοντος με φυσικό τρόπο.....	20
Εικόνα 2.2: Τιμές επιτρεπτής συγκέντρωσης όζοντος ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα	21
Εικόνα 2.3: Επιδράσεις του όζοντος στη λειτουργία των πνευμόνων	30
Εικόνα 2.4 : Ένας υγιής πνευμονικός αεραγωγός (αριστερά) και ένας φλεγμονώδης αεραγωγός (δεξιά)	31
Εικόνα 2.5: Μεταβλητότητα απόκρισης στην έκθεση στο όζον.....	33
Εικόνα 2.6: Η ευαισθησία στην έκθεση στο όζον σχετίζεται με την ηλικία	33
Εικόνα 2.7: Ο αριθμός έκτακτων επειγουσών ημερήσιων εισαγωγών σε νοσοκομεία οξείας περίθαλψης σχετίζεται με την εκτιμώμενη έκθεση στο όζον	36
Εικόνα 3.1: Γεωγραφική θέση της Αττικής	40
Εικόνα 3.2: Όρια λεκανοπεδίου και τα 5 βασικά όρη που το περικυκλώνουν	40
Εικόνα 3.3: Λεκανοπέδιου και τα 5 βασικά όρη που το περικυκλώνουν	41
Εικόνα 3.4: Ετήσιο μετεωρολογικό χρονολόγιο Αθηνών και κεντρικού λεκανοπεδίου Αττικής	42
Εικόνα 3.5: Σταθμοί Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (πράσινες κουκίδες).....	43
Εικόνα 3.6: Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετησίων τιμών O ₃	45
Εικόνα 3.7: Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετησίων τιμών O ₃ (μέρος 2).....	45
Εικόνα 3.8: Αριθμός ωρών για το 2019	46
Εικόνα 3.9: Τιμές των σταθμών για τους οποίους έγινε η έρευνα το διήμερο 1-2 Δεκεμβρίου 2022	47
Εικόνα 3.10: Χρονοσειρές επικαιροποιημένων τιμών όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Κορωπί	48
Εικόνα 3.11: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Νέα Σμύρνη.	49
Εικόνα 3.12: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Πειραιάς.....	50
Εικόνα 3.13: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Πατήσια.....	51
Εικόνα 3.14: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών για το σταθμό: Αγία Παρασκευή	52
Εικόνα 3.15: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών για το σταθμό: Περιστερί..	53
Εικόνα 3.16: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Μαρούσι	54
Εικόνα 3.17: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Λυκόβρυση .	55
Εικόνα 3.18: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Λιόσια	56
Εικόνα 3.19: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό Ελευσίνα	57
Εικόνα 3.20: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Θρακομακεδόνες	58
Εικόνα 4.1: Παράθυρο καλωσορίσματος του προγράμματος	61
Εικόνα 4.2: Εικονίδια διαχείρισης αναλύσεων.....	61
Εικόνα 4.3: Παράθυρο Create new Analysis.....	63
Εικόνα 4.4: Επιλογή Create new Impact.....	64
Εικόνα 4.5: Παράθυρο New Impact Assessment.....	64
Εικόνα 4.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στο Excel.....	65
Εικόνα 4.7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στο Excel (μέρος 2).....	66
Εικόνα 4.8: Παράθυρο Impact Assessment : Short - term Effects (Ambient)	66
Εικόνα 4.9: Παράθυρο Impact Evaluation (τελικός υπολογισμός).....	69

Συντομογραφίες

ppm = parts per million

CARB = California Air Resources Board

ΟΠΠ = Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος

ΠΟΕ = πτητικές οργανικές ενώσεις

Ppb = parts per billion

ΕΕ = Ευρωπαϊκή Ένωση

μg = microgram

FEV = Forced expiratory volume

FEC = Forced vital capacity

BAL = BronchoAlveolar Lavage

LDH = Lactate Dehydrogenase

ΔΜΣ = Δείκτη Μάζας Σώματος

ΜΣΑΦ = Μη Στεροειδή Αντιφλεγμονώδη Φάρμακα

ΧΑΠ = Χρόνιας Αποφρακτικής Πνευμονοπάθειας

VOC = volatile organic compounds

ΥΠΕΝ = Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

ΕΔΠΑΡ = Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

ΕΣΠΑ = Εταιρικό Σύμφωνο για το Πλαίσιο Ανάπτυξης

CAMx = Computer Aided Manufacturing using XML

IER = Individual Evaluation Report

ΕΛΣΤΑΤ = Ελληνική Στατιστική Αρχή

1. Αντικείμενο μελέτης

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από δύο διακριτά σκέλη. Στο πρώτο μέρος δίνονται πληροφορίες για το όζον ως μια αλλοτροπική μορφή οξυγόνου, ενώ μελετώνται οι ιδιότητες του σας ρύπος. Αναλύεται εκτενώς η διαδικασία δημιουργίας του όζοντος στη στρατόσφαιρα ενώ μελετάται η ύπαρξη του όζοντος τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αναλύονται στη συνέχεια σε συνδυασμό με αναφορές στις ομάδες που κινδυνεύουν περισσότερο από τις συγκεντρώσεις τους όζοντος, στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιδράσεις στην υγεία, στην αύξηση της θνησιμότητας λόγω εκτεταμένης έκθεσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις όζοντος αλλά και σε πιθανούς τρόπους μείωσης της έκθεσης αυτής και κατ' επέκταση αντιμετώπιση όλων των δυσμενών επιδράσεων.

Στο δεύτερο σκέλος της εργασίας μελετώνται αριθμητικά στοιχεία και δεδομένα σταθμών μέτρησης για τον ρύπο του όζοντος σε δεκατρείς σταθμούς του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης καθώς στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη του ρύπου αλλά και της διαχρονικής μεταβολής του από το 1987 μέχρι το 2019 για τους δεκατρείς σταθμούς που προαναφέρθηκαν. Χρησιμοποιήθηκε εκτενώς το πρόγραμμα AirQ+, λογισμικό κατάλληλο για την ανάλυση των επιπτώσεων του όζοντος στη δημόσια υγεία αλλά και την συσχέτιση με θανάτους που προκλήθηκαν στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα. Σε συνδυασμό με στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ. υπολογίστηκαν οι περιπτώσεις θανάτων που αποδίδονται στην έκθεση στο όζον. Διαγράμματα που οπτικοποιούν το τυπικό 24ωρο συγκεντρώσεων όζοντος, τις μέσες ετήσιες τιμές όζοντος, τις μέσες μηνιαίες και ημερήσιες τιμές όζοντος και τις υπερβάσεις για τους 13 σταθμούς μέτρησης παρατίθενται στο τέλος του δεύτερου μέρους προκειμένου να δοθεί στον αναγνώστη μια συγκεντρωτική διαχρονική αντίληψη σχετικά με την μεταβολή του αέριου ρύπου που μελετάται. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων προκειμένου να είναι δυνατή η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη μεταβολή των συγκεντρώσεων του συγκεκριμένου ρύπου.

1.2 Διάρθρωση μελέτης

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε διακριτά κεφάλαια. Στη συνέχεια πρόκειται περιληπτικά να γίνει αναφορά σχετικά με το τι προσεγγίζει κάθε κεφάλαιο.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται μια περιληπτική απόδοση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με σκοπό την άμεση κατανόηση του θέματος σε συνδυασμό με την ενδελεχή αναφορά σχετικά με την αναλυτική διάρθρωση της παρούσας μελέτης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες για τον όζον και τις ιδιότητες του. Μελετήθηκε η διαδικασία δημιουργίας του όζοντος στη στρατόσφαιρα ενώ δόθηκαν πληροφορίες σχετικά με τις ενδεδειγμένες τιμές συγκέντρωσης όζοντος στην ατμόσφαιρα για δύο πρότυπα χρονικά διαστήματα. Μελετήθηκε τόσο η ύπαρξη του όζοντος σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και οι πηγές δημιουργίας συγκεντρώσεων όζοντος στους χώρους αυτούς. Στη συνέχεια αναλύθηκε η συγκέντρωση όζοντος, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατέθηκαν τρόποι με τους οποίους μπορεί να μειωθεί η έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος και κατ' επέκταση να επιτευχθεί η άμβλυση των επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήθηκε τόσο η γεωγραφική θέση της Αττικής όσο και το κλίμα της Αττικής. Παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν οι σταθμοί μέτρησης του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, καθώς στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι οι μετρήσεις για τον ρύπο του όζοντος σε δεκατρείς σταθμούς του ΕΔΠΑΡ, ενώ παρατέθηκαν διαγράμματα για τη διαχρονική μεταβολή των μέσων ετησίων τιμών όζοντος από το 1984 μέχρι το 2019 για τους 12 από τους 13 προαναφερθέντες σταθμούς. Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού GIS λήφθηκαν και παρατέθηκαν επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα δώδεκα ημερών (από 23/11/2022 μέχρι 4/12/2022) για έντεκα σταθμούς μέτρησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα AirQ+ για την ανάλυση των επιπτώσεων του όζοντος στη δημόσια υγεία αλλά και την συσχέτιση με θανάτους που προκλήθηκαν στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα. Παρατέθηκαν αναλυτικά τα βήματα χρήσης του προγράμματος με σκοπό την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων, ενώ χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία θανάτων από την ΕΛΣΤΑΤ ανά έτος και ανά περιοχή οι οποίοι προήλθαν από αναπνευστικά και κυκλοφορικά νοσήματα και μελετήθηκαν συνδυαστικά ώστε να υπολογιστούν οι περιπτώσεις των θανάτων που αποδίδονται στην έκθεση του πληθυσμού στο όζον.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται σε διαγράμματα, στοιχεία που αφορούν το τυπικό 24ωρο συγκεντρώσεων όζοντος, τις μέσες ετήσιες τιμές όζοντος, τις μέσες μηνιαίες και ημερήσιες τιμές όζοντος και τις υπερβάσεις για τους 13 σταθμούς μέτρησης ενώ ακολουθεί αναλυτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων για κάθε σταθμό μελέτης.

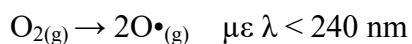
2. Όζον

2.1 Όζον: ορισμός και ιδιότητες

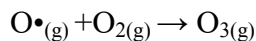
Το όζον αποτελεί μια πολύ δραστική, αλλοτροπική μορφή οξυγόνου. Είναι γνωστό από το 1785, έτος κατά το οποίο ο Van Marum παρατήρησε το σχηματισμό αυτού του αερίου σε έναν ηλεκτρικό σπινθήρα εκκένωση σε οξυγόνο. Ο Schoenbein αναγνώρισε το όζον το 1840 ως νέα ουσία ενώ ο Soret έδειξε το 1866 ότι η χημική σύνθεση του όζοντος είναι αυτή του τριατομικού οξυγόνου. Τα τελευταία χρόνια, το όζον έχει προσελκύσει την προσοχή ως χημική ουσία υψηλής ενέργειας με πιθανή χρήση σε ισχυρά προωθητικά και εκρηκτικά συστήματα. Το όζον σχηματίζεται όταν ένα μόριο οξυγόνου διεγείρεται αρκετά ώστε να διασπαστεί σε ατομικό οξυγόνο με δύο διαφορετικά επίπεδα ενέργειας ενώ οι συγκρούσεις μεταξύ των διαφορετικών ατόμων είναι αυτές που παράγουν το όζον. Είναι ένα αλλοτρόπο του οξυγόνου όπως αναφέρθηκε, που προκύπτει από την αναδιάταξη των ατόμων οξυγόνου όταν το μόριο υποβάλλεται σε ηλεκτρική εκκένωση. Επομένως, είναι η πιο ενεργή μορφή οξυγόνου. Έχει μεγάλη σημασία γιατί είναι το κύριο στοιχείο της στιβάδας του όζοντος [1].

Ένα στρώμα όζοντος ψηλά στην ατμόσφαιρα ονομάζεται στρατοσφαιρικό όζον. Αυτό το στρώμα, πολύ μακριά από το μέρος όπου ζουν οι άνθρωποι, μειώνει την ποσότητα του υπεριώδους φωτός που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης. Χωρίς την προστασία της στιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα, η ζωή των φυτών και των ζώων θα βλάπτονταν σοβαρά[2].

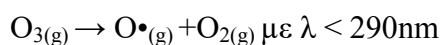
Το όζον στη στρατόσφαιρα παράγεται από τις φωτοχημικές αντιδράσεις διάσπασης του O_2 . Συγκεκριμένα, το στρατοσφαιρικό O_2 απορροφά υπεριώδη ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα των 240 nm και διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα άτομα του οξυγόνου που προκύπτουν έχουν υψηλή ενέργεια και αντιδρούν με μόρια οξυγόνου δίνοντας μόρια όζοντος σύμφωνα με την αντίδραση:

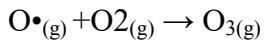


Αυτή η αντίδραση είναι εξώθερμη και το αποτέλεσμα των δύο προηγούμενων αντιδράσεων είναι η μετατροπή τριών μορίων O_2 σε δύο μόρια O_3 με ταυτόχρονη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Το O_3 απορροφά υπεριώδη ακτινοβολία με μήκη κύματος από 240 nm μέχρι 290nm. Αυτή η ακτινοβολία αναγκάζει το O_3 να διασπαστεί σε μοριακό και ατομικό οξυγόνο σύμφωνα με την αντίδραση:

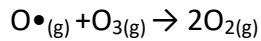


Αυτή η αντίδραση είναι επίσης εξώθερμη. Το συνολικό αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης και της προηγούμενης είναι η μετατροπή της υπεριώδους ακτινοβολίας σε θερμότητα.

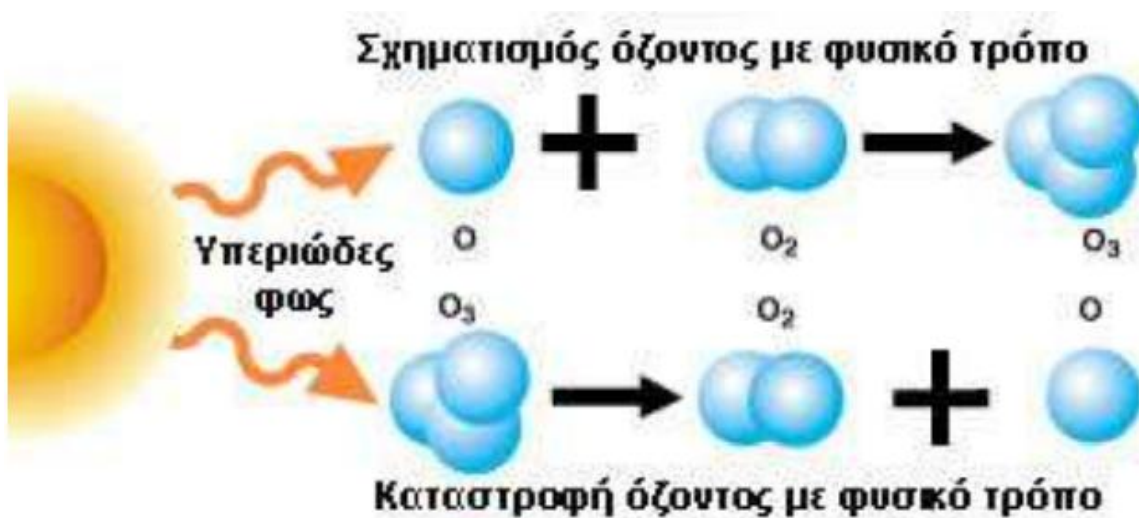
Στη συνέχεια τα άτομα του οξυγόνου αντιδρούν με το οξυγόνο (O₂) ανασηματίζοντας όζον (O₃) :



αλλά και με το όζον μετατρέποντάς το σε οξυγόνο:

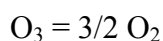


Συνολικά λειτουργεί ένας φυσικός κύκλος κατά τον οποίο το όζον συνεχώς δημιουργείται και καταστρέφεται, με σταθερό ρυθμό. Επομένως υπό κανονικές συνθήκες, η συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα παραμένει σταθερή. Κατά συνέπεια το όζον στη στρατόσφαιρα αποτρέπει την είσοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας στα κατώτερα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας[3].



Εικόνα 2.1: Σχηματισμός και καταστροφή του όζοντος με φυσικό τρόπο [3]

Σε συνηθισμένες θερμοκρασίες, το όζον είναι αέριο, έχει ανοιχτό μπλε χρώμα και έχει μια χαρακτηριστική πικάντικη οσμή από την οποία προήλθε και το όνομα του από την ελληνική λέξη όζω, δηλαδή μυρίζω. Η οσμή επιτρέπει την αναγνώριση του όζοντος σε συγκεντρώσεις μέχρι περίπου 0.1 ppm (parts per million). Το αέριο όζον είναι ένα μολυσματικά ενεργό, ερεθιστικό, οξειδωτικό οξύ. Χαρακτηρίζεται από ισχυρή οξειδωτική ισχύ και από την τάση να επανέλθει σε μοριακό οξυγόνο σύμφωνα με την αντίδραση:



Ο ρυθμός αντίδρασης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και τη συγκέντρωση του όζοντος. Η αντίδραση προχωρά αργά σε συνηθισμένες θερμοκρασίες, αλλά αρκετά γρήγορα, ακόμη και στην ταχύτητα της θερμικής έκρηξης, σε υψηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον, η αντίδραση καταλύεται από πολλούς ευαισθητοποιητές. Οι χαμηλές θερμοκρασίες συμβάλλουν στη διατήρηση του όζοντος. Υπό κανονικές συνθήκες, το όζον υπάρχει ως αέριο με μοριακό βάρος σχεδόν 48 g/mol. Είναι διαμαγνητικό, δηλαδή δεν μπορεί να έλκεται από μαγνήτη, όπως το ασήμι, ο χρυσός ή το άζωτο. Η πυκνότητα του όζοντος είναι 2,1445 g/dm³ [1].

Στην υγρή φάση, το όζον έχει ένα λουλακί-μπλε χρώμα ενώ το συμπαγές έχει βαθύ μωβ . Σε θερμοκρασίες γύρω στους 90° K (-183° C), το υγρό όζον μπορεί να διατηρηθεί χωρίς αισθητή αποσύνθεση για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η γρήγορη θέρμανση μέχρι το σημείο βρασμού ή η γρήγορη ψύξη του όζοντος προκαλεί εκρήξεις. Το υγρό όζον πρέπει να εξατμιστεί ή να καταψυχθεί, επομένως, πολύ αργά με τις κατάλληλες προφυλάξεις ενώ μπορεί να υπερψυχθεί εύκολα. Το στερεό όζον έχει βαθύ μπλε-ιώδες χρώμα. Ένα στρώμα όζοντος από 0.2 έως 0.5 χιλιοστά είναι διαφανές, αλλά το στερεό όζον σε στρώμα πάχους 1 χιλιοστού είναι σχεδόν αδιαφανές. Το στερεό όζον (στους 77.35° K) συμπιεσμένο στις 22.5 atm, που υπόκειται σε μικρή κρούση και ελαφρά τριβή σε αυτή τη θερμοκρασία δεν προκαλεί καμία έκρηξη. Το όζον σε υγρή στερεή ή αέρια μορφή εκρήγνυται εύκολα εάν εκτεθεί σε θερμότητα, σπινθήρα, φλόγα ή ηλεκτρισμό. Όταν γίνονται εργασίες με υψηλά συμπυκνωμένο όζον, ο ακατάλληλος χειρισμός μπορεί να προκαλέσει έκρηξη έτσι η γνώση των ιδιοτήτων και των προφυλάξεων ασφαλείας είναι πολύ σημαντική. Οι ακαθαρσίες ευαισθητοποιούν το όζον δυναμικά[1].

Όντας μια ενδόθερμη ένωση και ένα πολύ δραστικό οξειδωτικό, το όζον μπορεί να πυροδοτηθεί και να εκραγεί από μόνο του σε συνδυασμό με διάφορα καύσιμα. Έτσι αποτελεί και το απλούστερο εύφλεκτο και εκρηκτικό σύστημα, το οποίο, όταν συνδυάζεται με καύσιμα, παράγει συστήματα με πολύ υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από το οξυγόνο[1].

Το 2005, μετά από μια εκτενή ανασκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας, το CARB (Συμβούλιο αέριων πόρων της Καλιφόρνια) ενέκρινε ένα πρότυπο για το όζον τα 0.070 ppm (parts per million) για τη διάρκεια των 8 ωρών ενώ διατήρησε το πρότυπο των 0.09 ppm για τη διάρκεια της μίας ώρας που είχε καθιερωθεί από το 1987. Τα στοιχεία από τις αναθεωρημένες μελέτες δείχνουν ότι σημαντικές επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία θα μπορούσαν να εμφανίζονται τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά εάν εκτεθούν σε επίπεδα πάνω από αυτά τα ενδεδειγμένα πρότυπα. Την 1η Οκτωβρίου 2015, ο ΟΠΠ (Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος) των ΗΠΑ μείωσε το εθνικό πρότυπο οκτώ ωρών από 0.075 ppm σε 0.070 ppm [4], [5].

	1-Hour Average	8-Hour Average
National Ambient Air Quality Standard	--	0.070 ppm*
California Ambient Air Quality Standard	0.09 ppm*	0.070 ppm*

Εικόνα 22.2: Τιμές επιτρεπτής συγκέντρωσης όζοντος ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα [5]

Η δημιουργία του όζοντος στην ατμόσφαιρα γίνεται όπως αναφέρθηκε, μέσω χημικών αντιδράσεων των ρύπων που εκπέμπονται από οχήματα, εργοστάσια και άλλες βιομηχανικές πηγές, καθώς και ορυκτά καύσιμα καταναλωτικά προϊόντα ή και από εξάτμιση χρωμάτων και πολλές άλλες πηγές. Οι υδρογονάνθρακες και τα αέρια οξειδίου του αζώτου αντιδρούν παρουσία ηλιακού φωτός και σχηματίζουν όζον. Οι υψηλές θερμοκρασίες που συνδυάζονται με ηλιοφάνεια επιδρούν θετικά στο σχηματισμό του όζοντος. Το όζον έχει μια πολύ

χαρακτηριστική πικάντικη οσμή και μερικές φορές μπορεί να ανιχνευθεί μετά από κεραυνό ή κατά τη διάρκεια ηλεκτρικών εκκενώσεων. Οι άνθρωποι διαφέρουν ως προς την ικανότητά τους να αντιληφθούν την οσμή του όζοντος. Μερικοί μπορούν να ανιχνεύσουν την οσμή του σε επίπεδα τόσο χαμηλά όσο αυτά των 0.05 ppm [5].

2.2 Το όζον στους εσωτερικούς χώρους (indoors)

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες στις ανεπτυγμένες χώρες τα τελευταία χρόνια έχει εντοπιστεί ότι έχουν μετατεθεί σε εσωτερικούς χώρους. Έτσι υπάρχουν οι κίνδυνοι έκθεσης σε διάφορους ρύπους που υπάρχουν στους εσωτερικούς χώρους. Η ποιότητα των οικιακών περιβαλλόντων εξαρτάται τόσο από την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που διεισδύει από εξωτερικούς χώρους αλλά και στην παρουσία πηγών ρύπανσης εσωτερικών χώρων. Οι σύγχρονες κατοικίες είναι συχνά μονωμένες και χαρακτηρίζονται από χαμηλούς ρυθμούς αερισμού με αποτέλεσμα σε εσωτερικούς χώρους, οι ρύποι να αραιώνονται λιγότερο σε σχέση με τον ρυθμό αραίωσης τους σε εξωτερικούς χώρους, φτάνοντας πιθανώς σε υψηλές συγκεντρώσεις. Οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εσωτερικούς χώρους όχι μόνο επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, τα υλικά και τα πολιτιστικά αντικείμενα, αλλά και παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία εσωτερικών χώρων. Το όζον εσωτερικών χώρων και τα προϊόντα που προέρχονται από αντιδράσεις που ξεκινούν από το όζον εσωτερικών χώρων είναι δυνητικά επιβλαβή τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για τα υλικά [1,6].

Αντιδράσεις όζοντος/αλκενίου μπορούν να παράγουν σημαντικές ποσότητες ριζών υδροξυλίου σε εσωτερικούς χώρους και οι αντιδράσεις όζοντος/διοξειδίου του αζώτου μπορούν να παράγουν νιτρικές ρίζες εσωτερικού χώρου. Αντιδράσεις μεταξύ υδροξυλίου (ή νιτρικών ριζών) και ΠΟΕ (πητικές οργανικές ενώσεις) εσωτερικού χώρου παράγουν άλλες ρίζες. Αυτές οι διαδικασίες ελεύθερων ριζών υποκινούνται από το όζον και όχι από την φωτοχημεία. Οι αντιδράσεις όζοντος/αλκενίου δημιουργούν επίσης ημι-πητικά προϊόντα που μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη μικρών σωματιδίων και στην απορρόφηση τους από εσωτερικές επιφάνειες. Ορισμένα από τα προκύπτοντα προϊόντα, ειδικά τα οξειδωμένα προϊόντα που εξακολουθούν να περιέχουν μη κορεσμένους δεσμούς, έχουν πολύ χαμηλά όρια οσμής – λιγότερο από 10 ppt. Τέτοιες ενώσεις, απορροφημένες σε εσωτερικές επιφάνειες και η απαέρωση σε σχετικά αργούς ρυθμούς, μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τις αισθήσεις των κατοίκων για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Οι αντιδράσεις μεταξύ του όζοντος και των περισσότερων άλλων ρύπων εσωτερικών χώρων είναι θερμοδυναμικά ευνοϊκές, στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι αρκετά αργές. Μόνο ένα μικρό κλάσμα των αντιδράσεων συμβαίνει σε μια ταχύτητα αρκετά γρήγορη για να ανταγωνιστεί την ανταλλαγή αέρα, υποθέτοντας έτσι την δημιουργία μιας τυπικής συγκέντρωσης όζοντος σε εσωτερικούς χώρους. Στην περίπτωση των οργανικών ενώσεων, οι «γρήγορες» αντιδράσεις περιλαμβάνουν ενώσεις με ακόρεστους δεσμούς άνθρακα. Αν και τέτοιες ενώσεις τυπικά περιλαμβάνουν λιγότερο από το 10% των ρύπων εσωτερικών χώρων, οι αντιδράσεις τους με το όζον έχουν τη δυνατότητα να είναι αρκετά σημαντικές ως πηγές ελεύθερων ριζών σε εσωτερικούς χώρους και για πολυλειτουργικές ($^{\circ}\text{COO}$, $^{\circ}\text{COOH}$, $^{\circ}\text{OH}$) σταθερές ενώσεις που

είναι συχνά αρκετά έντονες στην όσφρηση. Οι σταθερές ενώσεις υπάρχουν τόσο ως είδη αερίου όσο και ως είδη συμπυκνωμένης φάσης, με τα τελευταία να συμβάλλουν στη συνολική συγκέντρωση υπομικρών σωματιδίων στους εσωτερικούς χώρους. Είναι πλέον γνωστό ότι οι αντιδράσεις όζοντος/αλκενίου μπορούν να παράγουν σημαντικές ποσότητες ριζών υδροξυλίου σε εσωτερικούς χώρους και οι αντιδράσεις όζοντος/διοξειδίου του αζώτου μπορούν να παράγουν νιτρικές ρίζες εσωτερικού χώρου [6,7].

Συμπερασματικά η συγκέντρωση του όζοντος σε εσωτερικούς χώρους εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της συγκέντρωσης του όζοντος σε εξωτερικούς χώρους, τους ρυθμούς ανταλλαγής αέρα, τους ρυθμούς εκπομπών σε εσωτερικούς χώρους, τους ρυθμούς μετακίνησης στις επιφάνειες και τις αντιδράσεις μεταξύ του όζοντος και άλλων χημικών ουσιών στον αέρα. Να αναφερθεί ότι οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από ώρα σε ώρα, μέρα σε μέρα και από εποχή σε εποχή, καθώς και από δωμάτιο σε δωμάτιο. Μελέτες απέδειξαν ότι η μεταφορά του όζοντος από εξωτερικούς χώρους σε εσωτερικούς χώρους ήταν σημαντική, και ότι τα επίπεδα όζοντος σε εσωτερικούς χώρους ήταν συχνά 30% έως 70% του αντίστοιχου εξωτερικού. Υπό κανονικές συνθήκες, ο χρόνος ημιζωής του όζοντος σε εσωτερικούς χώρους είναι μεταξύ 7 και 10 λεπτών και καθορίζεται κυρίως από την μετακίνηση στις επιφάνειες και την ανταλλαγή αέρα. Οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εσωτερικούς χώρους όχι μόνο επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, τα υλικά και τα πολιτιστικά αντικείμενα, αλλά και παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία εσωτερικών χώρων [6].

2.2.1 Πηγές δημιουργίας συγκεντρώσεων όζοντος σε εσωτερικούς χώρους

Οι πηγές που μπορεί να συμβάλουν στην δημιουργία συγκεντρώσεων όζοντος σε εσωτερικούς χώρους ποικίλουν. Έχει διαπιστωθεί ότι αρκετοί τύποι εξοπλισμού γραφείου παράγουν όζον, συμπεριλαμβανομένων των φωτοτυπικών μηχανημάτων και των εκτυπωτών λέιζερ. Ωστόσο πλέον οι περισσότεροι κατασκευαστές ενσωματώνουν κάποιου είδους συστήματος φιλτραρίσματος (π.χ. φίλτρα ενεργού άνθρακα) για τη μείωση της ποσότητας του όζοντος που εκπέμπεται στον περιβάλλοντα χώρο. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα αέρα και οι ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές μπορεί επίσης να δημιουργήσουν συγκεντρώσεις όζοντος, έτσι οι κατασκευαστές αυτών των συσκευών προσπαθούν να τις σχεδιάσουν με τέτοιο τρόπο ώστε να περιορίσουν την παραγωγή τέτοιων συγκεντρώσεων. Ωστόσο, εάν υπάρξει υπερβολικό τόξο, αυτές οι συσκευές μπορούν να συνεισφέρουν δεκάδες ppb σε συγκεντρώσεις όζοντος σε εσωτερικούς χώρους [1,7,8].

2.3 Το όζον στους εξωτερικούς χώρους (outdoors)

Οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εξωτερικούς χώρους οφείλονται σε έναν συνδυασμό φωτοχημικής παραγωγής και καταστροφής σε συνδυασμό με έγχυση από τη στρατόσφαιρα. Η φωτοχημική παραγωγή όζοντος προκύπτει από ένα πολύπλοκο σύνολο αντιδράσεων που περιλαμβάνουν οργανικές ενώσεις φάσης ατμού, οξειδία του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα και ηλιακό φως.

Καθώς η πυκνότητα του πληθυσμού αυξάνεται, τόσο οι συγκεντρώσεις οργανικών ενώσεων αέριας φάσης όσο και τα οξειδία του αζώτου, αυξάνονται. Ως εκ τούτου, τα επίπεδα όζοντος σε εξωτερικούς χώρους τείνουν να είναι υψηλότερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με άφθονη ηλιοφάνεια. Περιοχές που αντιμετωπίζουν συχνά μετεωρολογικές μεταβολές έχουν ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος, δεδομένου ότι οι μεταβολές αυτές παγιδεύουν κατά κάποιο τρόπο τον αέρα από κάτω και επιτρέπουν την αύξηση της συγκέντρωσης τόσο των προδρόμων ουσιών του όζοντος (δηλαδή πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου) όσο και του ίδιου του όζοντος.

Οι συγκεντρώσεις όζοντος σε εξωτερικούς χώρους συχνά εμφανίζουν έντονες ημερήσιες διακυμάνσεις, και αυτό προσθέτει δυναμική διέγερση στους μεταφορικούς και χημικούς μηχανισμούς που ήδη υπάρχουν. Οι αντιδράσεις όζοντος/αλκενίου παρέχουν μια σύνδεση μεταξύ του όζοντος των εξωτερικών χώρων, των σωματιδίων των εξωτερικών χώρων και των σωματιδίων εσωτερικών χώρων [6].

2.3.1 Πηγές δημιουργίας συγκεντρώσεων όζοντος σε εξωτερικούς χώρους

Στην ατμόσφαιρα το όζον σχηματίζεται μέσω πολύπλοκων αντιδράσεων μεταξύ χημικών ουσιών που εκπέμπονται απευθείας από οχήματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καταναλωτικά προϊόντα και πολλές άλλες πηγές. Όπως αναφέρθηκε η δημιουργία του ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες και από την ηλιοφάνεια. Οι υδρογονάνθρακες και τα αέρια οξειδίου του αζώτου αντιδρούν παρουσία ηλιακού φωτός και σχηματίζουν όζον. Έχει διαπιστωθεί ότι στις μητροπολιτικές περιοχές της Καλιφόρνιας για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις του όζοντος συχνά υπερβαίνουν τα υπάρχοντα πρότυπα προστασίας της υγείας το καλοκαίρι [4–6].

2.3.2 Σύγκριση των συγκεντρώσεων όζοντος σε εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους

Όπως αναφέρθηκε το όζον αντιδρά με τις επιφάνειες καθώς διεισδύει στο εσωτερικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα συνήθως να υπάρχουν χαμηλότερα επίπεδα σε εσωτερικούς χώρους από ό,τι σε εξωτερικούς χώρους. Ωστόσο, τα επίπεδα του όζοντος σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να πλησιάσουν τα επίπεδα σε εξωτερικούς χώρους όταν τα παράθυρα ή οι πόρτες είναι ανοιχτά. Επιπλέον, εξοπλισμός όπως φωτοτυπικά μηχανήματα, εκτυπωτές λείζερ και ορισμένοι καθαριστές αέρα μπορούν να εκπέμπουν όζον και σε εσωτερικούς χώρους όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω. Η είσοδος ενός ατόμου σε εσωτερικό χώρο,

μπορεί να σημαίνει έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος με επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία του ατόμου. Ανάλογα με την συγκέντρωση του, οι καταστροφικές επιδράσεις του όζοντος μπορεί να είναι εμφανείς και σε υλικά και αντικείμενα, όπως θα αναλυθεί παρακάτω εκτενέστερα [1,4–7].

2.4 Επιπτώσεις από την έκθεση του ανθρώπου στο όζον

Η πρωτογενής έκθεση συμβαίνει όταν οι άνθρωποι αναπνέουν ατμοσφαιρικό αέρα που περιέχει όζον. Ο ρυθμός έκθεσης για ένα δεδομένο άτομο σχετίζεται με τη συγκέντρωση του όζοντος στον περιβάλλοντα αέρα και την ποσότητα αέρα που αναπνέει το άτομο ανά λεπτό (αερισμός ανά λεπτό). Το αθροιστικό ποσό έκθεσης είναι συνάρτηση τόσο του ρυθμού όσο και της διάρκειας της έκθεσης.

Αν και οι συγκεντρώσεις του όζοντος στον εξωτερικό (περιβάλλον) αέρα είναι γενικά παρόμοιες σε πολλές τοποθεσίες ενός συγκεκριμένου αεροθαλάμου, ένας αριθμός παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τη συγκέντρωση του όζοντος σε "μικροπεριβάλλοντα" εντός του μεγαλύτερου αεροθαλάμου (π.χ. μέσα σε μια κατοικία, μέσα σε ένα όχημα, κατά μήκος ενός οδικού άξονα).

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος σε εσωτερικούς χώρους κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 20% και 80% των επιπέδων εξωτερικού χώρου, ανάλογα με το αν τα παράθυρα είναι ανοιχτά ή κλειστά, εάν χρησιμοποιείται κλιματισμός ή άλλοι παράγοντες όπως οι εσωτερικές πηγές.

Τα άτομα με τη μεγαλύτερη αθροιστική έκθεση είναι εκείνα που ασκούνται έντονα σε εξωτερικούς χώρους για μεγάλες χρονικές περιόδους όταν οι συγκεντρώσεις του όζοντος είναι υψηλές. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της άσκησης οι άνθρωποι αναπνέουν πιο βαθιά και η πρόσληψη όζοντος μπορεί να μετατοπιστεί από τους ανώτερους αεραγωγούς σε βαθύτερες περιοχές της αναπνευστικής οδού, αυξάνοντας την πιθανότητα δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία. Τα άτομα με τη χαμηλότερη αθροιστική έκθεση είναι αυτά που ξεκουράζονται το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας σε ένα κλιματιζόμενο κτίριο με μικρή ροή αέρα.

Έως και το 30% του αστικού πληθυσμού της Ευρώπης εκτίθεται σε συγκεντρώσεις όζοντος πάνω από τα όρια που ορίζει η ΕΕ για την προστασία της υγείας. Οι κύριες επιπτώσεις στην υγεία της βραχυπρόθεσμης (λίγων ωρών) έκθεσης στο όζον περιλαμβάνουν ερεθισμό του λαιμού και των ματιών, βήχα, συριγμό, φλεγμονή των πνευμόνων και δυσκολία στην αναπνοή. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να εμφανιστούν σε άτομα με αναπνευστικές παθήσεις, παιδιά και ηλικιωμένους όταν η συγκέντρωση του όζοντος φτάσει σε επίπεδο υψηλότερο από $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (κατώτατο όριο της ΕΕ). Πάνω από $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (όριο στην ΕΕ), οι επιπτώσεις στην υγεία θα είναι ολοένα και πιο σοβαρές και μπορεί να εμφανιστούν στα περισσότερα άτομα.

Το όζον σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί προβλήματα υγείας, επειδή προσβάλλει το εσωτερικό των πνευμόνων. Μπορεί να προκαλέσει φλεγμονή των πνευμόνων (ερεθισμό) ακόμη και μετά από λίγες μόνο ώρες έκθεσης. Οι αεραγωγοί ανταποκρίνονται στην έκθεση

καλύπτοντας τις πληγείσες περιοχές με υγρό και συσπώντας τους μύες των πνευμόνων. Η αναπνοή γίνεται πιο δύσκολη και η χωρητικότητα των πνευμόνων μειώνεται.

Οι πνεύμονες συνήθως ανακάμπτουν μέσα σε λίγες ημέρες μετά την έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Ωστόσο, εάν η έκθεση στο όζον εμφανιστεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ή σε πολλές επαναλαμβανόμενες περιπτώσεις εντός ενός έτους, τότε μπορεί να προκαλέσει χρόνια βλάβη στον πνευμονικό ιστό. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επηρεαστεί η λειτουργία των πνευμόνων και ο προστατευτικός ιστός μπορεί να χάσει μέρος της ικανότητάς του, που είναι να λειτουργεί ως προστατευτικό φράγμα έναντι μικροβίων, επιβλαβών χημικών ουσιών και αλλεργιογόνων. Επίσης, πρόσφατες ερευνητικές μελέτες δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση στο όζον μπορεί να σχετίζεται με καρκίνο του πνεύμονα. Αυτή η δυνατότητα αναμένεται να διερευνηθεί περαιτέρω [9,10].

Εάν το επίπεδο έκθεσης στο όζον είναι μέτριο, υψηλό ή πολύ υψηλό, πρέπει να λαμβάνονται οι ακόλουθες προειδοποιητικές οδηγίες:

Μέτριο επίπεδο όζοντος (120-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ήπια συμπτώματα, μπορεί να εμφανιστούν σε ευαίσθητα άτομα. Τα άτομα με άσθμα ή άλλες ασθένειες του αναπνευστικού θα πρέπει να περιορίσουν τις παρατεταμένες υπαίθριες δραστηριότητες.

Υψηλό επίπεδο όζοντος (180-240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Σημαντικές επιπτώσεις, όπως δυσκολία στην αναπνοή, σφίξιμο στο στήθος, βήχας, συριγμός, τσούξιμο στα μάτια ή στο λαιμό μπορεί να εμφανιστούν σε ευαίσθητα άτομα. Πιθανές επιπτώσεις σε παιδιά και ενήλικες που δραστηριοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους. Τα άτομα με άσθμα ή άλλες ασθένειες του αναπνευστικού θα πρέπει να μειώσουν την έκθεση τους, αποφεύγοντας παρατεταμένες υπαίθριες δραστηριότητες. Όλοι οι άνθρωποι, θα πρέπει να περιορίσουν τις παρατεταμένες υπαίθριες δραστηριότητες.

Πολύ υψηλό επίπεδο όζοντος (>240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πολύ σοβαρές επιπτώσεις, όπως δυσκολία στην αναπνοή, σφίξιμο στο στήθος, βήχας, συριγμός, τσούξιμο στα μάτια ή στο λαιμό μπορεί να εμφανιστούν σε ευαίσθητα άτομα και σε παιδιά και ενήλικες που δραστηριοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους. Τα άτομα με άσθμα ή άλλες παθήσεις του αναπνευστικού, τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι συνιστάται να παραμείνουν σε κλειστούς χώρους. Όλοι πρέπει να αποφεύγουν τις παρατεταμένες υπαίθριες δραστηριότητες [11].

Συνοπτικά οι επιβλαβείς επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει το όζον.

Το όζον μπορεί να βλάψει τους ιστούς της αναπνευστικής οδού, προκαλώντας φλεγμονή και ερεθισμό και να οδηγήσει σε συμπτώματα όπως βήχας, σφίξιμο στο στήθος και επιδείνωση των συμπτωμάτων άσθματος. Συγκεκριμένα, η εισπνοή όζοντος προκαλεί φλεγμονή και ερεθισμό των ιστών που καλύπτουν τους ανθρώπινους αεραγωγούς, προκαλώντας και επιδεινώνοντας ποικίλα συμπτώματα. Η έκθεση στο όζον μπορεί να μειώσει τον όγκο του

αέρα που εισπνέουν οι πνεύμονες και να προκαλέσει δύσπνοια. Το όζον σε επαρκείς δόσεις αυξάνει τη διαπερατότητα των πνευμονικών κυττάρων, καθιστώντας τα πιο ευαίσθητα στις τοξίνες και τους μικροοργανισμούς. Η εμφάνιση και η σοβαρότητα των επιπτώσεων στην υγεία από την έκθεση στο όζον ποικίλλει ευρέως μεταξύ των ατόμων, ακόμη και όταν η δόση και η διάρκεια της έκθεσης είναι η ίδια [9,10].

2.5 Όρια έκθεσης του ανθρώπου στο όζον

Η συγκέντρωση του όζοντος στην οποία παρατηρούνται για πρώτη φορά τα αποτελέσματα εξαρτάται από το επίπεδο ευαισθησίας του ατόμου καθώς και από τη δόση που χορηγείται στην αναπνευστική οδό.

Η δόση, με τη σειρά της, είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης στο περιβάλλον, του μικρού αερισμού και της διάρκειας της έκθεσης. Αυτό μπορεί να εκφραστεί ως ένας πρόχειρος τύπος:

Δόση = Συγκέντρωση περιβάλλοντος * Επίπεδο άσκησης (λεπτός αερισμός) * Διάρκεια έκθεσης

Έτσι, τα άτομα που εκτελούν έντονη δραστηριότητα (υψηλότερο αερισμός ανά λεπτό) για αρκετές ώρες είναι πιθανό να ανταποκριθούν σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις από ό,τι όταν εκτίθενται σε κατάσταση ηρεμίας (χαμηλός αερισμός ανά λεπτό), για μικρότερο χρονικό διάστημα [9].

Αναλυτικά παραδείγματα έκθεσης σε όζον:

- Ένας μέσος νεαρός ενήλικας που παίζει ένα ενεργό άθλημα, όπως ποδόσφαιρο ή μπάσκετ, σε πλήρες γήπεδο σε εξωτερικούς χώρους για 2 ώρες, αναμένεται να παρουσιάσει μικρή έως μέτρια πνευμονική λειτουργία και συμπτώματα, καθώς και τραυματισμό και φλεγμονή των πνευμόνων μετά από έκθεση σε όζον 120 ppb.
- Εάν, ο ίδιος μέσος νεαρός ενήλικας ξεκουράζεται σε εξωτερικούς χώρους για τις δύο ώρες, τέτοια αποτελέσματα δεν θα αναμένονταν έως ότου οι εκθέσεις φτάσουν τα 300-400 ppb.
- Ένας μέσος εργάτης σε εξωτερικούς χώρους που κάνει διαλείπουσα εργασία μπορεί να παρουσιάσει παρόμοια μικρή έως μέτρια πνευμονική λειτουργία και συμπτώματα, καθώς και τραυματισμό και φλεγμονή των πνευμόνων μετά από έκθεση 8 ωρών σε όζον 60 έως 70 ppb.

Τα πιο ευαίσθητα άτομα θα εμφανίσουν τέτοιες επιδράσεις σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις ενώ τα λιγότερο ευαίσθητα άτομα θα βιώσουν αυτές τις επιδράσεις μόνο σε υψηλότερες συγκεντρώσεις. Επίσης τα παιδιά χωρίς άσθμα παρουσιάζουν μειώσεις της πνευμονικής λειτουργίας παρόμοιες με αυτές των νεαρών ενηλίκων. Όμως τα παιδιά συχνά δεν αναφέρουν αναπνευστικά συμπτώματα στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος. Δεν είναι σαφές εάν αυτό είναι αποτέλεσμα μειωμένης ευαισθησίας όσον αφορά τα συμπτώματα ή εάν τα παιδιά είναι λιγότερο πιθανό να αναγνωρίσουν και να αναφέρουν[9,12].

Υπάρχουν μελέτες θαλάμου και μελέτες πεδίου που εξετάζουν το επίπεδο έκθεσης στο όζον στο οποίο παρατηρούνται για πρώτη φορά οι επιπτώσεις. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι μελέτες πεδίου δείχνουν επιπτώσεις σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα από τις μελέτες θαλάμου. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μελέτες πεδίου μπορούν να εξετάσουν ευαίσθητους πληθυσμούς (συμπεριλαμβανομένων των παιδιών), να περιλαμβάνουν έκθεση σε όλα τα οξειδωτικά είδη ρύπανσης και μπορεί να περιλαμβάνουν μεγαλύτερους χρόνους έκθεσης. Για παράδειγμα, μελέτες πεδίου σε γεωργικούς εργάτες και πεζοπόρους υποδηλώνουν ότι οι αλλαγές στη λειτουργία των πνευμόνων μπορεί να σχετίζονται με παρατεταμένη έκθεση στο όζον σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που παρατηρήθηκαν σε μελέτες θαλάμου [9].

Οι Mc Donnell et al [13] διεξήγαγαν πολλές μελέτες πεδίου για το όζον. Αν και τα αποτελέσματα τους ποικίλλουν κάπως, αρκετές από τις μελέτες πεδίου υποδεικνύουν ότι η πνευμονική λειτουργία ασθματικών και ευαίσθητων στο όζον παιδιών καθώς και η απόδοση άσκησης των αθλητών αντοχής, μπορεί να επηρεαστεί τις ημέρες που η μέγιστη συγκέντρωση δώρου όζοντος είναι μικρότερη από 80 ppb.

Επίσης, από μελέτες που έγιναν σε δεδομένα στα επείγοντα, παρατηρήθηκε ότι οι κρίσεις άσθματος στον πιο ευαίσθητο πληθυσμό (π.χ. παιδιά με άσθμα ή αντιδραστική νόσο των αεραγωγών) αυξάνονται τις επόμενες ημέρες κατά τις οποίες οι μέγιστες συγκεντρώσεις όζοντος 1 ώρας ξεπέρασαν τα 110 ppb (περίπου ισοδύναμο με μέσο όρο 8 ωρών των 82 ppb) [9,14].

Επιπλέον, οι Mc Donnell et al [13] στην μελέτη τους παρατήρησαν αυξημένες επισκέψεις στα επείγοντα για άσθμα τις ημέρες που ακολούθησαν εκείνες όπου οι μέσοι όροι 7 ωρών ξεπέρασαν τα 60 ppb σε σύγκριση με εκείνες με χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος.

Οι επιδράσεις του όζοντος στην ημερήσια θνησιμότητα έχουν ανιχνευθεί ακόμη και όταν οι ημέρες μελέτης περιορίζονται σε εκείνες με μέση συγκέντρωση όζοντος 24 ωρών κάτω από 60 ppb (περίπου ισοδυναμεί με μέσο όρο 8 ωρών κάτω από 90 ppb).

Σύμφωνα με μελέτες, οι εισαγωγές στο νοσοκομείο για αναπνευστικά αίτια φαίνεται να ακολουθούν μια γραμμική σχέση μέχρι τα βασικά επίπεδα. Η μοντελοποίηση περιορισμένης έκθεσης-απόκρισης υποδηλώνει ότι εάν υπάρχει κατώφλι πληθυσμού για αυτές τις επιδράσεις του όζοντος, είναι πιθανόν κοντά στο κατώτερο όριο των συγκεντρώσεων όζοντος περιβάλλοντος στις Ηνωμένες Πολιτείες [4,9,14].

2.6 Κίνδυνος από την έκθεση στο όζον ανά ηλικιακή ομάδα.

Έρευνες δείχνουν ότι οι ενήλικες και τα παιδιά που περνούν περισσότερο χρόνο σε εξωτερικούς χώρους, συμμετέχοντας σε έντονες σωματικές δραστηριότητες διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο από τις βλαβερές συνέπειες της έκθεσης στο όζον στην υγεία [7].

Ενώ υπάρχουν σχετικά λίγες μελέτες για τις επιπτώσεις του όζοντος στα παιδιά, οι διαθέσιμες μελέτες δείχνουν ότι τα παιδιά δεν έχουν περισσότερες ή λιγότερες πιθανότητες να υποστούν βλαβερές συνέπειες από τους ενήλικες. Ωστόσο, υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους τα παιδιά μπορεί να είναι πιο ευαίσθητα στο όζον και σε άλλους ρύπους. Τα παιδιά και οι έφηβοι περνούν σχεδόν διπλάσιο χρόνο σε εξωτερικούς χώρους από τους ενήλικες και ασχολούνται με έντονες δραστηριότητες. Τα παιδιά αναπνέουν πιο γρήγορα από τους ενήλικες και εισπνέουν περισσότερη ρύπανση ανά κιλό του σωματικού τους βάρους από τους ενήλικες. Επίσης, τα παιδιά είναι λιγότερο πιθανό από τους ενήλικες να παρατηρήσουν τα δικά τους συμπτώματα και να αποφύγουν τις επιβλαβείς εκθέσεις.

Περαιτέρω έρευνα μπορεί να είναι σε θέση να διακρίνει καλύτερα τις επιπτώσεις στην υγεία σε παιδιά και ενήλικες. Τα παιδιά, οι έφηβοι και οι ενήλικες που ασκούνται ή εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους, όπου οι συγκεντρώσεις όζοντος είναι οι υψηλότερες, διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο βλάβης από αυτόν τον ρύπο [5,15].

2.7 Αναπνευστικά συμπτώματα από επιδράσεις του όζοντος

Το κυρίαρχο φυσιολογικό αποτέλεσμα της βραχυπρόθεσμης έκθεσης στο όζον είναι η αδυναμία εισπνοής μέχρι τη συνολική χωρητικότητα των πνευμόνων. Μελέτες ελεγχόμενης ανθρώπινης έκθεσης έχουν δείξει ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση - έως και 8 ώρες - προκαλεί μειώσεις της πνευμονικής λειτουργίας, όπως μείωση του όγκου της αναγκαστικής εκπνοής σε ένα δευτερόλεπτο (FEV1) και τα ακόλουθα αναπνευστικά συμπτώματα:

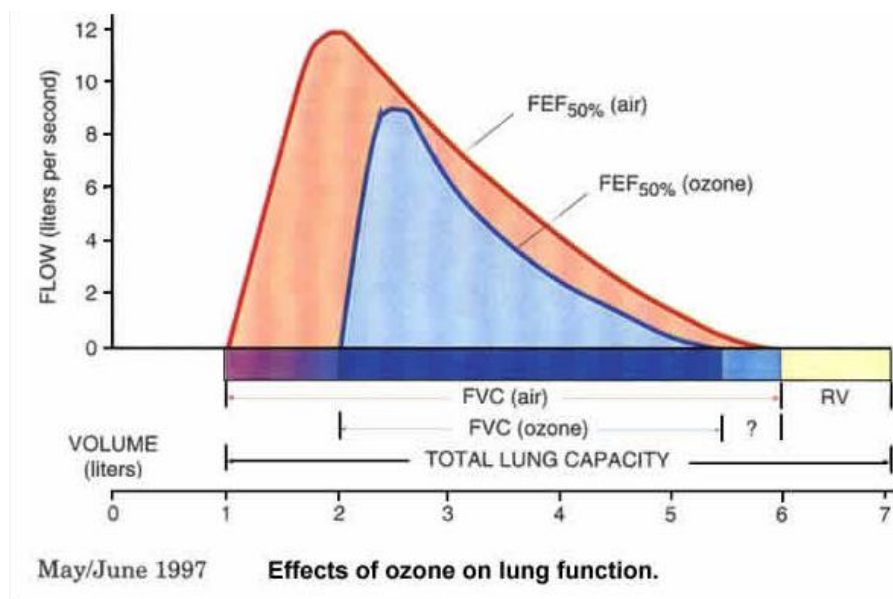
- Βήχας
- Ερεθισμός του λαιμού
- Πόνος, κάψιμο ή δυσφορία στο στήθος όταν παίρνετε μια βαθιά αναπνοή
- Σφίξιμο στο στήθος, συριγμός ή δύσπνοια

Οι επιδράσεις είναι αναστρέψιμες, με τη βελτίωση και την ανάκαμψη στην αρχική τιμή να ποικίλλει από μερικές ώρες έως 48 ώρες μετά από μια αυξημένη έκθεση στο όζον [14,16].

Κυρίαρχη άποψη είναι ότι οι αλλαγές στα συμπτώματα και στη λειτουργία των πνευμόνων οφείλονται στη διέγερση των νευρικών υποδοχέων των αεραγωγών (πιθανώς των ινών C των αεραγωγών) και στη μετάδοση στο κεντρικό νευρικό σύστημα μέσω των οδών του προσαγωγού πνευμονογαστρικού νεύρου. Αν και η έκθεση στο όζον έχει ως αποτέλεσμα τη στένωση των αεραγωγών, η νευρική αναστολή της προσπάθειας εισπνοής σε υψηλούς όγκους πνευμόνων πιστεύεται ότι είναι η κύρια αιτία της αδυναμίας εισπνοής μέχρι τη

συνολική χωρητικότητα των πνευμόνων [14,16]. Η συνολική επίδραση είναι επομένως κυρίως περιοριστική στη φύση με ένα μικρότερο αποφρακτικό συστατικό που αντανάκλαται σε μειώσεις της εξαναγκασμένης ζωτικής ικανότητας FVC, FEV1 και άλλα σπυρομετρικά μέτρα που απαιτούν πλήρη εισπνοή [9]. Είναι πιθανό ότι αυτές οι αλλαγές στη λειτουργία των πνευμόνων και τα αναπνευστικά συμπτώματα είναι υπεύθυνα για τις παρατηρήσεις ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον περιορίζει τη μέγιστη ικανότητα άσκησης.

Οι αλλαγές στο μοτίβο αναπνοής που προκαλούνται από το όζον σε πιο γρήγορη ρηχή αναπνοή μπορεί επίσης να είναι μια εκδήλωση διέγερσης των ινών C και μπορεί να είναι μια προστατευτική απόκριση για τον περιορισμό της διείσδυσης του όζοντος βαθιά στην αναπνευστική οδό. Τέτοιες επιδράσεις μπορεί επίσης να συμβάλουν σε αλλαγές στο πρότυπο εναπόθεσης και κατακράτηση άλλων εισπνεόμενων ουσιών, όπως αλλεργιογόνων και σωματιδιακής ρύπανσης (ονομάζονται επίσης σωματίδια) [14].



Εικόνα 2.3: Επιδράσεις του όζοντος στη λειτουργία των πνευμόνων [9]

Το όζον μειώνει τη μέγιστη θέση εισπνοής (στα αριστερά των καμπυλών) και μπορεί να αυξήσει ελαφρώς τον υπολειπόμενο όγκο (στα δεξιά). Η μείωση της μέγιστης εισπνοής μειώνει την εξαναγκασμένη ζωτική χωρητικότητα (FVC) και αυτό προκαλεί μείωση των μετρήσεων εκπνευστικής ροής, όπως η ροή στο 50% της ληγμένης FVC (FEF50%). Επειδή το όζον προκαλεί μόνο μια μικρή αλλαγή στην αντίσταση, η σχέση μεταξύ ροής και όγκου δεν αλλάζει σε μεγάλο βαθμό [9].

2.8 Επιπτώσεις του όζοντος σε κυτταρικό επίπεδο.

Ως αποτέλεσμα της βραχυπρόθεσμης έκθεσης, το όζον και/ή τα αντιδραστικά του ενδιάμεσα προκαλούν τραυματισμό στα επιθηλιακά κύτταρα των αεραγωγών ακολουθούμενο από μια σειρά άλλων επιπτώσεων. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να μετρηθούν με μια τεχνική γνωστή ως βρογχοκυψελιδική πλύση (BAL), στην οποία συλλέγονται δείγματα υγρού επιθηλίου επένδυσης (ELF) κατά τη βρογχοσκόπηση σε εθελοντές που εκτέθηκαν πειραματικά στο όζον. Τα κύτταρα και οι βιοχημικοί δείκτες στο υγρό πλύσης και στο αίμα μπορούν να αναλυθούν για να παρέχουν πληροφορίες για τις επιπτώσεις της έκθεσης. Τα στοιχεία για φλεγμονή των αεραγωγών μετά από έκθεση στο όζον περιλαμβάνουν ορατή ερυθρότητα του αεραγωγού που παρατηρείται κατά τη βρογχοσκόπηση καθώς και αύξηση του αριθμού των ουδετερόφιλων στο υγρό πλύσης. Ο κυτταρικός τραυματισμός προκαλείται από την αύξηση της συγκέντρωσης της γαλακτικής αφυδρογονάσης (LDH), ενός ενζύμου που απελευθερώνεται από το κυτταρόπλασμα των τραυματισμένων επιθηλιακών κυττάρων, στο ELF. Οι μεσολαβητές (π.χ. κυτοκίνες, προσταγλανδίνες, λευκοτριένια) που απελευθερώνονται από τραυματισμένα κύτταρα περιλαμβάνουν έναν αριθμό που προσελκύουν φλεγμονώδη κύτταρα με αποτέλεσμα μια ουδετερόφιλη φλεγμονώδη απόκριση στον αεραγωγό. Επιπλέον, τα προϊόντα αντίδρασης του όζοντος καθώς και ορισμένοι μεσολαβητές που παράγονται στον πνεύμονα μπορούν να ανιχνευθούν στο αίμα παρέχοντας έναν πιθανό μηχανισμό για εξωπνευμονικές επιδράσεις της έκθεσης στο όζον [9].



Εικόνα 2.4 : Ένας υγιής πνευμονικός αεραγωγός (αριστερά) και ένας φλεγμονώδης αεραγωγός (δεξιά) [9]

Η παραπάνω εικόνα δείχνει έναν υγιή πνευμονικό αεραγωγό (αριστερά) και έναν φλεγμονώδη αεραγωγό (δεξιά).

Άλλες τεκμηριωμένες επιδράσεις που προκαλούνται από το όζον που μπορεί να σχετίζονται με τον υποκείμενο τραυματισμό και τη φλεγμονώδη απόκριση είναι:

- Αύξηση της απόφραξης των μικρών αεραγωγών
- Μείωση της ακεραιότητας του επιθηλίου των αεραγωγών
- Αύξηση της μη ειδικής αντιδραστικότητας των αεραγωγών
- Μείωση της φαγοκυτταρικής δραστηριότητας των κυψελιδικών μακροφάγων

Η μείωση της ακεραιότητας του επιθηλίου μπορεί να μετρηθεί με την αύξηση της συγκέντρωσης των πρωτεϊνών του πλάσματος που εμφανίζονται στο ELF μετά από έκθεση και με την ταχύτερη κάθαρση των εισπνεόμενων ραδιοσημασμένων δεικτών από τον πνεύμονα στο αίμα. Αυτό έχει τη δυνατότητα να επιτρέπει αυξημένη κίνηση εισπνεόμενων

ουσιών (π.χ. αλλεργιογόνων ή σωματιδιακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης) από τον αεραγωγό στο διάμεσο ή στο αίμα και θα μπορούσε να τροποποιήσει τις γνωστές επιδράσεις του εισπνεόμενου αλλεργιογόνου στο άσθμα και τα σωματίδια στη θνησιμότητα. Αν και η σημασία της αυξημένης μη ειδικής αντιδραστικότητας των αεραγωγών σε ουσίες όπως η μεθαχολίνη ή η ισταμίνη δεν είναι κατανοητή σε υγιή άτομα, είναι ξεκάθαρα ανησυχητική για τα άτομα με άσθμα, καθώς η αυξημένη αντιδραστικότητα των αεραγωγών αποτελεί προγνωστικό παράγοντα για παροξύνσεις άσθματος[9].

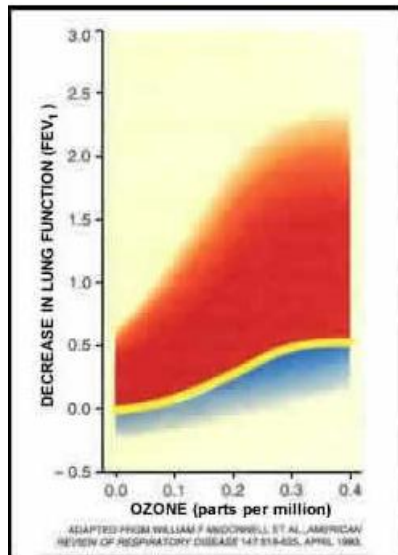
Η μείωση της λειτουργίας των μακροφάγων έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει την άμυνα του ξενιστή. Σε διάστημα αρκετών ημερών μετά από μία μόνο βραχυπρόθεσμη έκθεση, η φλεγμονή, η μικρή απόφραξη των αεραγωγών και η αυξημένη διαπερατότητα του επιθηλίου υποχωρούν. Τα κατεστραμμένα επιθηλιακά κύτταρα των βλεφαρίδων αναπνευστικών οδών κύτταρα τύπου I αντικαθίστανται από κύτταρα τύπου II πιο ανθεκτικά στο όζον. Σε διάστημα εβδομάδων, τα κύτταρα τύπου II διαφοροποιούνται σε κύτταρα τύπου I και μετά από αυτή τη μεμονωμένη έκθεση, ο αεραγωγός φαίνεται να επιστρέφει στην κατάσταση πριν από την έκθεση [9].

2.9 Η διαφορετική ανταπόκριση μεταξύ των ατόμων στην έκθεση στο όζον.

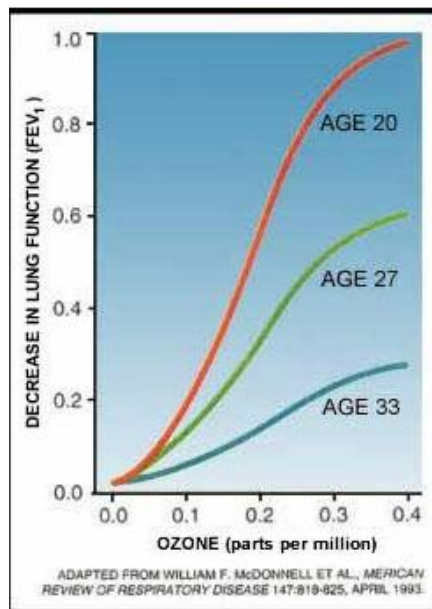
Ένα εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των οξέων αντιδράσεων στη βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον είναι η μεγάλη μεταβλητότητα που υπάρχει μεταξύ των ατόμων. Για παράδειγμα, για μια 2ωρη έκθεση σε όζον 400 ppb (σημείωση: 400 ppb ισούται με 0.4 ppm) που περιλαμβάνει 1 ώρα βαριάς άσκησης, το άτομο που ανταποκρίνεται λιγότερο μπορεί να μην παρουσιάσει συμπτώματα ή αλλαγές στη λειτουργία των πνευμόνων ενώ το άτομο με τη μεγαλύτερη απόκριση μπορεί να παρουσιάσει μείωση κατά 50% του FEV1 και να έχει έντονο βήχα, δύσπνοια ή πόνο κατά τη βαθιά εισπνοή [9].

Παρόμοιο εύρος απόκρισης είναι εμφανές για έκθεση 6.6 ωρών σε 80 ppb με μέτρια δραστηριότητα 5 ωρών. Άλλες μεμονωμένες απαντήσεις εμπίπτουν σε αυτό που φαίνεται να είναι μια μονοτροπική κατανομή μεταξύ αυτών των δύο άκρων. Εκείνοι με μεγάλες αποκρίσεις μετά από έκθεση σε μία ημέρα τείνουν επίσης να έχουν μεγάλες αποκρίσεις κατά την επανέκθεση. Ομοίως, εκείνοι με μικρές αποκρίσεις μετά από έκθεση σε μία ημέρα τείνουν να έχουν μικρές αποκρίσεις κατά την επανέκθεση. Ένα μικρό κλάσμα της παρατηρούμενης μεταβλητότητας στην πνευμονική λειτουργία και την ανταπόκριση στα συμπτώματα μπορεί να εξηγηθεί από τις διαφορές στην ηλικία και στον δείκτη μάζας σώματος (ΔΜΣ) με τους νεαρούς ενήλικες (έφηβοι έως τα τριάντα) και εκείνους με υψηλό ΔΜΣ να ανταποκρίνονται πολύ περισσότερο από τους ηλικιωμένους (50 έως 80) και εκείνων με χαμηλό ΔΜΣ.

Παρόμοια αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, όπου παρουσιάζονται οι εκθέσεις μεγαλύτερης διάρκειας σε συγκεντρώσεις πιο σχετικές με τα επίπεδα περιβάλλοντος (π.χ. σε ένα εύρος από 60 έως 120 ppb) [9].



Εικόνα 2.5: Μεταβλητότητα απόκρισης στην έκθεση στο όζον [9]



Εικόνα 2.6: Η ευαισθησία στην έκθεση στο όζον σχετίζεται με την ηλικία [9]

Υπάρχουν επίσης μεμονωμένες διαφορές στην ένταση της φλεγμονώδους απόκρισης και φαίνεται ότι αυτές οι διαφορές στην απόκριση είναι επίσης σταθερές με την πάροδο του χρόνου [9].

2.10 Επιπτώσεις του όζοντος στη θνησιμότητα

Σύμφωνα με τις μελέτες που διεξήχθησαν με σκοπό την διερεύνηση των επιπτώσεων του όζοντος στην θνησιμότητα [5,6,8,13,17] αναδείχτηκε ότι:

- Το όζον σχετίζεται με αυξημένη θνησιμότητα
- Η απόλυτη επίδραση του όζοντος στη θνησιμότητα είναι σημαντικά υψηλότερη στους ηλικιωμένους
- Η σχέση όζοντος-θνησιμότητας είναι πιο εμφανής κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου

Πρόσφατη επιδημιολογική έρευνα έχει δείξει ξεκάθαρα ότι τόσο η βραχυπρόθεσμη όσο και η μακροπρόθεσμη έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις σωματιδιακής ρύπανσης, ενός κοινού ατμοσφαιρικού ρύπου, σχετίζονται με αυξημένη θνησιμότητα. Η επανεξέταση των δεδομένων στα οποία βασίζονται αυτά τα ευρήματα, καθώς και νέες μελέτες δείχνουν ότι η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον σχετίζεται επίσης με αυξημένη ημερήσια θνησιμότητα[17].

Η πιο αντιπροσωπευτική μελέτη του πληθυσμού των ΗΠΑ αξιολόγησε τις σχέσεις μεταξύ των ημερήσιων μετρήσεων θνησιμότητας και της συγκέντρωσης του όζοντος στο περιβάλλον για 95 μεγάλες κοινότητες των ΗΠΑ κατά την περίοδο 1987-2000. Αν και υπήρχε σημαντική ετερογένεια στο μέγεθος της επίδρασης μεταξύ των διαφόρων κοινοτήτων, παρατηρήθηκε 0,5 % συνολικός κίνδυνος μη τυχαίας ημερήσιας θνησιμότητας για κάθε 20 ppb αύξηση στη μέση συγκέντρωση όζοντος 24 ωρών (περίπου ίση με 30 ppb αύξηση στον μέσο όρο των 8 ωρών) την ίδια ημέρα. Υπήρχαν ενδείξεις ότι η επίδραση ήταν μεγαλύτερη την ημέρα της έκθεσης με μικρότερες υπολειμματικές επιδράσεις να είναι εμφανείς για αρκετές ημέρες. Παρατηρήθηκε αθροιστικός κίνδυνος 1,04% για κάθε αύξηση κατά 20 ppb στη μέση συγκέντρωση 24 ωρών κατά τη διάρκεια της προηγούμενης εβδομάδας. Η σχέση όζοντος-θνησιμότητας ήταν ισχυρή ακόμη και μετά τον έλεγχο για πιθανές επιπτώσεις σωματιδίων και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων. Αν και οι εκτιμήσεις του κινδύνου θνησιμότητας από το όζον τείνουν να είναι ελαφρώς μόνο υψηλότερες για τον ηλικιωμένο πληθυσμό σε σύγκριση με τον νεότερο πληθυσμό (με βάση κυρίως μελέτες Medicare σε άτομα 65 ετών και άνω), η απόλυτη επίδραση του όζοντος στη θνησιμότητα είναι σημαντικά υψηλότερη στους ηλικιωμένους ενήλικες λόγω των υψηλότερων ποσοστών θνησιμότητας. Όμως για τους ηλικιωμένους ενήλικες, ο κίνδυνος θανάτου οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα ως αποτέλεσμα της έκθεσης στο όζον είναι αρκετά μικρός. Ωστόσο, λόγω του μεγάλου αριθμού ατόμων σε κίνδυνο σε ολόκληρη τη χώρα, μια επίδραση αυτού του μεγέθους έχει σημαντικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία [9].

Μια ανεξάρτητη ανασκόπηση αυτής της βιβλιογραφίας από το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το βραχυπρόθεσμο όζον είναι πιθανό να σχετίζεται με πρόωρη θνησιμότητα.

Άλλες παρατηρήσεις που έγιναν σε αυτές τις μελέτες περιλαμβάνουν το εύρημα ότι η σχέση όζοντος-θνησιμότητας είναι πιο εμφανής κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου, με λίγες ή

μικρότερες επιπτώσεις το χειμώνα. Φαίνεται επίσης ότι η συσχέτιση θνησιμότητας από το όζον αναφέρει ότι οι θάνατοι περιορίζονται σε αυτούς που προκαλούνται είτε από καρδιακή ή πνευμονική νόσο.

Επίσης αναπάντητα ερωτήματα αφορούν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις στις οποίες συμβαίνουν αυτά τα αποτελέσματα και τους πιθανούς μηχανισμούς δράσης που ευθύνονται για την αυξημένη θνησιμότητα μεταξύ πολλών που περνούν μεγάλο μέρος του χρόνου τους σε εσωτερικούς χώρους όπου τα επίπεδα όζοντος είναι γενικά αρκετά χαμηλά.

Οι βιολογικοί μηχανισμοί που ευθύνονται για τη σχέση όζοντος-θνησιμότητας είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστοι, αν και οι επιδράσεις του όζοντος στον αυτόνομο έλεγχο του καρδιαγγειακού συστήματος, στους μηχανισμούς πήξης και στις αγγειοδραστικές ουσίες στο αίμα διερευνώνται ενεργά [9].

2.11 Πιθανές επιπτώσεις της βραχυπρόθεσμης έκθεσης στο όζον

Άλλες πιθανές επιπτώσεις της βραχυπρόθεσμης έκθεσης στο όζον περιλαμβάνουν:

- εισαγωγές στο νοσοκομείο και επισκέψεις στα επείγοντα για αναπνευστικά αίτια
- σχολικές απουσίες

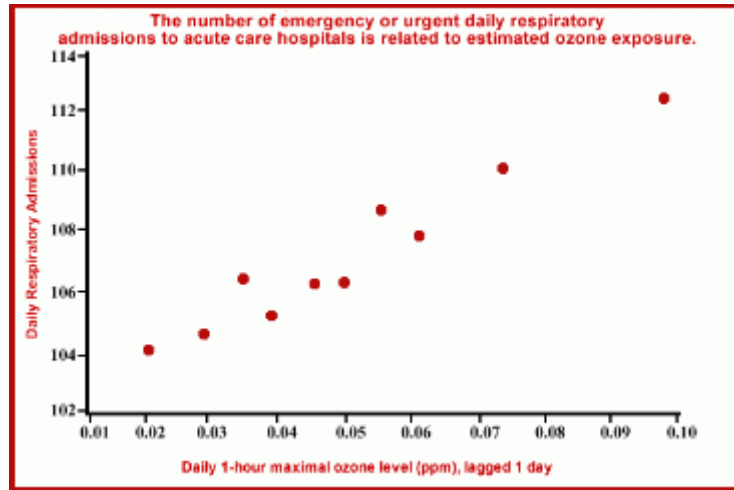
Υπάρχουν σταθερές επιδημιολογικές ενδείξεις ότι τα επίπεδα του όζοντος στο περιβάλλον σχετίζονται με άλλους δείκτες αναπνευστικής νοσηρότητας, ιδιαίτερα κατά τη ζεστή περίοδο [9,14,16,17].

Γενικά, μελέτες έχουν αναφέρει θετικές σχέσεις μεταξύ των βραχυπρόθεσμων συγκεντρώσεων όζοντος και των εισαγωγών στο νοσοκομείο και των επισκέψεων στα επείγοντα για αναπνευστικά αίτια. Αν και δεν έχουν βρει όλες οι μελέτες σημαντικές επιδράσεις, οι εκτιμήσεις κινδύνου για την πλειονότητα των μελετών είναι θετικές. Είναι πιθανό ότι αυτοί που κινδυνεύουν περισσότερο από σοβαρή αναπνευστική νοσηρότητα είναι εκείνοι με υποκείμενη αναπνευστική νόσο [13].

Τα στοιχεία δείχνουν ότι μέρος της αύξησης των επισκέψεων στα νοσοκομεία για αναπνευστική νοσηρότητα οφείλεται σε παροξύνσεις του άσθματος και πιθανώς της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας (ΧΑΠ) [15,18].

Λόγω του μικρού αριθμού των καθημερινών εισαγωγών στα νοσοκομεία, οι επιπτώσεις του όζοντος σε άλλες υποκατηγορίες αναπνευστικών παθήσεων δεν είναι ξεκάθαρες. Έχει επίσης παρατηρηθεί μια σχέση μεταξύ του όζοντος και των σχολικών απουσιών σε δύο μελέτες. Ωστόσο, στη μία περίπτωση οι απουσίες σχετίζονταν με ένα μέτρο μακροχρόνιας έκθεσης και στην άλλη περίπτωση οι απουσίες δεν περιορίστηκαν σε εκείνες που οφείλονται σε

ασθένεια. Αν και αυτά τα τελευταία αποτελέσματα συνάδουν με αυξημένες λοιμώξεις λόγω της μειωμένης άμυνας του ξενιστή, χρειάζεται περισσότερη έρευνα πριν καταλήξουμε σε οποιοδήποτε συμπέρασμα σχετικά με οποιαδήποτε επίδραση της έκθεσης στο όζον στη λοίμωξη του αναπνευστικού [9,13].



Εικόνα22.7: Ο αριθμός έκτακτων επειγουσών ημερήσιων εισαγωγών σε νοσοκομεία οξείας περίθαλψης σχετίζεται με την εκτιμώμενη έκθεση στο όζον (Οντάριο Καναδά) [9]

Στην εικόνα 2.7. παρουσιάζονται τα ποσοστά αναπνευστικής εισαγωγής σε 168 νοσοκομεία στο Οντάριο του Καναδά κατά την περίοδο 1983 έως 1988. Ο σχεδιασμός έγινε σε συνάρτηση με την κατανομή της ημερήσιας μέγιστης συγκέντρωσης όζοντος 1 ώρας, με καθυστέρηση 1 ημέρας. Τα ποσοστά εισαγωγής προσαρμόστηκαν για τα εποχιακά μοτίβα, τις επιπτώσεις της ημέρας της εβδομάδας και τις επιπτώσεις στο νοσοκομείο. Το όζον παρουσίασε θετική και στατιστικά σημαντική συσχέτιση με εισαγωγές από αναπνευστικό για το 91% των νοσοκομείων κατά την περίοδο της Άνοιξης έως το Φθινόπωρο, αλλά όχι κατά τους χειμερινούς μήνες από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο, όταν τα επίπεδα του όζοντος ήταν χαμηλά. Το όζον έχει συσχετιστεί με καθημερινές νοσηλεύσεις για καρδιαγγειακά νοσήματα σε ορισμένες μελέτες, αλλά δεν είναι σταθερό εύρημα [9].

2.12 Οι επιπτώσεις της επαναλαμβανόμενης ή μακροχρόνιας έκθεσης στο όζον.

Ένα από τα σημαντικότερα αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με τις επιπτώσεις του όζοντος στην υγεία είναι εάν τα επαναλαμβανόμενα επεισόδια βλάβης, φλεγμονής και αποκατάστασης που προκαλούνται από χρόνια επαναλαμβανόμενη βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον έχουν ως αποτέλεσμα μακροχρόνιων επιπτώσεων στην υγεία [18–20]

Η ημερήσια έκθεση στο όζον για περίοδο 4 ημερών προκαλεί αλλαγές στην πνευμονική λειτουργία. Γι' αυτό ορισμένοι ειδικοί στον τομέα της υγείας προτείνουν, ότι τα άτομα που ζουν σε περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε όζον πρέπει να προστατεύονται από τυχόν βλαβερές συνέπειες της μακροχρόνιας έκθεσης στο όζον [9,14].

Σε πολλές μελέτες αναφέρεται ότι οι νεαροί ενήλικες που πέρασαν την παιδική τους ηλικία σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος, είχαν χαμηλότερες μετρήσεις πνευμονικής λειτουργίας από εκείνους από περιοχές με χαμηλότερο όζον[5,8,19].

Μέρος της δυσκολίας στην αξιολόγηση των επιπτώσεων του όζοντος ν είναι ο μικρός αριθμός διαχρονικών επιδημιολογικών μελετών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την αξιολόγηση της αναπνευστικής υγείας σε δείγματα με διαφορετική έκθεση στο όζον[15,17]. Η κινητικότητα του πληθυσμού καθώς και η αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της έκθεσης στο όζον και σε άλλους πιθανούς συσχετικούς παράγοντες για μια περίοδο πολλών ετών υποβαθμίζει τη δύναμη και οδηγεί σε μεροληψία τόσο σε διαχρονικές όσο και σε συγχρονικές μελέτες [15,17].

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις του όζοντος έχουν διερευνηθεί λιγότερο από τη βραχυπρόθεσμη έκθεση λόγω της δυσκολίας μοντελοποίησης της έκθεσης στο όζον και της σύνδεσης μεταξύ ατομικών εκθέσεων και δεδομένων αποτελεσμάτων υγείας. Πρόσφατα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση στο όζον συσχετίστηκε με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής και αναπνευστικής θνησιμότητας. Επιπλέον, διαχρονικές μελέτες με χρήση μεγάλων κοορτών αποκάλυψαν επίσης ότι η μακροχρόνια έκθεση στο όζον συσχετίστηκε με μεγαλύτερη μείωση της πνευμονικής λειτουργίας και ανάπτυξη του εμφυσήματος [6,21].

2.13 Η επίδραση του όζοντος στην αναπνευστική οδό.

Επειδή το όζον έχει περιορισμένη διαλυτότητα στο νερό, η ανώτερη αναπνευστική οδός δεν είναι τόσο αποτελεσματική στην απομάκρυνση του όζοντος από τον εισπνεόμενο αέρα όσο για τους περισσότερους υδατοδιαλυτούς ρύπους όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂) ή το αέριο χλώριο (Cl₂). Κατά συνέπεια, η πλειονότητα του εισπνεόμενου όζοντος φθάνει στην κατώτερη αναπνευστική οδό και διαλύεται στο λεπτό στρώμα του υγρού της επένδυσης του επιθηλίου (YEE) σε όλους τους αγωγίμους αεραγωγούς του πνεύμονα.

Στους πνεύμονες, το όζον αντιδρά ταχέως με έναν αριθμό βιομορίων, ιδιαίτερα αυτά που περιέχουν ομάδεςθειόλης ή αμίνης ή ακόρεστους δεσμούς άνθρακα-άνθρακα. Αυτές οι αντιδράσεις και τα προϊόντα τους χαρακτηρίζονται ελάχιστα, αλλά πιστεύεται ότι οι τελικές επιπτώσεις της έκθεσης στο όζον προκαλούνται από ελεύθερες ρίζες και άλλα οξειδωτικά είδη στο YEE που στη συνέχεια αντιδρούν με υποκείμενα επιθηλιακά κύτταρα, με ανοσοκύτταρα και με νευρικούς υποδοχείς στο τοίχωμα αεραγωγού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ίδιο το όζον μπορεί να αντιδράσει άμεσα με αυτές τις δομές. Πολλές

επιδράσεις με διακριτούς μηχανισμούς συμβαίνουν ταυτόχρονα μετά από μια βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον [9].

2.14 Τρόποι μείωσης στην έκθεση στο O₃

Οι άνθρωποι μπορούν να μειώσουν την έκθεσή τους μειώνοντας το χρόνο που περνούν σε εξωτερικούς χώρους ή μειώνοντας το επίπεδο ή τη διάρκεια της υπαίθριας δραστηριότητας κατά τις ώρες της ημέρας που τα επίπεδα του όζοντος τείνουν να είναι υψηλά. Τα επίπεδα όζοντος είναι συνήθως υψηλότερα τους θερμότερους μήνες (περίπου από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο) και από το απόγευμα έως και νωρίς το βράδυ για τις περισσότερες τοποθεσίες, αλλά αυτό μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία. Σε ορισμένες τοποθεσίες, όπου υπάρχουν υψηλά επίπεδα VOC σε συνδυασμό με έντονη υπεριώδη ακτινοβολία, τα επίπεδα του όζοντος μπορεί να είναι υψηλά ακόμη και κατά τους χειμερινούς μήνες. Γι' αυτό το λόγω υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε ορισμένες νότιες και ορεινές τοποθεσίες [9].

3. Η περιοχή μελέτης

3.1 Η γεωγραφική θέση της Αττικής

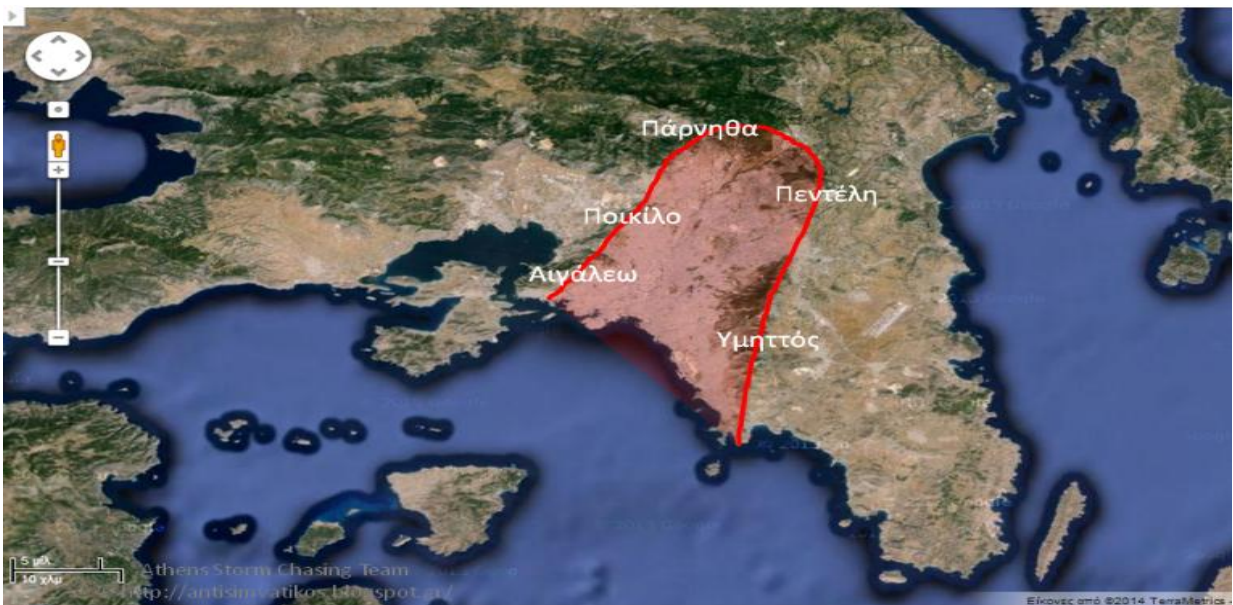
Η Αττική είναι μια τριγωνική χερσόνησος που βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος. Χωρίζεται στα βόρεια από τη Βοιωτία, από την οροσειρά Κιθαιρώνα μήκρους 16 χλμ. Στα δυτικά συνορεύει με τη θάλασσα και τη διώρυγα της Κορίνθου (Εικόνα 3.1). Νότια βρίσκεται ο Σαρωνικός κόλπος, ενώ η Εύβοια βρίσκεται προς το βορρά και τις ανατολικές ακτές. Βουνά χωρίζουν τη χερσόνησο στην πεδιάδα των Μεσογείων και Θριασίου. Τα βουνά της Αττικής είναι ο Υμηττός, το ανατολικό τμήμα των Γερανείων, η Πάρνηθα (το ψηλότερο βουνό της Αττικής), το όρος Αιγάλεω και η Πεντέλη. Μεταξύ των βουνών Αιγάλεω, Πάρνηθας, Πεντέλης και Υμηττού απλώνονται η Αθήνα και ο Πειραιάς (Εικόνες 3.2, 3.3) [22].

Το πεδίο της Μεσογαίας, τα Μεσόγεια όπως ονομάζονται, βρίσκεται ανατολικά του Υμηττού και συνδέεται προς τα βόρεια από τους πρόποδες της Πεντέλης, στα ανατολικά από τον Ευβοϊκό Κόλπο και το όρος Μυριννούς (σύγχρονη Μερέντα) και στα νότια από το βουνό του Λαυρίου. Η δεξαμενή νερού της Αθήνας είναι η τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα, που δημιουργήθηκε από φράγματα το 1920. Τα πεύκα και τα κωνοφόρα δάση καλύπτουν την περιοχή γύρω από την Πάρνηθα. Ο Υμηττός, η Πεντέλη, η Μυριννούς και το Λαύριο είναι δασωμένες με πεύκα, ενώ τα υπόλοιπα καλύπτονται από θαμνώδη περιοχή. Ο Κηφισός είναι ο μεγαλύτερος ποταμός της Αττικής.

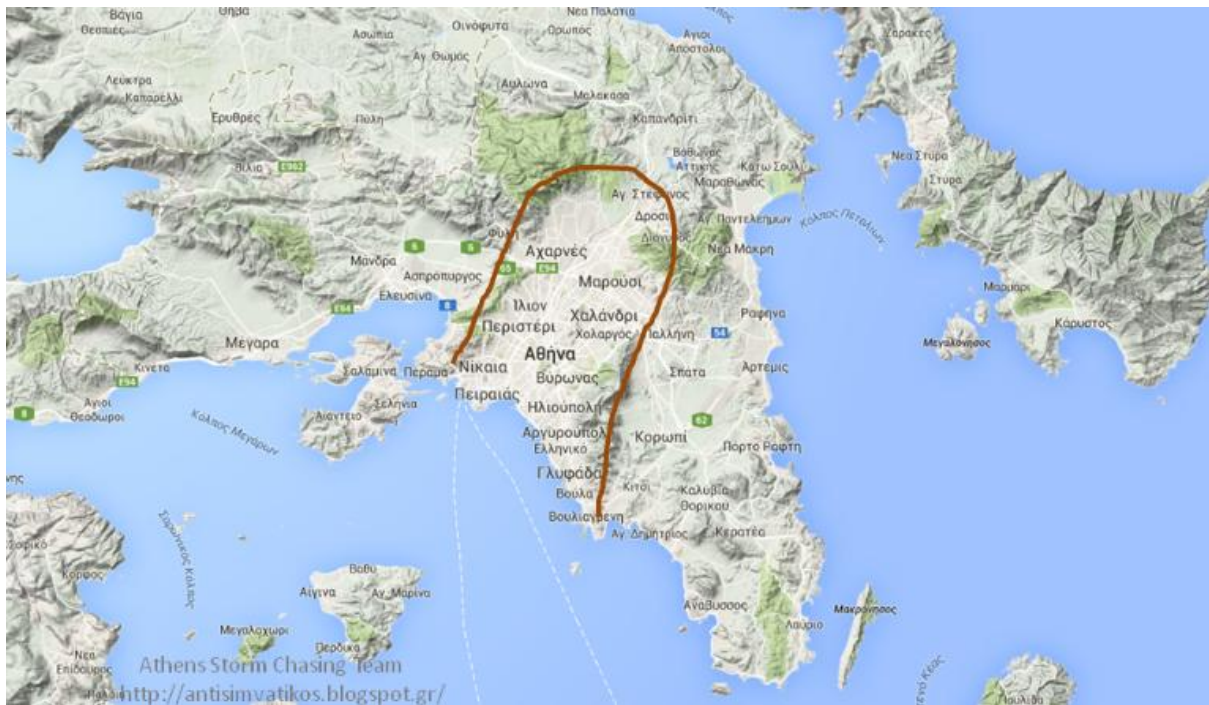
Η περιφέρεια της πρωτεύουσας και το υπόλοιπο Αττικής, απαρτίζουν γεωγραφικά την Αττική. Η περιφέρεια της πρωτεύουσας περιλαμβάνει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας, δηλαδή όλους τους δήμους Αθηνών και Πειραιώς και οριοθετείται από τον Σαρωνικό κόλπο και τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηττού και της Πεντέλης, που ορίζουν το λεκανοπέδιο Αττικής. Το υπόλοιπο Αττικής καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης της περιφέρειας και αποτελείται από το ανατολικό και δυτικό τμήμα, τα νησιά του Σαρωνικού και την επαρχία Τροιζηνίας, που βρίσκεται στην Πελοπόννησο [22].



Εικόνα 3.1: Γεωγραφική θέση της Αττικής [23]



Εικόνα 3.2: Όρια λεκανοπεδίου και τα 5 βασική όρη που το περικυκλώνουν [23]



Εικόνα 3.3: Όρια λεκανοπέδιου και τα 5 βασικά όρη που το περικυκλώνουν [23]

3.2 Το κλίμα της Αττικής

Η Αττική παρουσιάζει μεγάλη καιρική ποικιλία κλίματος, δεδομένης της σχετικά μικρής επιφάνειας της. Ανάλογα με τη περιοχή, εμφανίζει ήπιο θαλάσσιο κλίμα στις παράκτιες περιοχές της, αρκετά ξηρό με ελάχιστο υετό στα νότια και νοτιο-ανατολικά τμήματα της, ηπειρωτικό κυρίως από τις βόρειες περιοχές του κέντρου και οδεύοντας βορειοανατολικότερα, αρκετά ψυχρό σχετικά σε κάποια βορειότερα προάστια (π.χ. Ιπποκράτειος πολιτεία) ενώ περιοχές όπως το εσωτερικό του λεκανοπεδίου, τα μεσόγεια και ο κόλπος της Ελευσίνας, είναι επιρρεπή και σε στροβίλους, όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Το μόνο που σπανίζει είναι η ομίχλη η οποία αναπτύσσεται σπάνια και κυρίως στις παράκτιες περιοχές του Σαρωνικού και ακόμη σπανιότερα στο εσωτερικό του λεκανοπεδίου. Η πυκνή ομίχλη είναι σπανιότερη από το χιόνι στο λεκανοπέδιο. Ένα αραιό ομιχλώδες στρώμα ωστόσο, εμφανίζεται κυρίως τους φθινοπωρινούς μήνες [23].

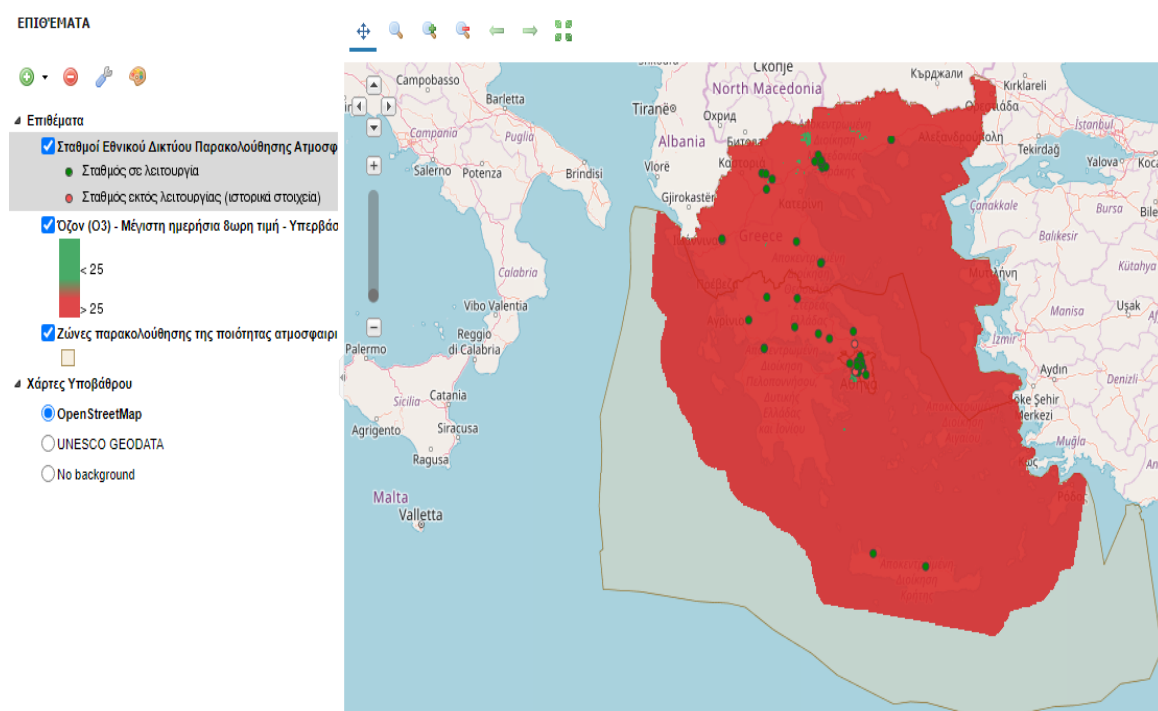
Πίνακας 1: Μετρούμενοι ρύποι [4]

Ρύπος	Μέθοδος μέτρησης
Όζον (O ₃)	Απορρόφηση στο υπεριώδες

Στην ανωτέρω εικόνα ο ρύπος του όζοντος μετριέται με τη μέθοδο της απορρόφησης στο υπεριώδες [24].

3.4 Χαρτογράφηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Επιπλέον της αξιολόγησης της ποιότητας του αέρα που βασίζεται σε μετρήσεις που διενεργούνται από το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ), έχει πραγματοποιηθεί εκτίμηση της ποιότητας του αέρα για όλη τη χώρα στο πλαίσιο του έργου «Επικαιροποίηση της χαρτογραφικής απεικόνισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της καταγραφής ατμοσφαιρικών εκπομπών των πηγών και ανάπτυξης κατάλληλου υπολογιστικού εργαλείου» ενταγμένου στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον & Αειφόρος Ανάπτυξη του ΕΣΠΑ. Συγκεκριμένα, έχει πραγματοποιηθεί απογραφή εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων από όλες τις πηγές για όλη τη χώρα με ανάλυση 2km x 2km. Με βάση τις εκπομπές, με χρήση τεχνικών προσομοίωσης (CAMx) έχει πραγματοποιηθεί υπολογισμός των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων με την ίδια χωρική ανάλυση [25].



Εικόνα 3.5: Σταθμοί Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (πράσινες κουκίδες) [25]

Στην εικόνα 3.5 εμφανίζονται όλοι οι σταθμοί του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) με τις πράσινες κουκκίδες. Ο χάρτης παρουσιάζει το πλήθος των υπερβάσεων στις συγκεντρώσεις του όζοντος της μέγιστης ημερήσιας δωρης τιμής $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και είναι αποτέλεσμα του φωτοχημικού μοντέλου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος που αναφέρθηκε προηγουμένως. Ο συγκεκριμένος χάρτης δημοσιεύτηκε στο ΥΠΕΝ από τον Στεφανάκη Κωνσταντίνο στις 18/01/2019. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σε ολόκληρη την Ελλάδα, οι συγκεντρώσεις του όζοντος πέρασαν τα $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ καθώς ο χάρτης, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, είναι κόκκινος [25].

3.5 Σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

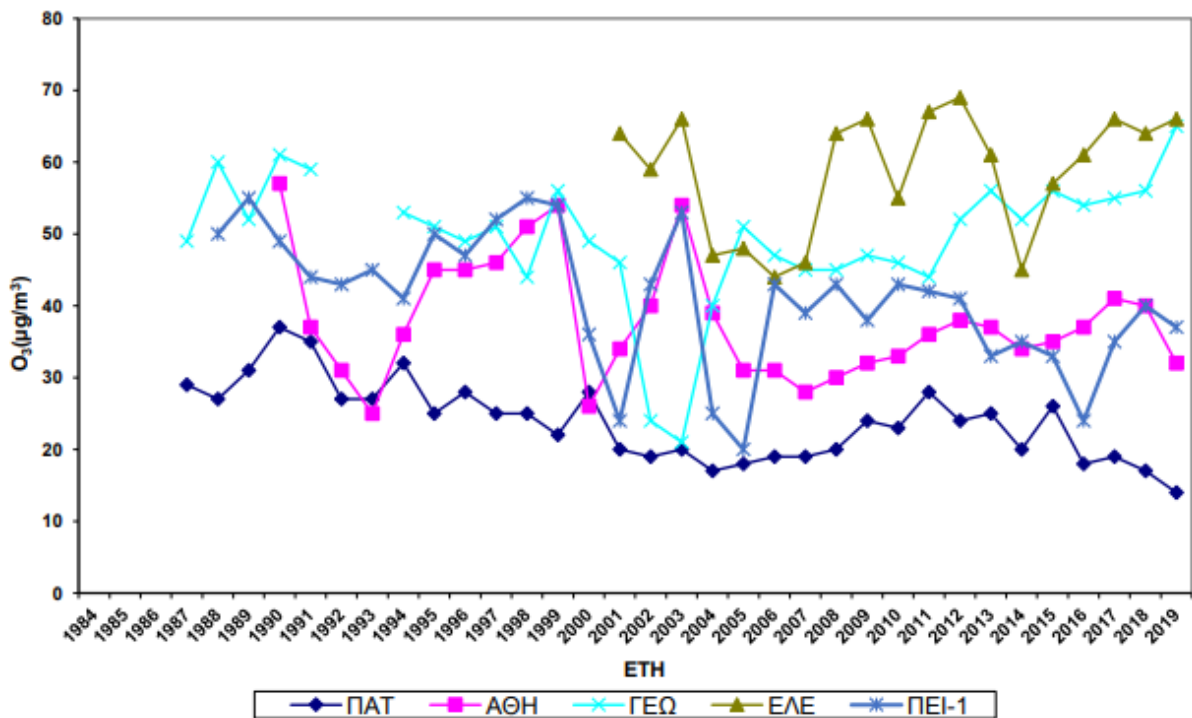
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγιναν μετρήσεις για τον ρύπο του όζοντος από 13 σταθμούς του ΕΔΠΑΡ, οι οποίοι παρουσιάζονται στην κατωτέρω εικόνα και θα αναλυθεί ο καθένας ξεχωριστά στην συνέχεια.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, την ευθύνη των οποίων έχει το ΥΠΕΝ [26]

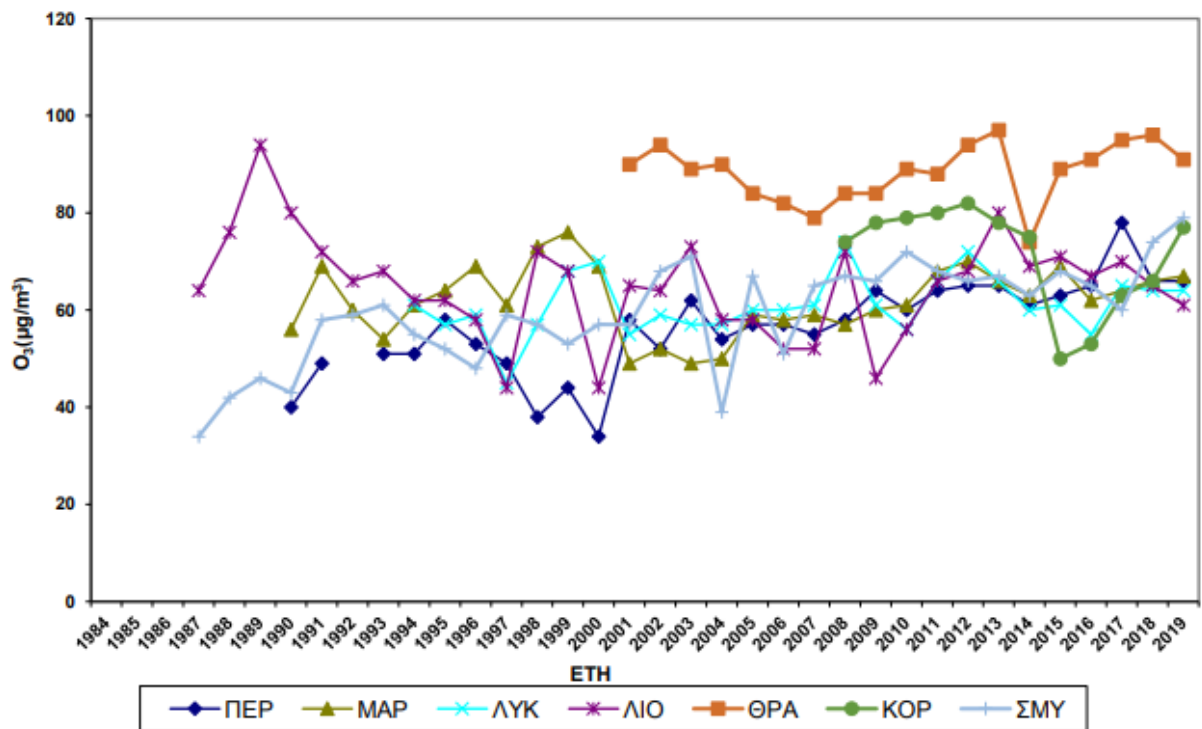
Όνομα	Σταθμός					Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
	WGS84		ΕΓΣΑ87		Υψόμετρο (m -asl)		SO ₂	NO _x	CO	O ₃	ΑΣ ₁₀	ΑΣ _{2,5}	C ₆ H ₆
	Γεωγρ. Μήκος	Γεωγρ. Πλάτος	X (m)	Y(m)									
Αθηνάς [1]	23,7268458638789	37,9782041956628	475861	4203144	75	v	v	v	v				
Αριστοτέλους [2]	23,7276178492125	37,9880660501340	475932	4204238	75	v	v			v	v		
Γεωπονική [3]	23,7051539409633	37,9841003103091	473958	4203804	40		v	v	v				
Λιάσια [4]	23,6977817797894	38,0767419649980	473344	4214085	165		v		v	v			
Λυκόβρυση* [5]	23,7889866802124	38,0677931723947	481341	4213070	234		v		v	v	v		
Μαρούσι [6]	23,7873721482217	38,0308379318551	481190	4208970	170		v	v	v	v			
Νέα Σμύρνη [7]	23,7130203990140	37,9319982117031	474631	4198021	50		v	v	v	v		v	
Πατησίων [8]	23,7330536950717	37,9995879094567	476413	4205515	105	v	v	v	v			v	
Πειραιάς I** [9]	23,6452301569805	37,9446567667974	468679	4199446	4	v	v	v	v	v	v	v	
Περιστερί [10]	23,6883617540273	38,0208112949686	472497	4207882	80		v		v	v			
Αγ. Παρασκευή [11]	23,8194215757818	37,9951106089158	483995	4205000	290		v		v	v	v		
Ελευσίνα [12]	23,5384325457763	38,0513221627153	459354	4211322	20	v	v		v	v	v	v	
Θρακομακεδόνες [13]	23,7581958361834	38,1435214274982	478662	4221479	550		v		v	v	v		
Κορωπί [14]	23,8790262856793	37,9013083393701	489215	4194584	140	v	v		v	v			
Αλιάρτος	23,1103024874696	38,3752950048951	422136	4247543	110	v	v		v	v	v		

Το ενδιαφέρον περιορίστηκε σε όλους τους σταθμούς εκτός από την Αριστοτέλους και την Αλιάρτο στους οποίους δεν καταγράφεται η συγκέντρωση του όζοντος.

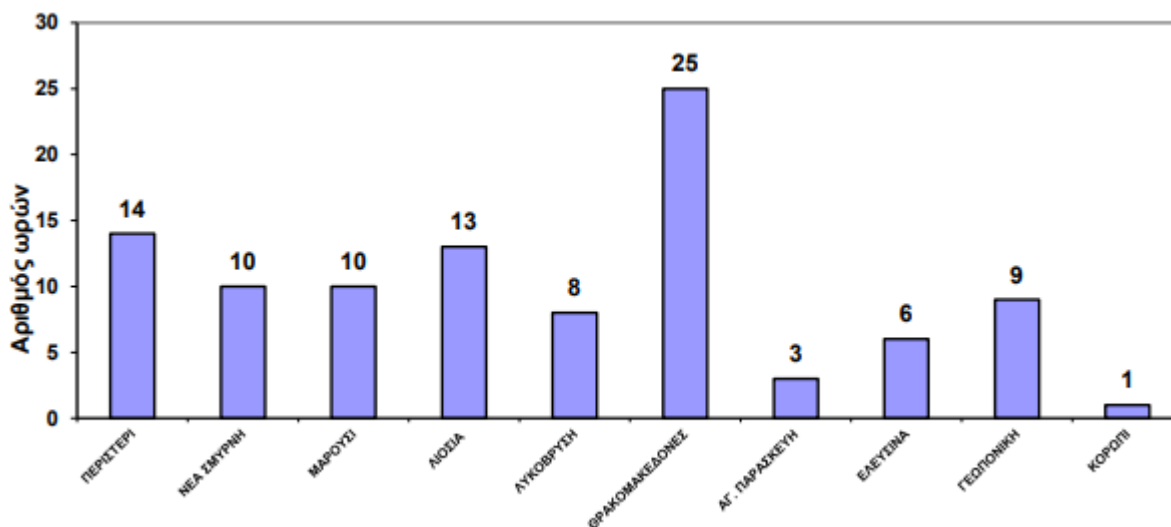
Στα δύο διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων τιμών O₃ σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ από το 1984 έως το 2019 σύμφωνα με την Ετήσια έκθεση ποιότητας του αέρα 2019 του ΥΠΕΝ, εκτός του σταθμού της Αγίας Παρασκευής.



Εικόνα 3.6: Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετησίων τιμών O₃ [26]



Εικόνα 3.7: Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετησίων τιμών O₃ (μέρος 2) [26]



Εικόνα 3.8: Αριθμός ωρών για το 2019 [6]

Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζεται αριθμός ωρών για το 2019 όπου καταγράφηκε η ωριαία τιμή όζοντος μεγαλύτερη από $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Για τη λήψη εκτάκτων μέτρων θα πρέπει να καταγραφεί υπέρβαση του ορίου συναγερμού για τρεις συνεχόμενες ώρες. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.8 για το έτος 2019 δεν σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου συναγερμού ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [26].

Γενικά, σε περιπτώσεις υπέρβασης του ορίου συναγερμού για τρεις συνεχόμενες ώρες, εφαρμόζοντας τη σχετική νομοθεσία, το ΥΠΕΝ εκδίδει τα εξής [6]:

- Την προβλεπόμενη ανακοίνωση του Υπουργείου Υγείας με οδηγίες και συστάσεις για την αποφυγή των μετακινήσεων ευπαθών ομάδων πληθυσμού και σωματικής άσκησης από τα παιδιά.
- Τις προβλεπόμενες συστάσεις του ΥΠΕΝ, για μείωση της χρήσης των ΙΧ αυτοκινήτων και χρησιμοποίηση των ΜΜΜ, για αποφυγή διακίνησης υγρών καυσίμων, για ανεφοδιασμό των οχημάτων με καύσιμο μετά τη δύση του ήλιου, και κατά το δυνατόν αποφυγή λειτουργίας μονάδων και επιχειρήσεων.

Στις 5 περιπτώσεις που σημειώθηκαν υπερβάσεις του ορίου ενημέρωσης ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το ΥΠΕΝ εξέδωσε την προβλεπόμενη για αυτές τις περιπτώσεις ανακοίνωση για την ενημέρωση του κοινού, η οποία περιλάμβανε και την ανακοίνωση του Υπουργείου Υγείας [26].

Στον επόμενο πίνακα δίνονται για την τριετία 2017-2019, ανά σταθμό μέτρησης οι υπερβάσεις της τιμής-στόχου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (μέγιστη μέση τιμή κυλιόμενου οκταώρου $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ως μέση τιμή τριών συνεχών ετών).


Πίνακας 3: Υπερβάσεις της τιμής στόχου για την προστασία της ανθρώπινης υγείας για την τριετία 2017 – 2019 [26]

	Ν.ΣΜΥ	ΛΙΟ	ΜΑΡ	ΠΕΡ	ΛΥΚ	ΘΡΑ	ΑΓ.ΠΑΡ	ΕΛΕ	ΓΕΩ
2017-19	60	32	40	55	40	100	70	38	29

Κατά το έτος 2019, παρατηρήθηκαν υπερβάσεις του ορίου ενημέρωσης και του στόχου για την προστασία της υγείας, κυρίως στους περιφερειακούς σταθμούς μέτρησης ενώ δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση του ορίου συναγερμού. Οι υπερβάσεις αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στη γεωγραφική θέση της χώρας (μεγάλη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό του όζοντος) και παρουσιάζονται σε όλες τις νότιες χώρες της Ε.Ε [26].

Ημερήσια Δελτία Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Οι σταθμοί Πατησίων και Θρακομακεδόνες για το διήμερο 1-2 Δεκεμβρίου 2022 κατέγραψαν τις εξής τιμές:

	Σήμερα 02/12/2022 οι τιμές μέχρι τις 13:00 κυμάνθηκαν:	Χθες 01/12/2022 οι τιμές κυμάνθηκαν:
	<ul style="list-style-type: none"> από 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ, μέχρι 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ 	<ul style="list-style-type: none"> από 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό ΠΑΤΗΣΙΩΝ, μέχρι 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο σταθμό ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ
	Όρια : ενημέρωσης κοινού 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -- συναγερμού 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μετρήσεις γίνονται σε ωριαία βάση	

Εικόνα 3.9: Τιμές των σταθμών για τους οποίους έγινε η έρευνα το διήμερο 1-2 Δεκεμβρίου 2022 [27]

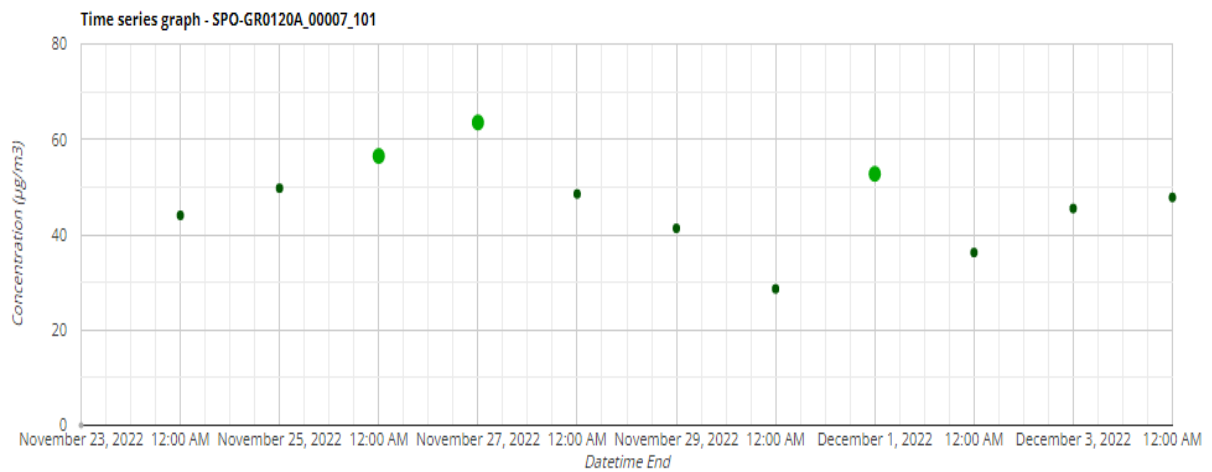
Μέσω της Ευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Υπηρεσίας (European Environment Agency) και της δυνατότητας που μας παρέχει, με την χρήση του λογισμικού GIS, μπορούμε να λαμβάνουμε επικαιροποιημένες τιμές μετρήσεων του όζοντος για διάστημα 12 ημερών [27].

Επικαιροποιημένες τιμές μετρήσεως του όζοντος.

Ακολουθούν επικαιροποιημένες τιμές μετρήσεως του όζοντος από 23/11 – 4/12 / 2022, για τους περισσότερους σταθμούς που ερευνώνται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία [27].

Κορωπί

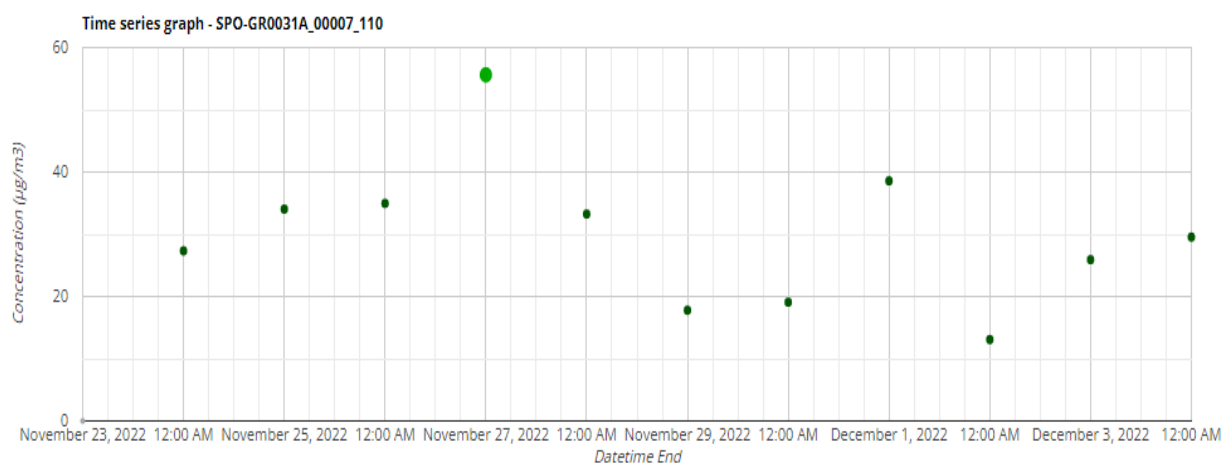
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	47.83333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	suburban
Altitude	140.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0120A_00007_101



Εικόνα 3.10: Χρονοσειρές επικαιροποιημένων τιμών όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Κορωπί [27]

Νέα Σμύρνη

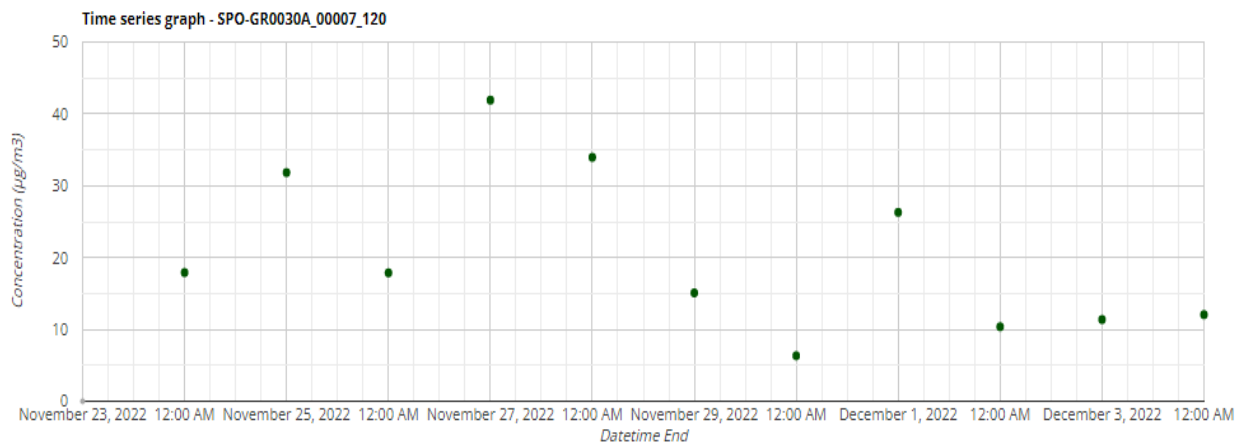
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	29.55556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	urban
Altitude	50.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0031A_00007_110



Εικόνα 3.11: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Νέα Σμύρνη [27]

Πειραιάς

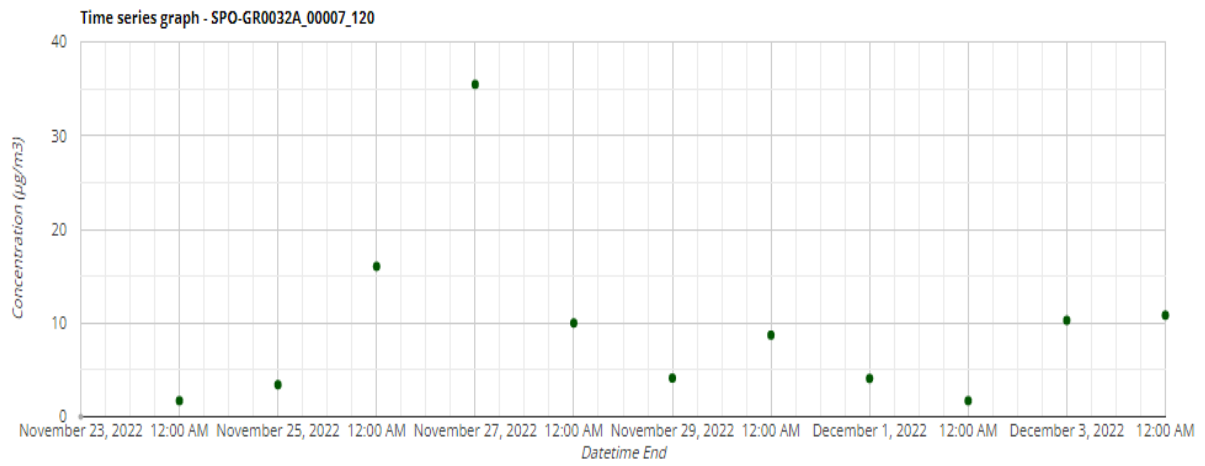
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	12.05556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	traffic
Area	urban
Altitude	20.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0030A_00007_120



Εικόνα 3.12: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Πειραιάς [27]

Πατήσια

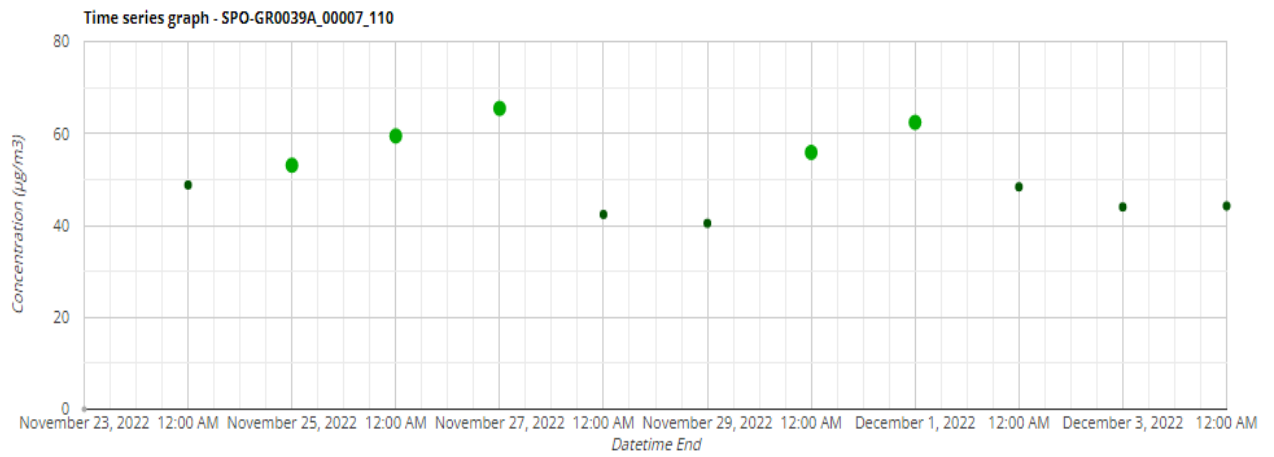
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	10.83333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	traffic
Area	urban
Altitude	105.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0032A_00007_120



Εικόνα 3.13: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Πατήσια [27]

Αγία Παρασκευή

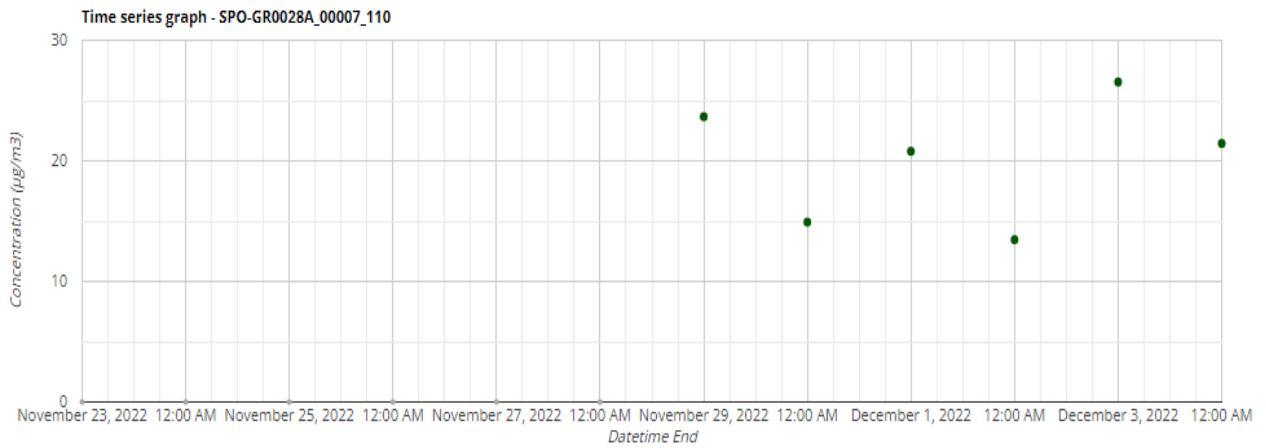
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	44.22222 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	suburban
Altitude	290.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0039A_00007_110



Εικόνα 3.14: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών για το σταθμό: Αγία Παρασκευή [27]

Περιστέρι

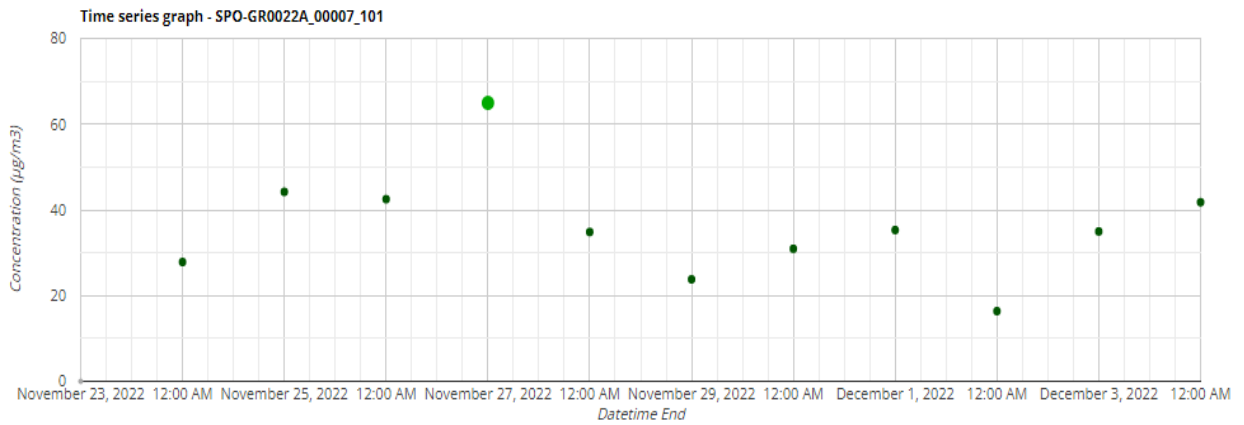
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	21.44444 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	urban
Altitude	80.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0028A_00007_110



Εικόνα 3.15: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος σε διάστημα 12 ημερών για το σταθμό: Περιστέρι [27]

Μαρούσι

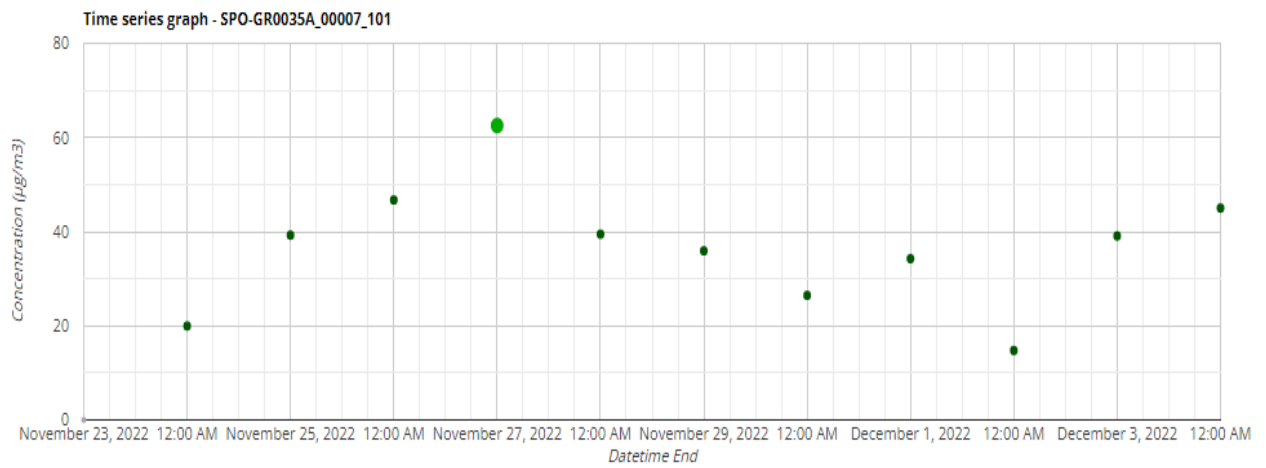
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	41.77778 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	traffic
Area	urban
Altitude	170.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0022A_00007_101



Εικόνα 3.16: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Μαρούσι [27]

Λυκόβρυση

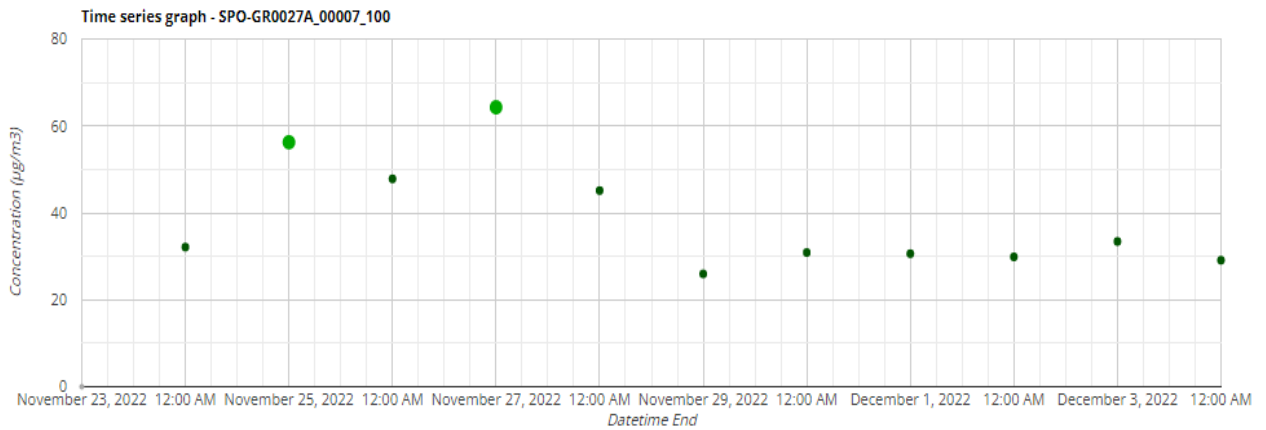
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	suburban
Altitude	210.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0035A_00007_101



Εικόνα 3.17: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Λυκόβρυση [27]

Λιόσια

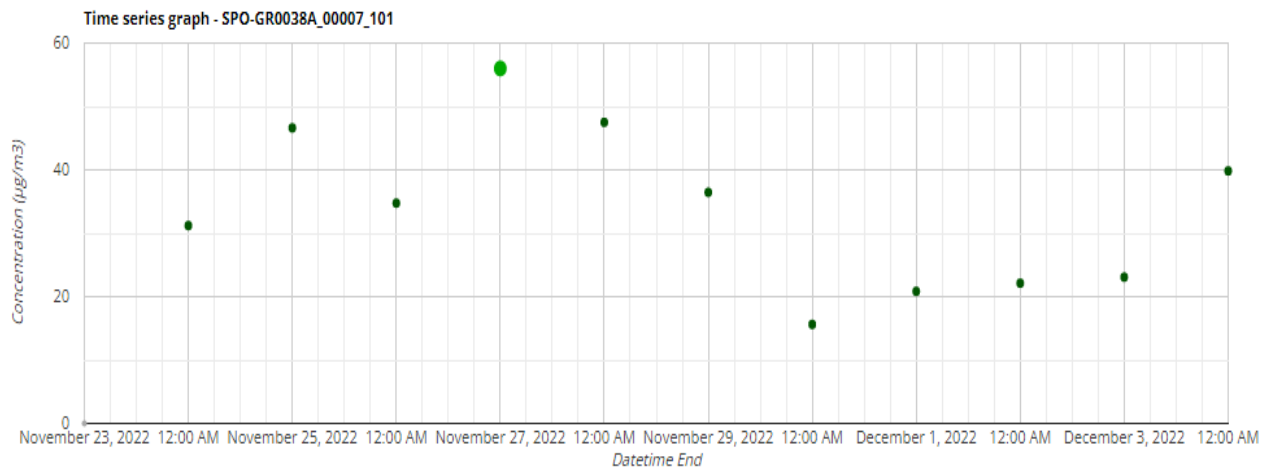
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	29.11111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	suburban
Altitude	165.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0027A_00007_100



Εικόνα 3.18: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Λιόσια [27]

Ελευσίνα

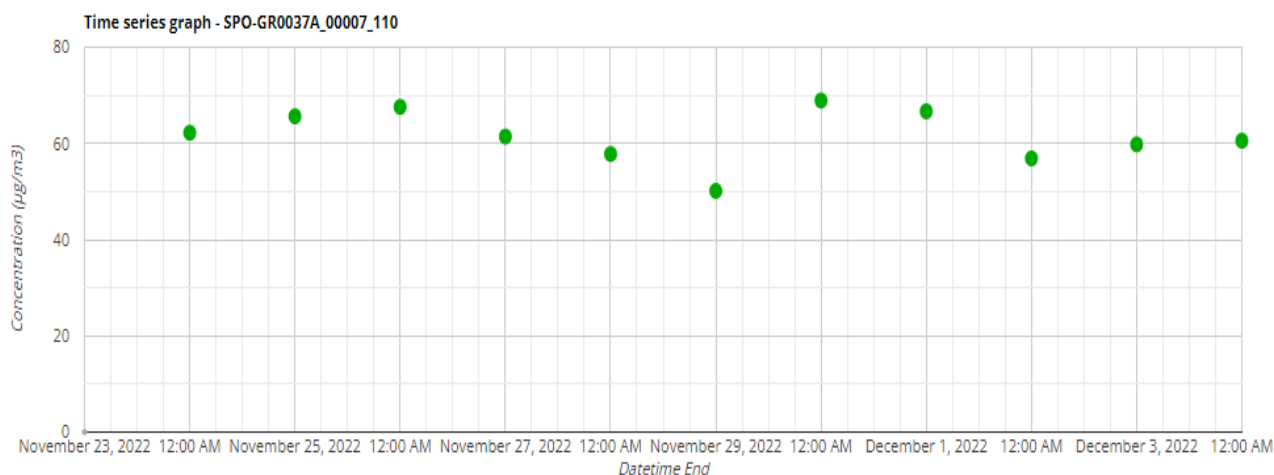
Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	39.83333 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	industrial
Area	urban
Altitude	20.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0038A_00007_101



Εικόνα 3.19: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό Ελευσίνα [27]

Θρακομακεδόνες

Municipality	True
Pollutant	O3
Daily concentration	60.55556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Date	2022-12-04
Classification	background
Area	suburban
Altitude	550.0000 m
Samplingpoint	SPO-GR0037A_00007_110



Εικόνα 3.20: Επικαιροποιημένες τιμές όζοντος για διάστημα 12 ημερών στο σταθμό: Θρακομακεδόνες [27]

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις 19/08/2022, το ΥΠΕΝ εξέδωσε έκτακτο δελτίο υπερβάσεων των οριακών τιμών του όζοντος για τον σταθμό Αμαρουσίου στις 15:00 με μετρηθείσα τιμή $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [27].

Το συγκεκριμένο δελτίο καθώς και οι οδηγίες του Υπουργείου για την προφύλαξη του πληθυσμού ακολουθούν παρακάτω:

Δελτίο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης - Αθήνα, 19/08/2022

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας σας ενημερώνει ότι: Σήμερα 19/08/2022 σύμφωνα με τις μετρήσεις του Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης της Αθήνας, υπήρξε υπέρβαση του ορίου ενημέρωσης ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για το όζον. Συγκεκριμένα μέχρι τις 15:00 σημειώθηκαν οι εξής υπερβάσεις:

Πίνακας 4: Μετρήσεις τιμών όζοντος από το Υπουργείο Περιβάλλοντος [27]

Σταθμοί	Ωριαία τιμή O_3 στις 15:00	Όριο ενημέρωσης κοινού (ωριαίες τιμές $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$)			Όριο συναγερμού πληθυσμού (ωριαίες τιμές $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Ωρα έναρξης υπέρβασης	Διάρκεια υπέρβασης σε ώρες	Μέγιστη τιμή	Ωρα έναρξης υπέρβασης	Διάρκεια υπέρβασης σε ώρες	Μέγιστη τιμή
ΜΑΡΟΥΣΙ	183	15:00	1	183			

Για το λόγο αυτό από το Υπουργείο Υγείας παρέχονται οι ακόλουθες οδηγίες για την προφύλαξη του πληθυσμού: «Άτομα με αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις και γενικότερα άτομα ευαίσθητα στην ατμοσφαιρική ρύπανση συνιστάται να παραμένουν σε εσωτερικούς χώρους και να αποφεύγουν την κυκλοφορία στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης συνιστάται στα παραπάνω άτομα, καθώς και τα παιδιά να αποφεύγουν την έντονη σωματική άσκηση, η οποία μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό της αναπνευστικής οδού και να οδηγήσει σε αναπνευστικά προβλήματα». Αναμένεται η σταδιακή μείωση των τιμών όζοντος αργά το απόγευμα[27].

4. Το λογισμικό πρόγραμμα AirQ+

4.1 Το AirQ+ ως εργαλείο ανάλυσης των επιπτώσεων του όζοντος

Στην συγκεκριμένη εργασία, το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των επιπτώσεων του όζοντος στην δημόσια υγεία αλλά και την συσχέτιση με θανάτους που προκλήθηκαν στο καρδιοαναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα, είναι το AirQ+.

Στην συνέχεια ακολουθεί παρουσίαση του προγράμματος AirQ+ όπως αναφέρεται στο εγχειρίδιο του ΠΟΥ [28].

Το AirQ+ είναι ένα εργαλείο λογισμικού για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της επιβάρυνσης στην ανθρώπινη υγεία που αναπτύχθηκε από το Περιφερειακό Γραφείο του ΠΟΥ για την Ευρώπη. Το AirQ+ περιλαμβάνει φιλικές προς το χρήστη μεθοδολογίες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της μακροχρόνιας και βραχυπρόθεσμης έκθεσης στη ρύπανση του αέρα του περιβάλλοντος.

Λειτουργεί για τους ακόλουθους ρύπους: αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 2,5 μm ή μικρότερη (PM_{2,5}) ή με διάμετρο 10 μm ή μικρότερη (PM₁₀), διοξείδιο του αζώτου NO₂, όζον O₃ και μαύρο άνθρακα. Επίσης, το πρόγραμμα AirQ+ μπορεί να εκτιμήσει τις επιπτώσεις της οικιακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τη χρήση στερεών καυσίμων.

Διάφορα αποτελέσματα υγείας που σχετίζονται με τη θνησιμότητα και τη νοσηρότητα, τόσο σε οξείες όσο και σε χρόνιες παθήσεις λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς του προγράμματος..

Το AirQ+ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης καρκίνου λόγω της έκθεσης των ανθρώπων σε καρκινογόνο ατμοσφαιρικό ρύπο κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

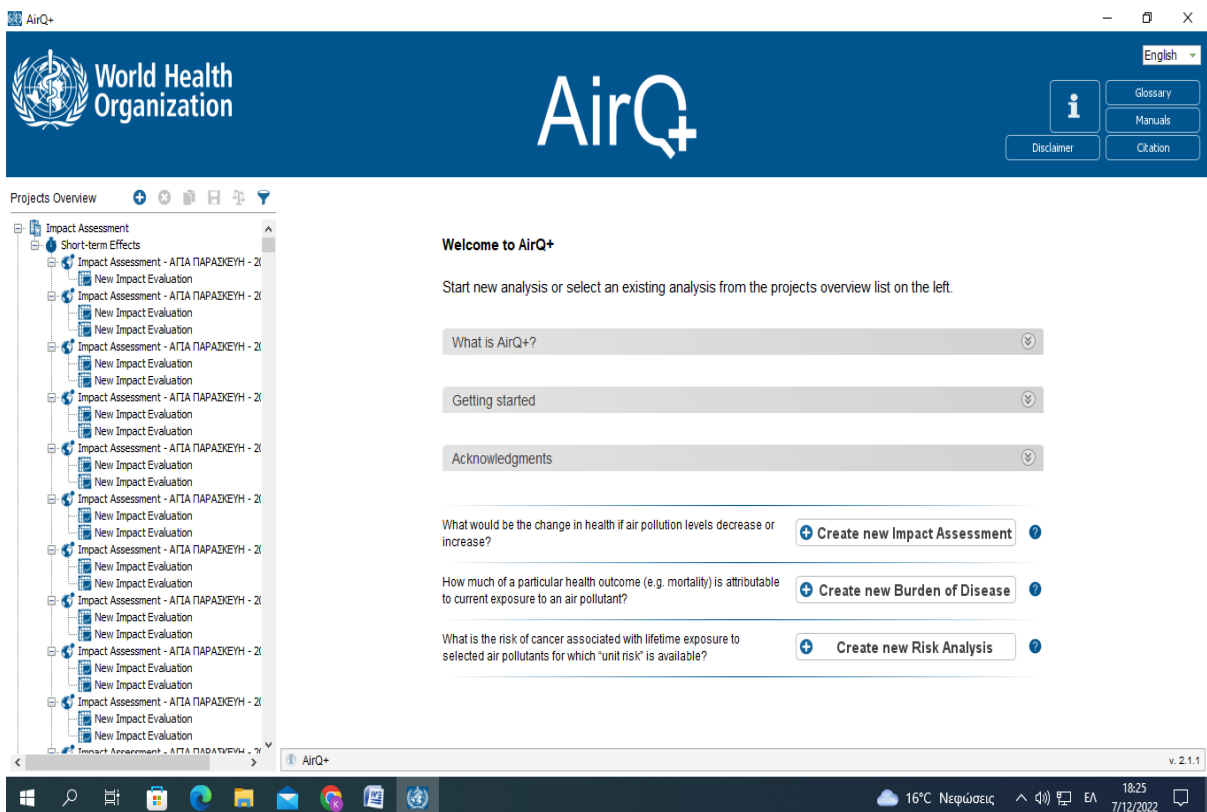
Το λογισμικό χρησιμοποιεί προεπιλεγμένες τιμές με βάση τα επιστημονικά στοιχεία για τις επιπτώσεις στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχονται κυρίως από μελέτες που έγιναν στη Δυτική Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Κατά τη διεξαγωγή αξιολογήσεων εκτός αυτών των περιοχών, τα αποτελέσματα θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά και ενδέχεται να έχουν υψηλότερο βαθμό αβεβαιότητας. Ο χρήστης θα πρέπει να εξετάσει το ενδεχόμενο να αναζητήσει την κρίση των ειδικών.

Η έκδοση του AirQ+ version 2.1.1. (2021) είναι δομημένη σε τρεις ενότητες που επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση της εκτίμησης των επιπτώσεων στην υγεία που σχετίζονται με:

- (i) την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή αλλαγές στα επίπεδα ρύπανσης

- (ii) το βάρος της προσέγγισης της νόσου χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες ολοκληρωμένης έκθεσης-απόκρισης (IER)
- (iii) ανάλυση κινδύνου για καρκινογόνους ατμοσφαιρικούς ρύπους χρησιμοποιώντας τον κίνδυνο της μονάδας.

Όταν ξεκινήσει το πρόγραμμα, εμφανίζεται το παράθυρο καλωσορίσματος. Η επάνω αριστερή πλευρά του παραθύρου δείχνει το δέντρο του έργου για βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αναλύσεις. Δίπλα στην «επισκόπηση έργων» βρίσκονται έξι εικονίδια (από αριστερά προς τα δεξιά) για τη διαχείριση αναλύσεων: προσθήκη, διαγραφή, αντιγραφή, εξαγωγή, σύγκριση και φιλτράρισμα.



Εικόνα 4.1: Παράθυρο καλωσορίσματος του προγράμματος



Εικόνα 4.2: Εικονίδια διαχείρισης αναλύσεων

Τα πεδία εισαγωγής δεδομένων έχουν χρωματική κωδικοποίηση για να βοηθήσουν τον χρήστη να διακρίνει, για παράδειγμα, την διαφορά μεταξύ υποχρεωτικών και προαιρετικών δεδομένων.

Το πράσινο υποδεικνύει υποχρεωτικά πεδία. Τα υποχρεωτικά πεδία πρέπει να συμπληρωθούν για τους υπολογισμούς του AirQ+. Όταν μια νέα ανάλυση δημιουργείται, τα υποχρεωτικά πεδία περιέχουν σωστά προεπιλεγμένα δεδομένα. Για παράδειγμα, η μέση τιμή συγκέντρωσης έχει αρχικά οριστεί στο μηδέν. Το πράσινο υποδεικνύει επίσης ότι οι σωστές τιμές εισήχθησαν στα υποχρεωτικά και προαιρετικά πεδία.

Το κίτρινο υποδεικνύει προτεινόμενα πεδία. Συνιστάται ανεπιφύλακτα η εισαγωγή δεδομένων σε αυτά τα πεδία για σκοπούς τεκμηρίωσης, παρόλο που αυτά τα πεδία δεν χρησιμοποιούνται σε υπολογισμούς ή αναλύσεις.

Το λευκό υποδεικνύει προαιρετικά πεδία στο παράθυρο «ανάλυση ιδιοτήτων». Τα πεδία είναι πάντα λευκά στους πίνακες με δεδομένα μέτρησης στο παράθυρο «δεδομένα ποιότητας αέρα». Το AirQ+ εκτελεί ορισμένους ελέγχους δεδομένων, ανάλογα με τον τύπο πεδίου. Για παράδειγμα, η εισαγωγή αρνητικής τιμής στο πεδίο "αριθμός ημερών" δεν θα γίνει αποδεκτή.

Το κόκκινο υποδεικνύει ότι έχει εισαχθεί λανθασμένη τιμή σε ένα υποχρεωτικό πεδίο. Για παράδειγμα, της μέσης συγκέντρωσης οι τιμές της μέσης συγκέντρωσης δεν μπορούν να είναι αρνητικές.

Το παράθυρο καλωσορίσματος του AirQ+ εμφανίζει τις τρεις ενότητες και την ερώτηση που απαντά η καθεμία.

- Δημιουργία νέας εκτίμησης επιπτώσεων

Ποια θα ήταν η αλλαγή στην υγεία ενός ανθρώπου εάν το επίπεδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μειωθεί ή αυξηθεί;

- Δημιουργία νέου φορτίου ασθένειας

Πόσο από ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα υγείας (π.χ. θνησιμότητα) αποδίδεται στην τρέχουσα έκθεση στον αέριο ρύπο;

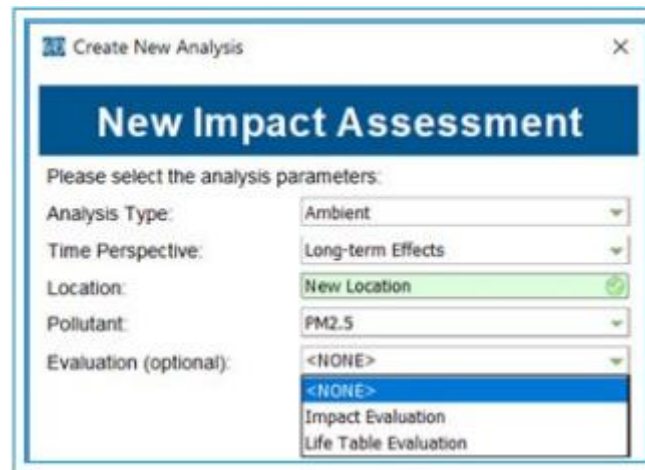
- Δημιουργία νέας ανάλυσης κινδύνου

Ποιος είναι ο κίνδυνος καρκίνου που σχετίζεται με τη διά βίου έκθεση σε επιλεγμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους και για ποια μονάδα υπάρχει κίνδυνος;

Η ενότητα Impact Assessment επιτρέπει στο χρήστη να αναπτύξει δύο τύπους αναλύσεων. Η πρώτη ανάλυση βασίζεται σε έναν μόνο αριθμό για έναν πληθυσμό, δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δεδομένα υγείας και σχετικό κίνδυνο. Για να εκτελεστεί αυτή η ανάλυση, κάνουμε κλικ στο «Create new Impact Evaluation» στο κάτω μέρος του παραθύρου Create New Analysis και επιλέγουμε «Impact Evaluation» από το αναπτυσσόμενο πλαίσιο «Evaluation (προαιρετικό)».

Η δεύτερη ανάλυση βασίζεται σε δεδομένα πληθυσμού που περιλαμβάνουν για κάθε ηλικιακό εύρος τον αριθμό των ατόμων και τον αριθμό των θανάτων, συν τα δεδομένα ρύπανσης του αέρα, δεδομένα υγείας και σχετικός κίνδυνος.

Για να εκτελεστεί αυτή η ανάλυση, επιλέγουμε «Life Table Evaluation» από το αναπτυσσόμενο πλαίσιο «Evaluation (προαιρετικό)» του παραθύρου Create New Analysis.



Εικόνα 4.3: Παράθυρο Create new Analysis

Η ενότητα Burden of Disease περιλαμβάνει τις λειτουργίες IER που αναπτύχθηκαν με την πάροδο των ετών για την παραγωγή εκτιμήσεων επιβάρυνσης που βασίζονται σε δεδομένα θνησιμότητας ανάλογα με την αιτία. Αυτή η ενότητα περιλαμβάνει επίσης τους σχετικούς κινδύνους για πρόχειρες εκτιμήσεις της επιβάρυνσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των νοικοκυριών.

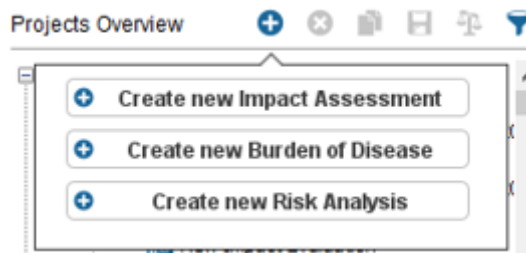
Η ενότητα Risk Analysis χρησιμοποιείται για την απάντηση στην ερώτηση: «σε περίπτωση απουσίας δεδομένων κλασικών ατμοσφαιρικών ρύπων και της παρουσίας συγκεντρώσεων άλλων ειδικών ουσιών στον αέρα, είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί ο κίνδυνος ανάπτυξης καρκίνου»; Τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης κινδύνου δεν αντικαθιστούν τα αποτελέσματα μιας εκτίμησης επιπτώσεων ή επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε έναν πληθυσμό.

4.2 Πως χρησιμοποιήθηκε το AirQ+ στην διπλωματική

Στην παρούσα διπλωματική ακολουθήθηκε ένα συγκεκριμένο μοτίβο κινήσεων στην πλατφόρμα του AirQ+ οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια.

Αρχικά ανοίγοντας το μενού του AirQ+, επιλέχθηκε πάνω αριστερά το κουμπί με το σύμβολο «+», το οποίο αποτυπώθηκε με εικόνα στο προηγούμενο κεφάλαιο, με σκοπό την δημιουργία μιας νέας ανάλυσης (Create new Analysis).

Στην συνέχεια από τις τρεις επιλογές που εμφανίζονται, χρησιμοποιήθηκε το «Create new Impact Assessment» όπως φαίνεται στην κάτωθι εικόνα

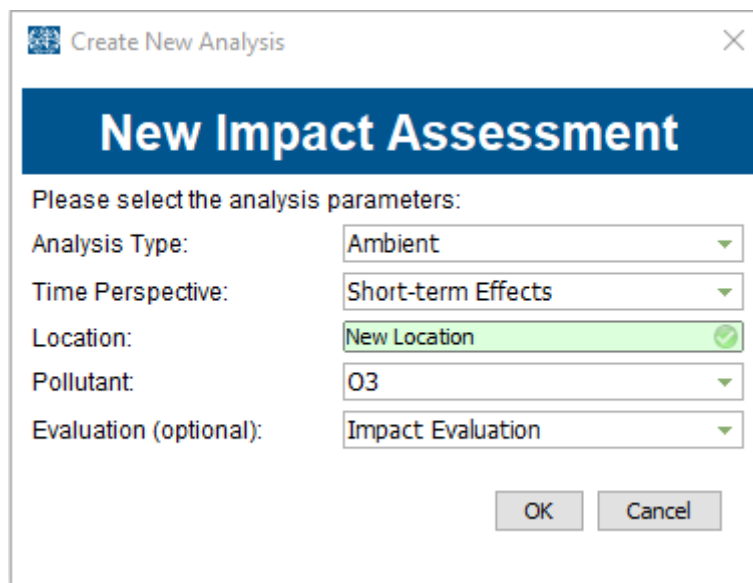


Εικόνα 4.4: Επιλογή Create new Impact

Έπειτα στο παράθυρο που ακολουθεί, έγιναν οι εξής ενέργειες:

1. Στο «Time Perspective», επιλέχθηκε «Short-term Effects» καθώς η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο όζον αποτελεί το αντικείμενο έρευνας της εργασίας
2. Στο «Location» τοποθετήθηκε ο εκάστοτε σταθμός παρακολούθησης που εξετάζεται, (πχ Αγία Παρασκευή)
3. Στο «Pollutant» επιλέχθηκε ο ρύπος του όζοντος (O₃)
4. Στο «Evaluation (optional)» προτιμήθηκε το «Impact Evaluation»

Στην ακόλουθη εικόνα αποτυπώνονται όσα περιγράφηκαν προηγουμένως



Εικόνα 4.5: Παράθυρο New Impact Assessment

Αφού πατηθεί «OK», ακολουθεί η εξής σειρά ενεργειών:

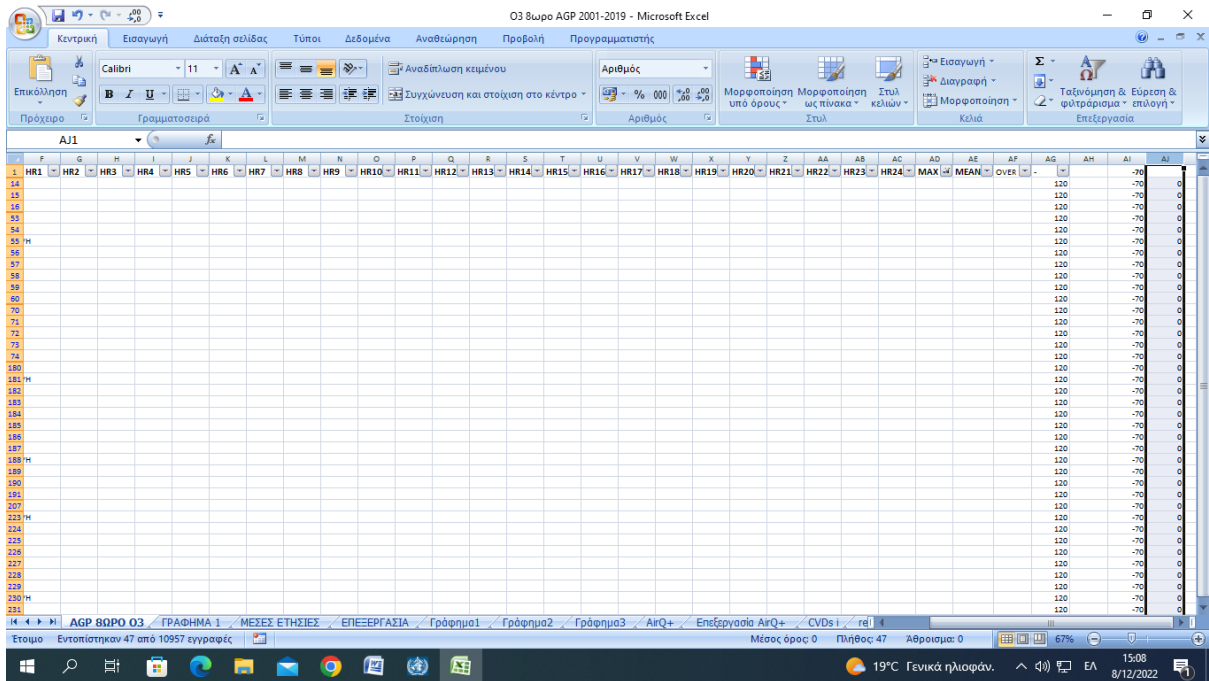
1. Για κάθε έτος στο αντίστοιχο excel, δημιουργήθηκαν δύο νέες στήλες (AI , AJ). Στην AI, αφαιρείται κάθε φορά από την στήλη AD, όπου εμφανίζονται οι max τιμές όζοντος ανά ημέρα, ο αριθμός 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ο οποίος αποτελεί τον κρίσιμο αριθμό έκθεσης του ανθρώπου σε δωρη βάση. Στην στήλη AJ λοιπόν μέσω ενός φίλτρου, όσες τιμές ήταν μεγαλύτερες από το μηδέν (0), έμεναν ως έχουν, ενώ όσες τιμές ήταν

μικρότερες του μηδενός, εμφανίζονταν ως μηδέν (0). Έτσι τελικά στο «SOMO35» του AirQ+, τοποθετήθηκε το άθροισμα (sum) της στήλης AJ.

2. Το «N_{valid}» είναι ο αριθμός των ημερών ανά έτος όπου οι τιμές του όζοντος στην στήλη AD, όπου είναι οι max μετρήσεις, εμφανίζονται μεγαλύτεροι του μηδενός. Έτσι υπολογίζεται κάθε φορά πόσες μέρες ανά έτος στην στήλη AD, δεν παρουσιάζουν τιμές και αφαιρείται αυτός ο αριθμός από το σύνολο του έτους (365 ή 366 αν είναι δίσεκτο).
3. Στο «Location» καταγράφεται η περιοχή που εξετάζεται καθώς και το έτος ώστε να ξεχωρίζει η εκάστοτε ανάλυση.
4. Στο «Total Population», μέσω της απογραφής του 2011, σημειώνεται ο πληθυσμός της εκάστοτε περιοχής.
5. Στο «Year» αναγράφεται το έτος στο οποίο γίνεται η έρευνα κάθε φορά.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "O3 8ωρο AGP 2001-2019 - Microsoft Excel". The spreadsheet contains data for 24 months (HR1 to HR24) and summary statistics (MAX, MEAN, Over). The data is organized in a grid with rows representing different locations or years. The columns are labeled as follows: HR1, HR2, HR3, HR4, HR5, HR6, HR7, HR8, HR9, HR10, HR11, HR12, HR13, HR14, HR15, HR16, HR17, HR18, HR19, HR20, HR21, HR22, HR23, HR24, MAX, MEAN, Over. The rows are numbered 1 to 39. The data values are numerical, representing measurements over time. The spreadsheet also shows the standard Excel interface with the ribbon, formula bar, and taskbar.

Εικόνα 4.6: Συγκεντρικά αποτελέσματα στο Excel για το υπολογισμό του SOMO35 (μέρος 1^ο)



Εικόνα 4.7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στο Excel για το υπολογισμό του SOMO35 (μέρος 2°)

Impact Assessment: Short-term Effects (Ambient)

Analysis Name:

Pollutant:

Pollution Concentration

Input Mean Value Input Air Quality Data

SOMO35_{uncorrected} (µg/m³):

N_{valid}:

[Details Ozone calculations](#)

Location

Location:

Total Population:

Year:

Area Size (km²):

Latitude:

Longitude:

Source of Air Quality Data and Comments

Create new Impact Evaluation

Εικόνα 4.8: Παράθυρο Impact Assessment : Short - term Effects (Ambient)

Έπειτα πατώντας κάτω δεξιά το «Create new Impact Evaluation», εμφανίζεται το τελικό παράθυρο της ανάλυσης.

Στην συνέχεια ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Στο «Health Endpoint», επιλέχθηκε «Mortality, CVDs» για θνησιμότητα από καρδιοαναπνευστικά νοσήματα και «Mortality, respiratory» για θνησιμότητα από κυκλοφορικά νοσήματα.
2. Η ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική Στατιστική Αρχή) παραχώρησε τα στοιχεία που αφορούν θανάτους και τις αιτίες τους. Από τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, επιλέχθηκαν οι θάνατοι ανά έτος και ανά περιοχή, οι οποίοι προήλθαν από αναπνευστικά και κυκλοφορικά νοσήματα. Στην συνέχεια στο «Incidence (per 100 000 Population at risk per year» και πατώντας στο σύμβολο που έχει ακριβώς δίπλα, εμφανίζεται ένα παράθυρο όπου στο «Number of cases», τοποθετήθηκε ο αριθμός των θανάτων για την εκάστοτε περίπτωση. Τέλος με την επιλογή «Convert», το AirQ+ υπολογίζει τον πληθυσμό που βρίσκεται σε κίνδυνο και τον παρουσιάζει στο πράσινο πλαίσιο.

Πίνακας 5: Σύνολο θανάτων για την Αγία Παρασκευή σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ[29]

ΕΤΗ	Θάνατοι Αναπνευστικού	Θάνατοι Κυκλοφορικού
2001	24	207
2002	36	185
2003	29	194
2004	31	190
2005	21	180
2006	38	154
2007	38	177
2008	52	192
2009	46	188
2010	45	180
2011	39	183
2012	53	189
2013	72	174
2014	74	180
2015	67	187
2016	57	192
2017	74	221
2018	58	192

Πίνακας 6 : Περιοχές μελέτης και ο πληθυσμός τους

Περιοχή	Πληθυσμός
Αγία Παρασκευή	60000
Αθήνα	664000
Ελευσίνα	30140
Γεωπονική	664000
Κορωπί	15860
Λιόσια	664000
Λυκόβρυση	31002
Μαρούσι	72333
Πατήσια	664000
Πειραιάς	163688
Περιστέρι	137129
Νέα Σμύρνη	73076
Θρακομακεδόνες	6200

Πρέπει να σημειωθεί ότι η Γεωπονική, τα Λιόσια και τα Πατήσια μελετήθηκαν με βάση τον πληθυσμό της Αθήνας, γιατί ανήκουν στον Δήμο Αθηναίων.

3. Στο «Population at risk», εισάγεται αυτόματα ο πληθυσμός της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτός πληκτρολογήθηκε στο «Total Population» του προηγούμενου παραθύρου.
4. Στο «relative risk», το πρόγραμμα έκανε αυτόματα με την μετατροπή κάποιους υπολογισμούς για τον σχετικό κίνδυνο από την έκθεση στο όζον.
5. Επιλέγοντας «Calculate», το πρόγραμμα υπολογίζει και εμφανίζει σε πίνακα ποσοστά και αριθμούς περιπτώσεων θανάτων που αποδίδονται στην έκθεση πληθυσμού στο όζον.
6. Ο RR relative risk κυρίως εφαρμόζεται στην στατιστική ανάλυση όταν επεξεργάζονται δεδομένα που αφορούν οικολογικές έρευνες, μελέτες ιατρικές και κοορτής όταν θέλουν να εκτιμηθεί η συσχέτιση ανάμεσα σε εκθέσεις θεραπειών ή των παραγόντων κινδύνου. Μαθηματικά ο σχετικός κίνδυνος είναι ένα κλάσμα όπου στον αριθμητή βρίσκεται το ποσοστό της επίπτωσης ενός αποτελέσματος σε μια εκτεθειμένη ομάδα και στον αριθμητή το ποσοστό της ομάδας που δεν εκτίθεται. Όταν ο $RR > 1$ τότε ο παράγοντας κινδύνου αυξάνεται. Ο RR είναι ένας δείκτης του βαθμού της πιθανότητας εμφάνισης επιπτώσεων στην υγεία όταν αυξάνεται η συγκέντρωση έκθεσης σε ρύπους (ανά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αύξησης) [19].

Σύμφωνα με την μελέτη APHENA [19], οι επιπτώσεις του όζοντος για μέγιστες ημερήσιες δωρεές μέσες τιμές O_3 , για συγκεντρώσεις άνω των 35 ppb ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) - θα πρέπει να υπολογίζονται για καρδιαγγειακή θνησιμότητα με συντελεστές RR 1.0049 (95% CI = 1.0013-1.0085) ανά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και RR 1.0029 (95% CI = 0.9989-1.0070) για την

αναπνευστική θνησιμότητα. Οι συντελεστές για την καρδιαγγειακή θνησιμότητα για όλες τις ηλικίες υπολογίστηκαν με τη χρήση σταθμισμένου μέσου όρου των αποτελεσμάτων για τις ηλικίες 75+ ετών και <75 ετών, με βάση το ποσοστό των ατόμων στον ευρωπαϊκό πληθυσμό ηλικίας 75+ ετών (6,4% που υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των αναλογιών ανά πόλη) στη μελέτη APHENA [19].

Το μοντέλο του λογισμικού AirQ+ βασίζεται σε προκαθορισμένα σύνολα δεδομένων RR από μελέτες κοορτών. Ειδικά για τις πόλεις, οι υπολογισμοί έγιναν σε βασικά ποσοστά επίπτωσης (συνολικός αριθμός αναμενόμενων περιστατικών ανά 100.000 κατοίκους ανά έτος) για την εκτίμηση του κινδύνου για την υγεία[21]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το AirQ+ version2.1.1. (2021) καθορίζει μόνο του εξ' αρχής ανάλογα με την εισαγωγή δεδομένων το αντίστοιχο RR. Για την καρδιακή θνησιμότητα RR 1.0049 (1.0013-1.0085) και για την αναπνευστική θνησιμότητα RR 1.0029 (0.9989-1.007), οι οποίοι όπως ήδη αναφέρθηκε προτείνονται από τους εμπειρογνώμονες του HRAPIE. Η τιμή 1.0049 του RR αντιπροσωπεύει 0.49% πρόσθετη επίπτωση βρογχίτιδας στον παιδικό πληθυσμό για κάθε 10μg/m³ αύξησης του O₃. Επίσης, 1.0013 και 1.0085 είναι το κατώτερο και το ανώτερο όριο του RR, αντίστοιχα. Ομοίως, το 1.0029 του RR αντιπροσωπεύει 0.29% πρόσθετη επίπτωση βρογχίτιδας στον πληθυσμό των ενηλίκων για κάθε 10μg/m³ αύξησης του O₃. Συνεπώς, 0.9989 και 1.007είναι το κατώτερο και το ανώτερο όριο του RR.

The screenshot shows the 'Detailed Results' tab of the Impact Evaluation software. The 'Health Endpoint' is set to 'Mortality, CVDs'. The 'Incidence (per 100 000 Population at risk per year)' is 345, and the 'Population at risk' is 60000. The 'Calculation Method' is 'log-linear'. The 'Relative Risk' is 1.0049, with a 'Lower' bound of 1.0013 and an 'Upper' bound of 1.0085. The 'Cut-off Value X0' is 0. The 'Mean Concn. X > 70 μg/m³' is 46.2453. A 'Calculate' button is present. Below the inputs, a table shows the results of the calculation:

	Central	Lower	Upper
Estimated Attributable Proportion	2.24%	0.6%	3.84%
Estimated number of Attributable Cases	5	1	8
Estimated number of Attributable Cases per 100,000 Population at Risk	7.71	2.07	13.24

Εικόνα 4.9: Παράθυρο Impact Evaluation (τελικός υπολογισμός)

5. Διαγράμματα και ανάλυση

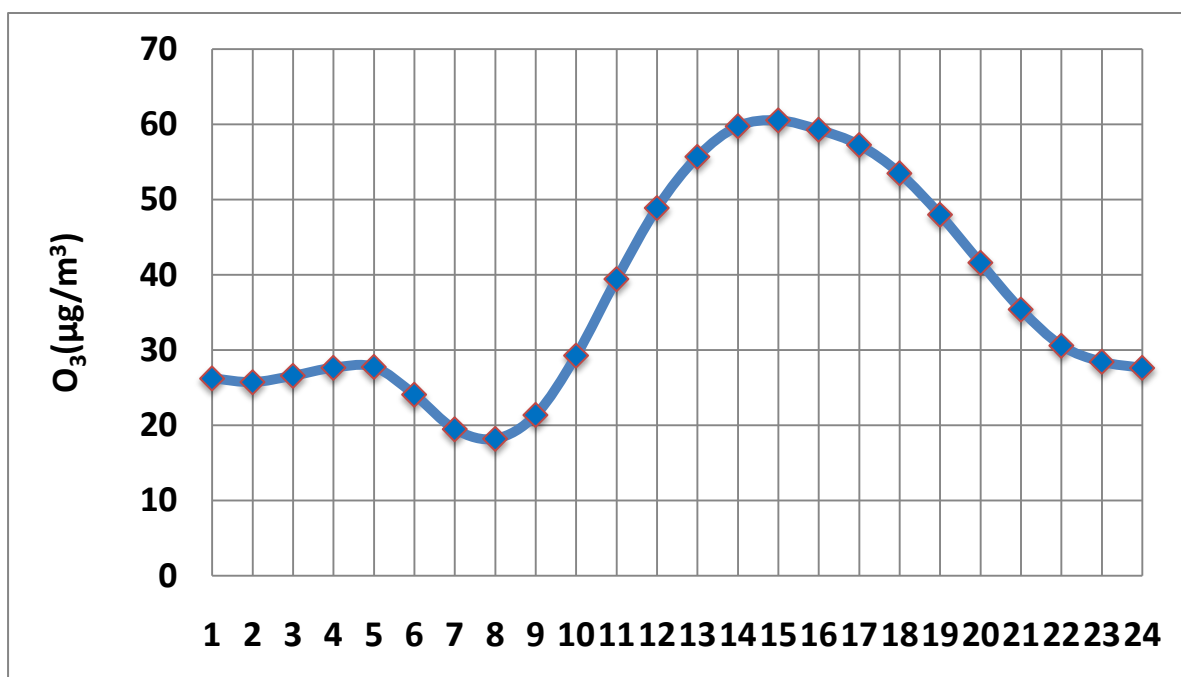
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που αφορούν την διαχρονική μεταβολή των τιμών όζοντος για δεκατρείς σταθμούς μελέτης. Οι τιμές όζοντος οπτικοποιούνται διαχρονικά επιλέγοντας

διαφορετικά χρονικά πρότυπα προκειμένου να δοθεί μια, όσο το δυνατόν πιο εμπειριστατωμένη, εικόνα της μεταβολής των συγκεντρώσεων του ρύπου μελέτης. Οι πληροφορίες που παρέχονται στα διαγράμματα αυτά αφορούν τις συγκεντρώσεις όζοντος κατά τη διάρκεια ενός τυπικού εικοσιτετράωρου σε κάθε σταθμό μελέτης με βάση το αρχείο των ωριαίων τιμών. Επίσης, με βάση το αρχείο του κυλιόμενου 8ωρου παρατίθενται διαγράμματα για τις μέσες, ετήσιες, μηνιαίες και ημερήσιες τιμές καθώς και τις υπερβάσεις που παρατηρηθήκαν. Σύμφωνα με την οδηγία 2008 η τιμή στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας ορίζεται η μέγιστη ημερήσια μέση τιμή κυλιόμενου 8ωρου ίση με $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση αυτής τιμής για περισσότερες από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος και για διάστημα 3 ετών (ΦΕΚ 2008)[30].

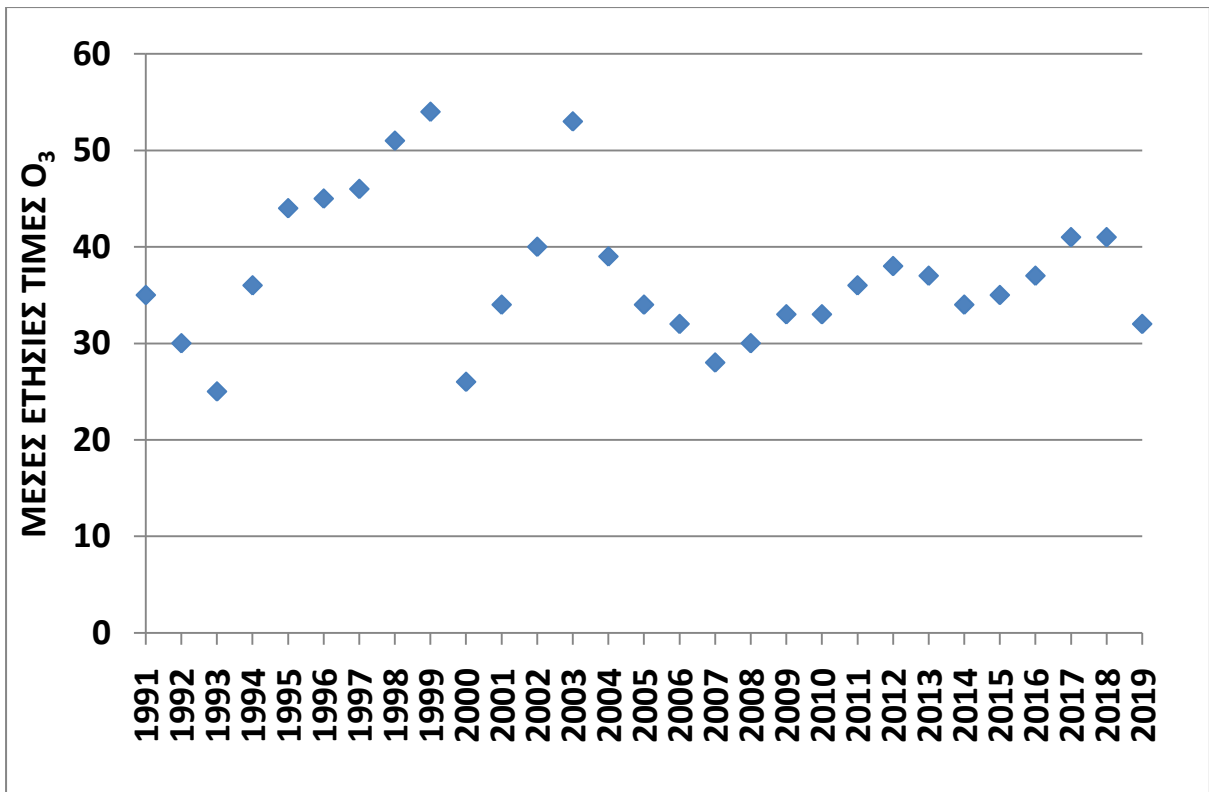
Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τις περιπτώσεις θανάτων από καρδιακά (CDV) και αναπνευστικά επεισόδια (RESPIRATORY) ανά 100.000 περιπτώσεις σύμφωνα με τα αποτελέσματα του AIQ+ .

Μετά ακολουθεί σχολιασμός των διαγραμμάτων προκειμένου να γίνει ευκολότερη η ερμηνεία τους και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

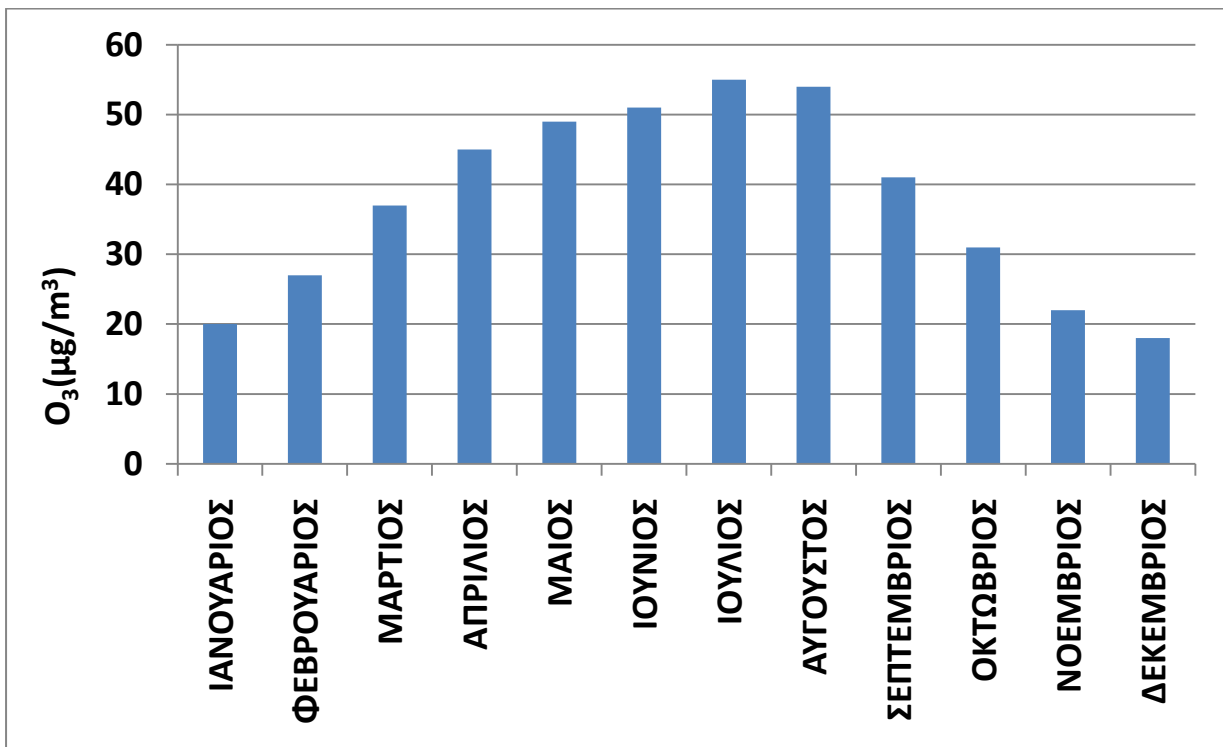
5.1 Σταθμός Αθηνάς



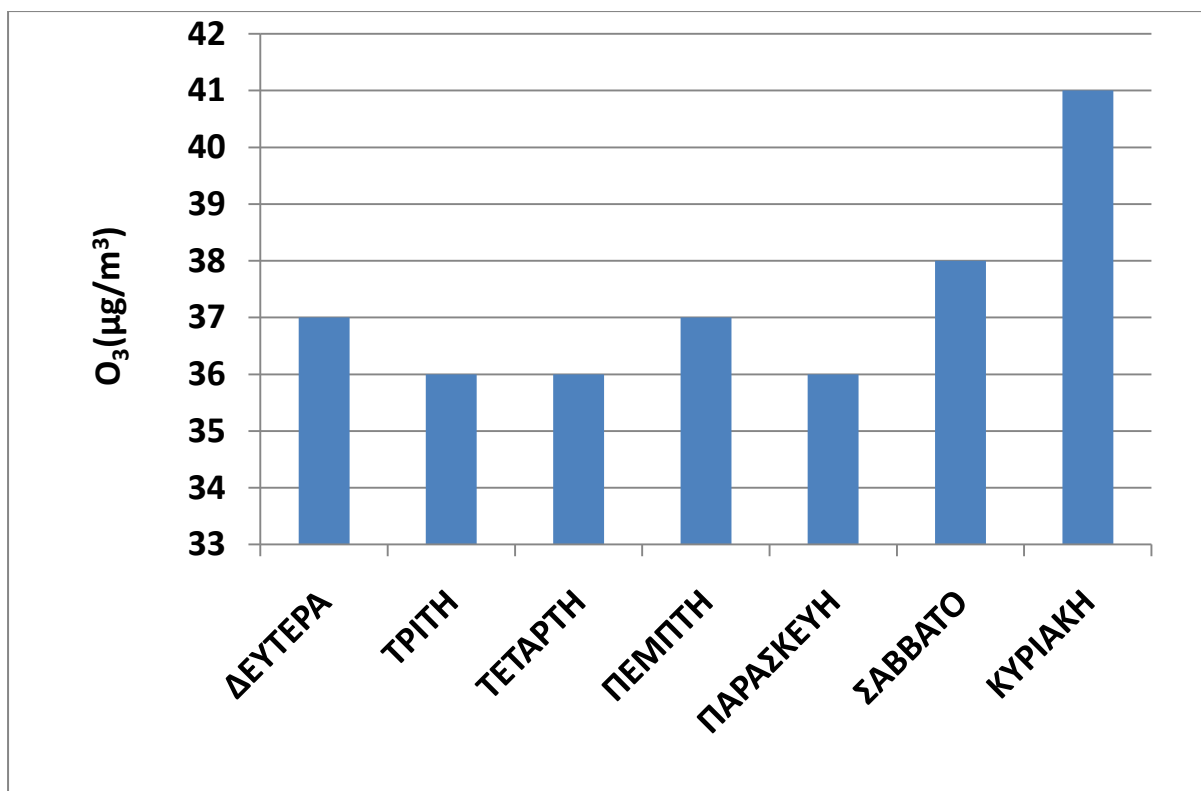
Διάγραμμα 5.1.1 : Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αθηνάς



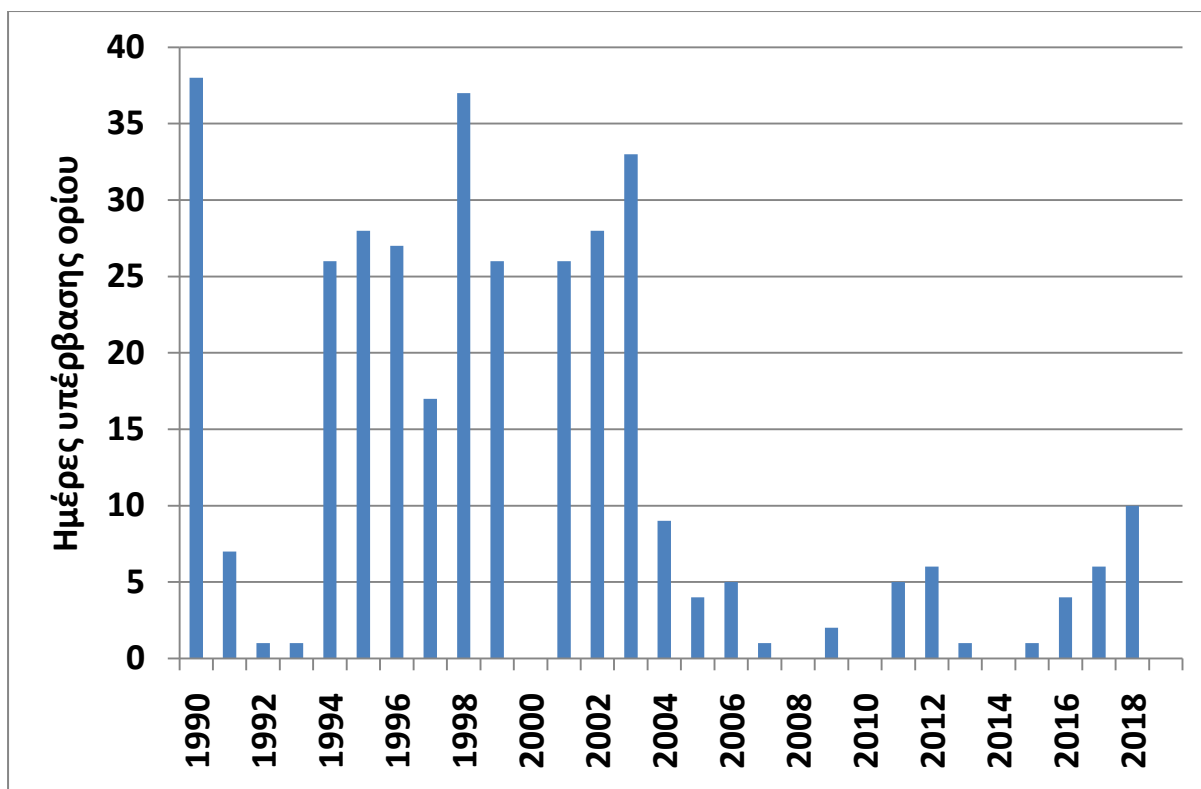
Διάγραμμα 5.1.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς



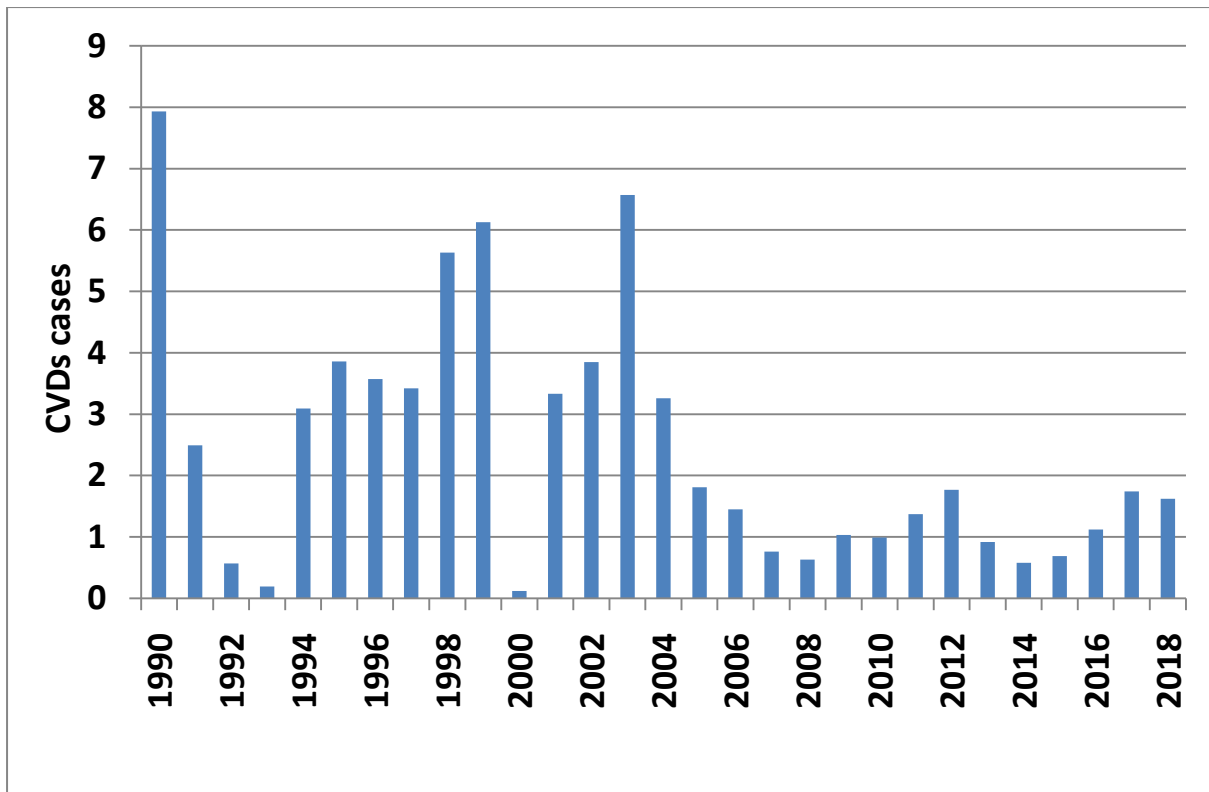
Διάγραμμα 5.1.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς



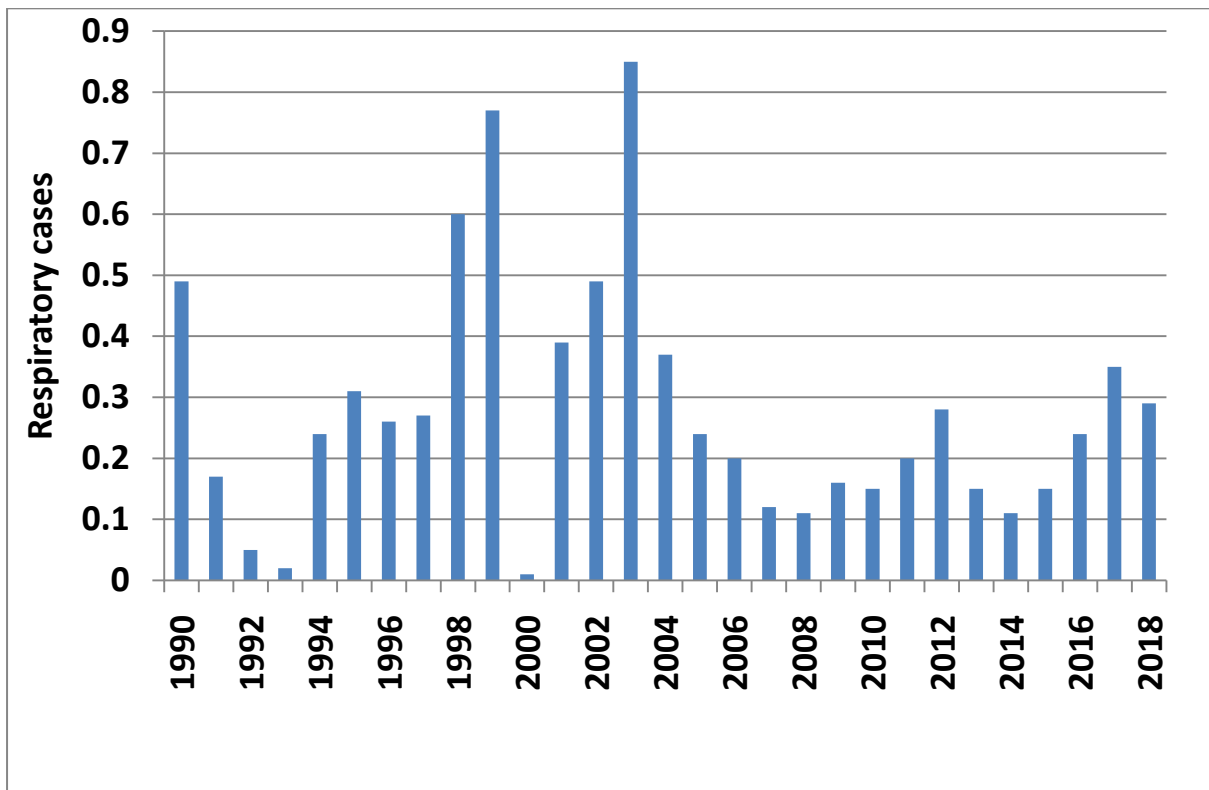
Διάγραμμα 5.1.4 : Μέσες Ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αθηνάς



Διάγραμμα 5.1.5 : Υπερβάσεις στο σταθμό Αθηνάς



Διάγραμμα 5.1.6 : CVDs cases στο σταθμό Αθηνάς

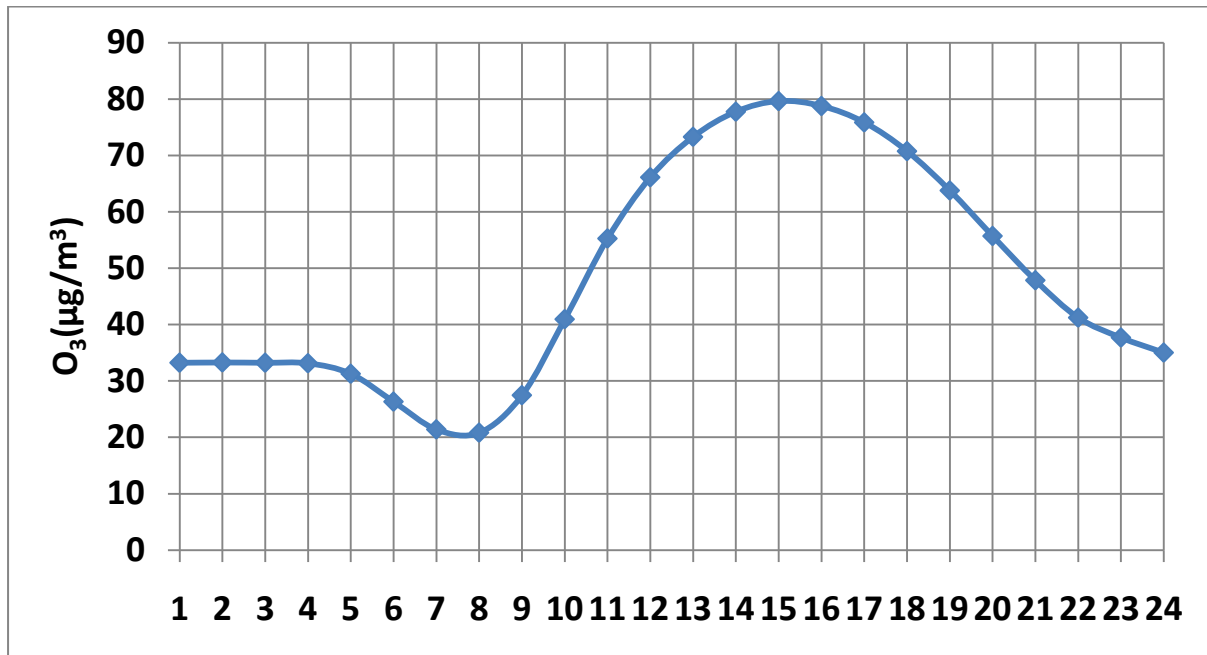


Διάγραμμα 5.1.7 : Respiratory cases στο σταθμό Αθηνάς

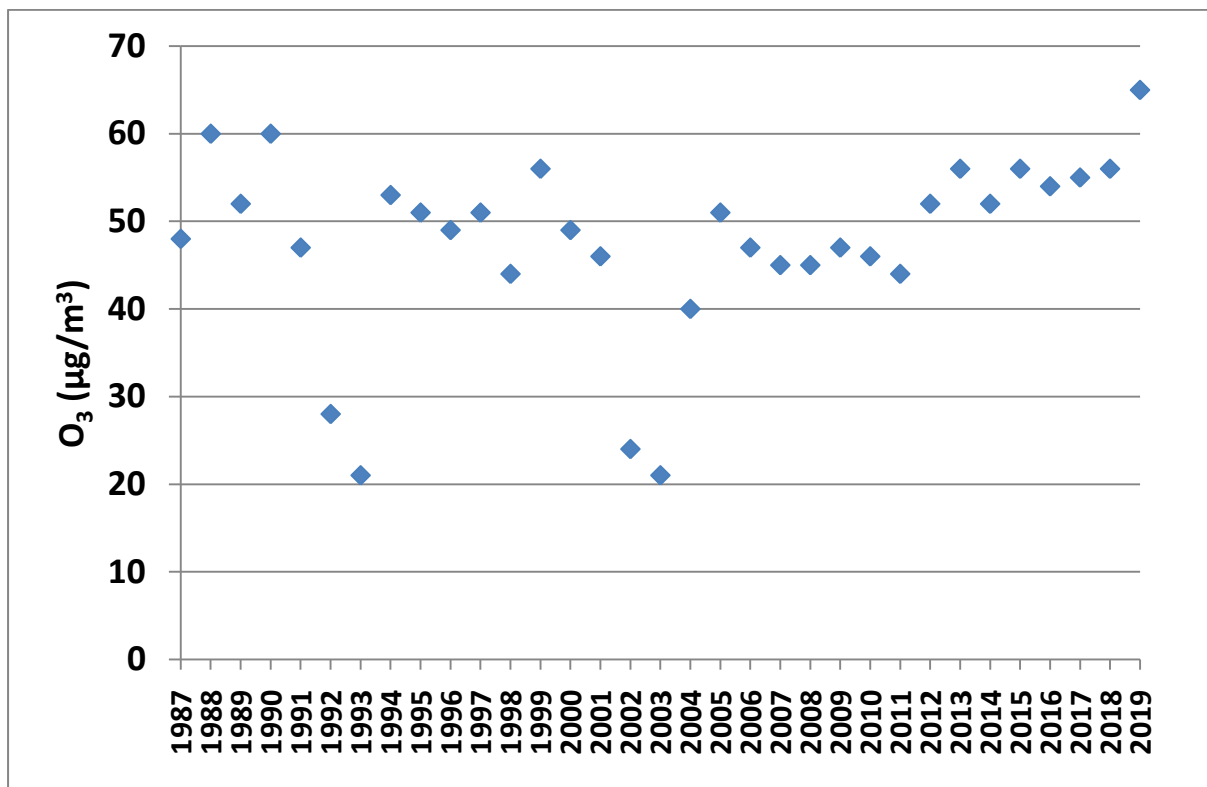
Στον σταθμό Αθηνάς παρατηρούμε ότι σε ένα τυπικό 24ωρο, οι συγκεντρώσεις του όζοντος δεν ξεπερνούν τα $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και υπάρχει αύξηση του ρύπου στις ώρες αιχμής 9 το πρωί με 10 το βράδυ. Αυτό συμβαίνει διότι ο συγκεκριμένος σταθμός χαρακτηρίζεται αστικός – κυκλοφορίας και βρίσκεται κοντά στην οδό Αθηνάς, η οποία είναι μια από τις κεντρικές οδικές αρτηρίες της Αθήνας και ενώνει την Ομόνοια με το Μοναστηράκι. Οπότε λόγω της αυξημένης κίνησης και των ρύπων από τα αυτοκίνητα, στο διάστημα 9:00-22:00 οι τιμές του όζοντος εμφανίζουν αύξηση.

Στο διάγραμμα της μέσης ετήσιας διακύμανσης του O_3 παρατηρούμαι ότι από το 1990 μέχρι το 2003 υπήρχαν έτη που οι μέσες ετήσιες τιμές O_3 ξεπερνούσαν τα $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και άγγιζαν μέχρι και τα $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Από το 2004 και μετά όμως οι τιμές κυμαίνονται από 29 έως 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός της περαιτέρω επέκτασης των γραμμών του μετρό καθώς και στην βελτίωση των έτερων ΜΜΜ όπως είναι τα λεωφορεία, τα τραμ κλπ. Οι μέσες μηνιαίες τιμές παρουσιάζουν έξαρση τις θερμές περιόδους της άνοιξης και του καλοκαιριού, δηλαδή στο διάστημα Μάρτιος-Σεπτέμβριος, καθώς ο ρύπος ευνοείται από την ηλιακή ακτινοβολία και τις υψηλές θερμοκρασίες. Όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες τιμές, βλέπουμε ότι το Σαββατοκύριακο υπάρχει σημαντική αύξηση στις μετρήσεις του ρύπου, καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι περισσότεροι κάτοικοι της Αθήνας και όχι μόνο, αποφασίζουν εκείνες τις μέρες να βγουν στο Μοναστηράκι, στο Σύνταγμα και στην Ομόνοια και έτσι οι δρόμοι της πρωτεύουσας, όπως και η οδός Αθηνάς εν προκειμένο, κατακλύζονται από αυτοκίνητα τα οποία ενισχύουν την παρουσία του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Τέλος αρκετές υπερβάσεις εμφανίζονται στο διάστημα 1990-2003 για τους ίδιους λόγους που αναλύθηκαν στις μέσες ετήσιες τιμές και οι οποίες υπερβαίνουν τις 25 φορές ετησίως και αγγίζουν μέχρι και τις 40 φορές σε κάποια έτη. Για τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality τα οποία δημιουργήθηκαν με τα αποτελέσματα από το AirQ+, αξίζει να σημειωθεί ότι τα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση τόσο μεταξύ τους, όσο και με αυτό των ημερών υπέρβασης του ορίου συγκέντρωσης, γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι όζον επιβαρύνει την υγεία και προκαλεί θανάτους που σχετίζονται με καρδιοαναπνευστικά αίτια. Τα επεισόδια θανάτων CVDs είναι περισσότερα σε σχέση με τα Respiratory mortality. Το ίδιο ισχύει τόσο για τον σταθμό της Αθηνάς όσο και για τους υπόλοιπους σταθμούς μέτρησης.

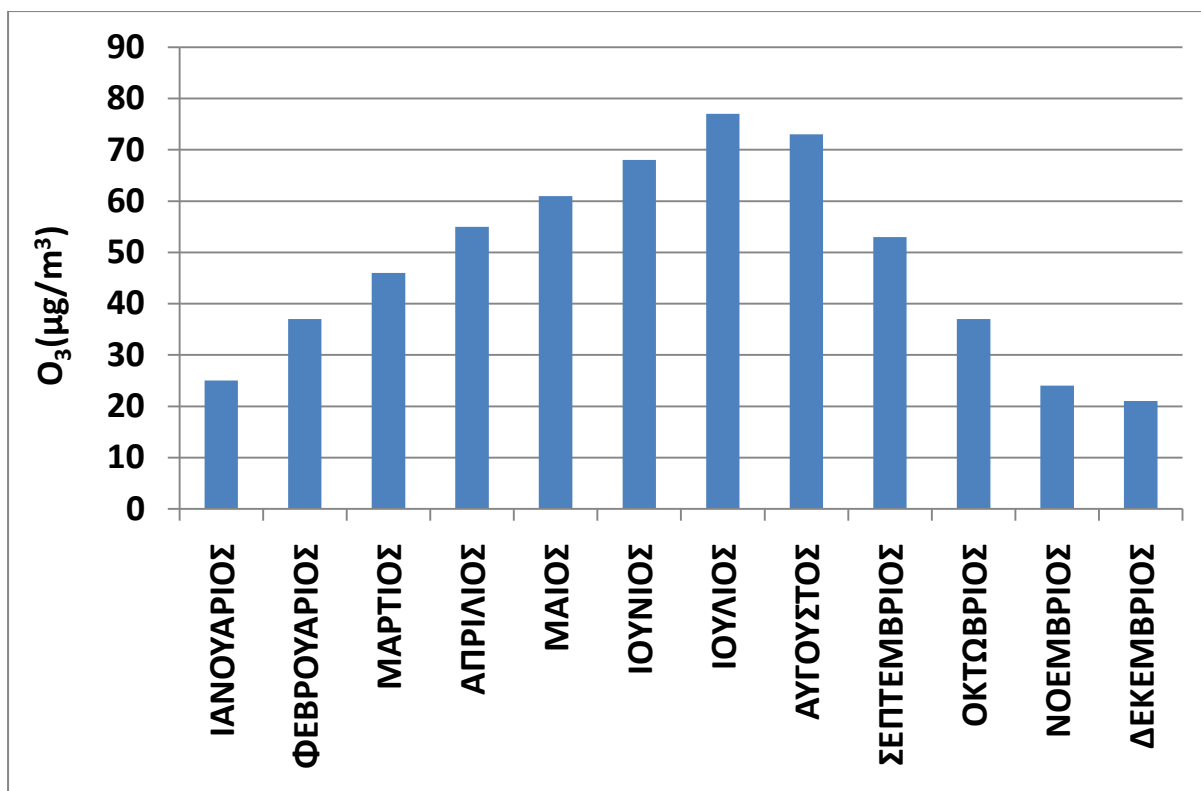
5.2 Σταθμός Γεωπονικής



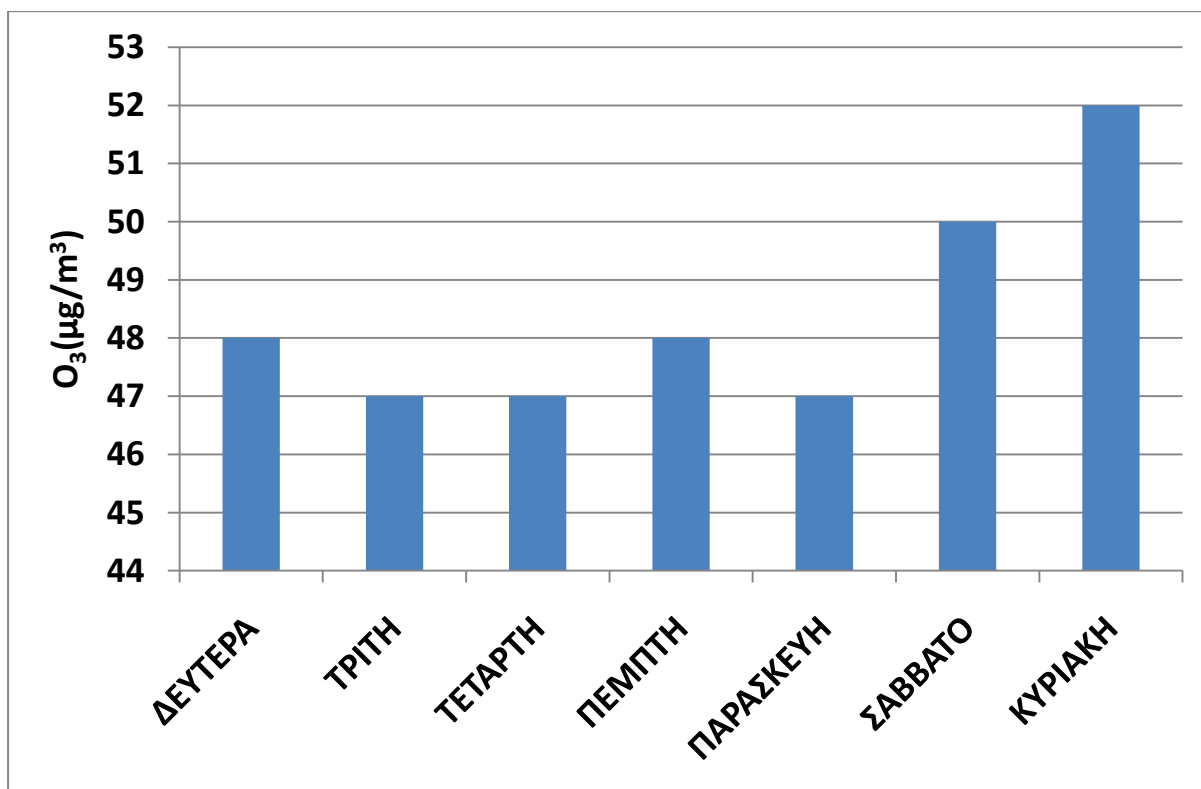
Διάγραμμα 5.2.1: Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Γεωπονικής



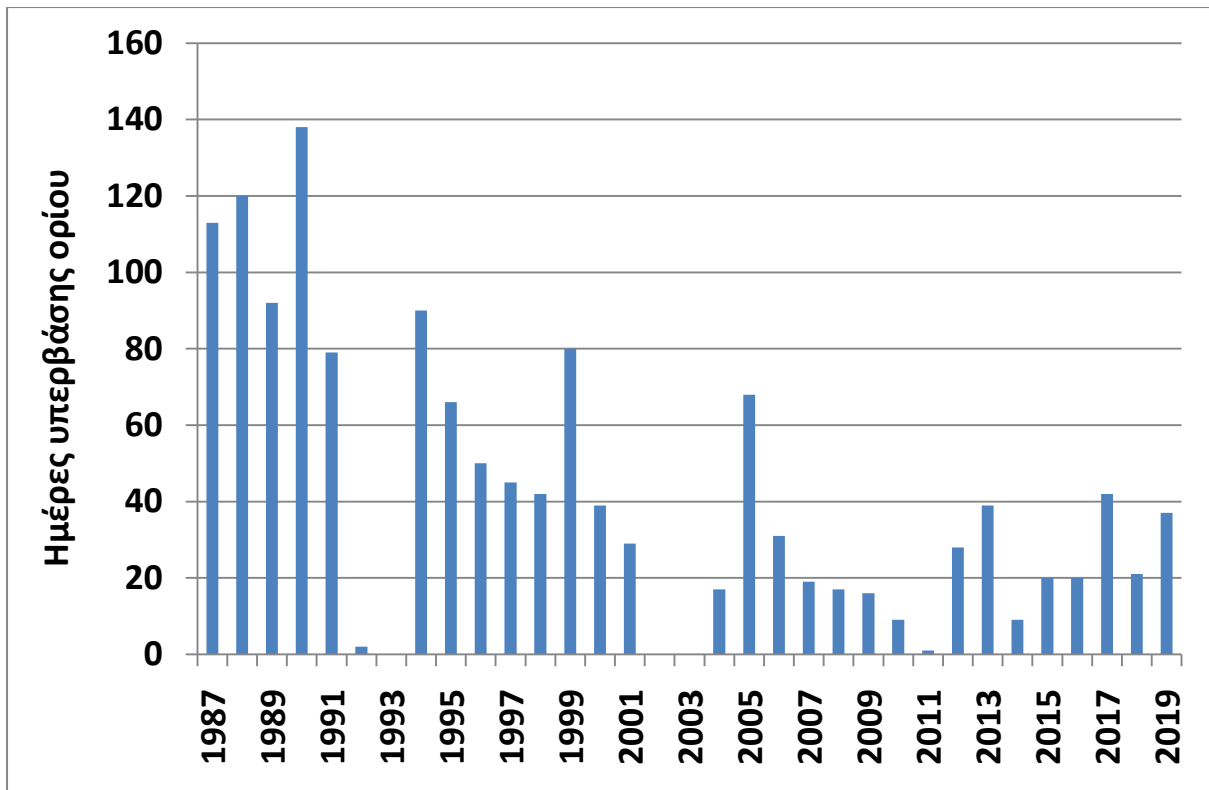
Διάγραμμα 5.2.2 : Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στον σταθμό Γεωπονικής



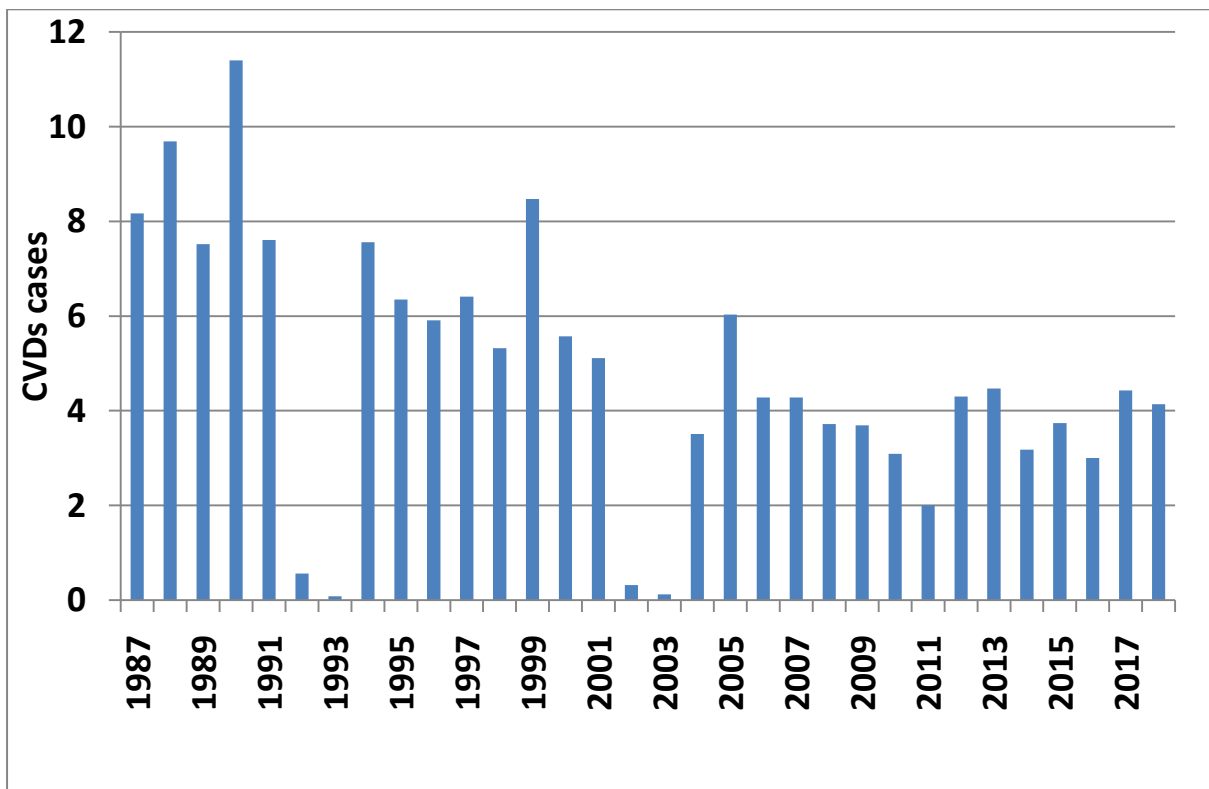
Διάγραμμα 5.2.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στον σταθμό Γεωπονικής



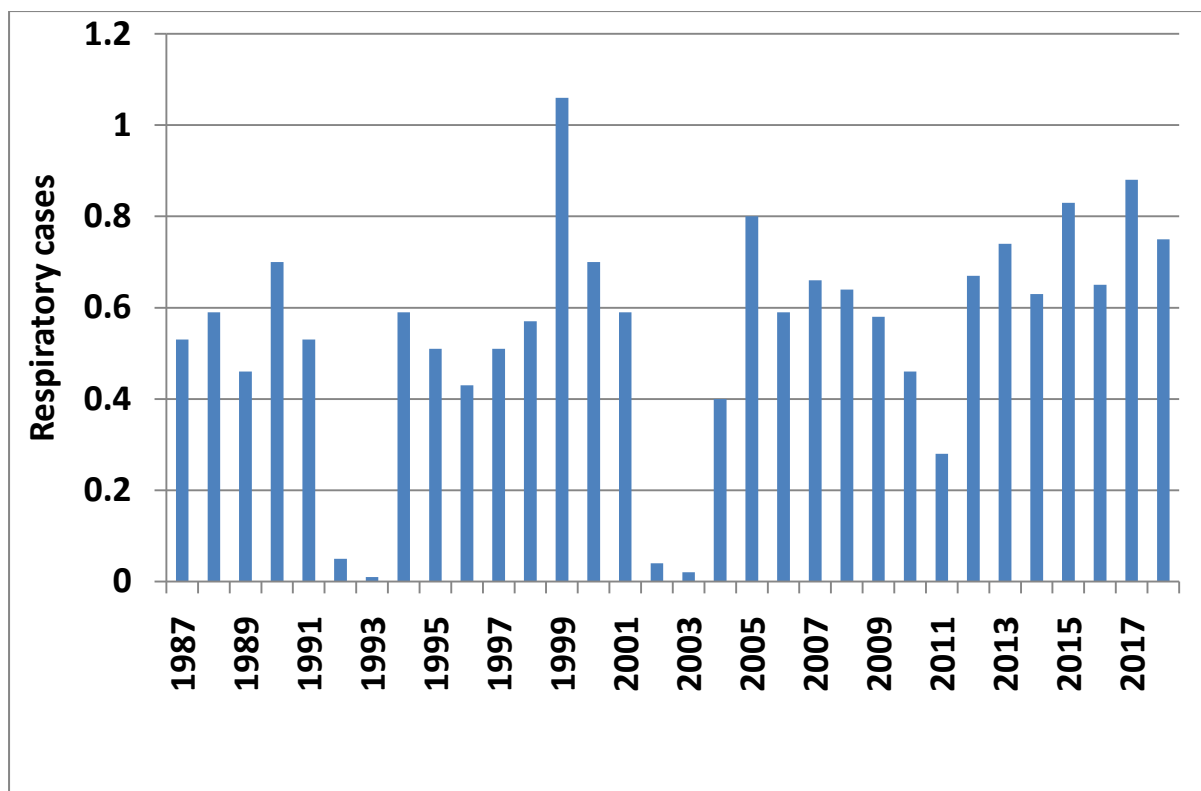
Διάγραμμα 5.2.4 : Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στον σταθμό Γεωπονικής



Διάγραμμα 5.2.5: Υπερβάσεις στο σταθμό Γεωπονικής



Διάγραμμα 5.2.6 : CVDs cases στο σταθμό Γεωπονικής



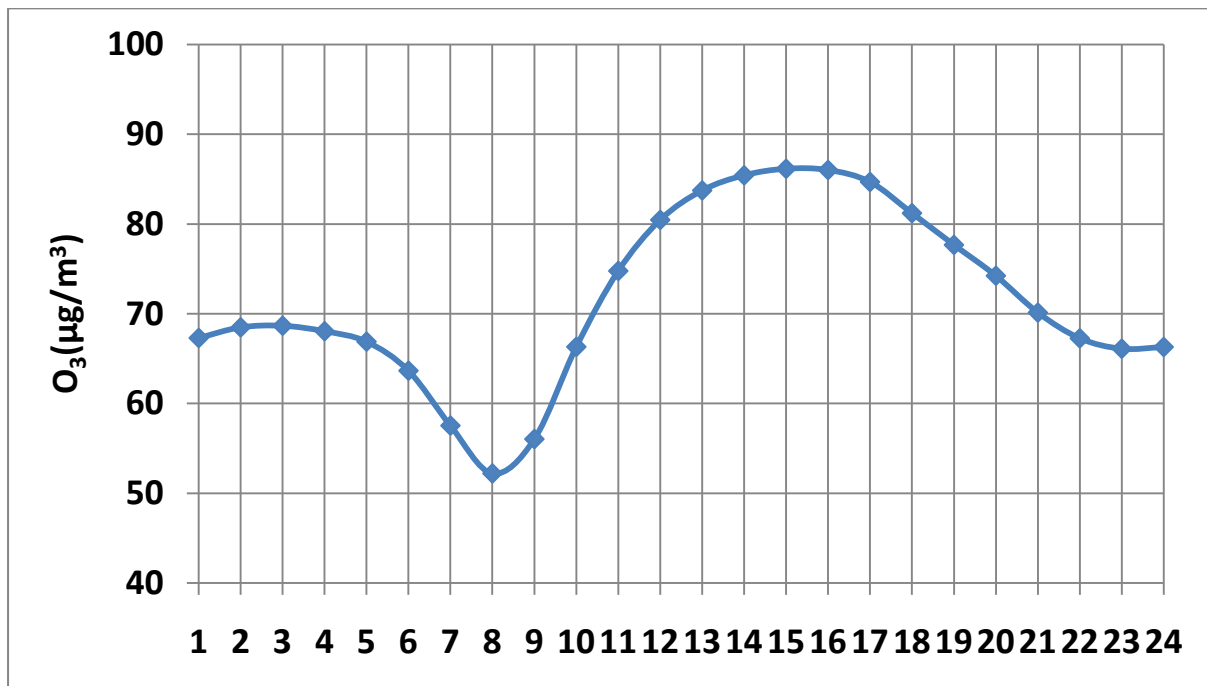
Διάγραμμα 5.2.7 : Respiratory cases στο σταθμό Γεωπονικής

Για τον σταθμό Γεωπονική στον διάγραμμα του τυπικού 24ωρου παρατηρούμαι ότι οι τιμές του ρύπου εμφανίζουν μέγιστο στα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο χρονικό διάστημα 14:00-16:00 αλλά και μια γενικότερη αύξηση από τις 9 το πρωί έως και τις 10 το βράδυ λόγω της αυξημένης κυκλοφορίας. Ο σταθμός αυτός χαρακτηρίζεται ως περιαστικός – βιομηχανικός και βρίσκεται σε ακτίνα μικρότερη του ενός χιλιομέτρου από βιομηχανική περιοχή με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την παρουσία της βιομηχανίας γαλακτοκομικών ΕΜΦΙ Α.Ε (πρώην ΕΒΓΑ). Γενικά στις περιαστικές περιοχές παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση όζοντος εξαιτίας του φωτοχημικού χαρακτήρα του ρύπου.

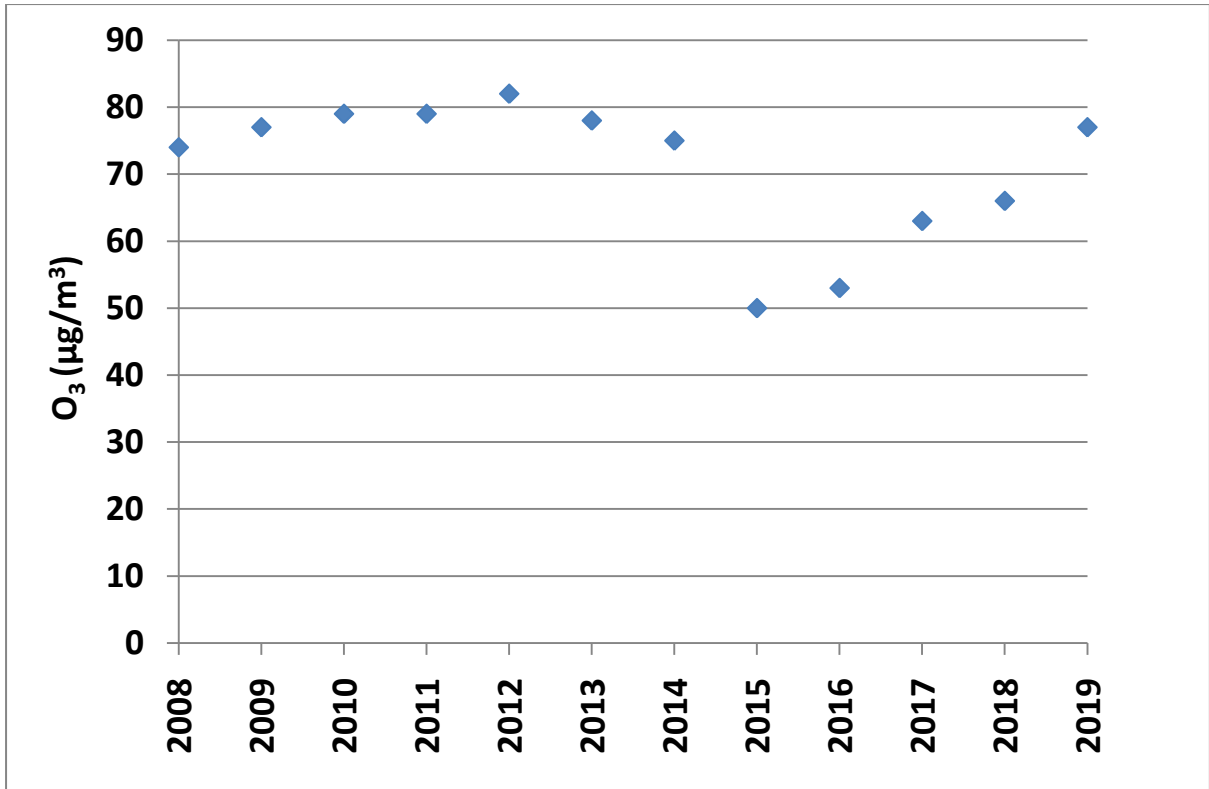
Στο διάγραμμα το μέσων ετήσιων τιμών O_3 παρατηρούμε ότι από το 1987-2019 οι μέσες ετήσιες τιμές O_3 ξεπερνούν τα 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά κύριο λόγο και σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζουν και τα 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ όπως ακριβώς και στην Αθήνα αλλά με μεγαλύτερη συχνότητα στον σταθμό της Γεωπονικής. Στο επόμενο διάγραμμα, οι μέσες μηνιαίες τιμές εμφανίζουν αυξητική τάση τους θερμούς μήνες Μάρτιο – Σεπτέμβριο και κυμαίνονται από 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ως 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ειδικά το καλοκαίρι λόγω και της υψηλής ηλιοφάνειας, οι τιμές του ρύπου αυξάνονται σημαντικά. Στο διάγραμμα της εβδομαδιαίας διακύμανσης παρατηρούμε, ότι όπως συμβαίνει στο σταθμό Αθηνάς, έτσι και σ' αυτό οι μέσες ωριαίες τιμές μεγιστοποιούνται το Σαββατοκύριακο. Γεγονός που δικαιολογείται, καθώς η Γεωπονική βρίσκεται στην Ιερά Οδό, μια οδική αρτηρία η οποία φημίζεται για την αυξημένη κίνηση και τις ουρές χιλιομέτρων των αυτοκινήτων. Οι υπερβάσεις εμφανίζουν υψηλές τιμές από το 1987 έως το 1991 και έπειτα με εξαίρεση τα έτη 1994,1995 και 2005, οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Το 1990 παρατηρούμε ότι η τιμή του όζοντος άγγιξε τα 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, μία πολύ υψηλή τιμή η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας σε ευαίσθητες ομάδες

του πληθυσμού. Τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση τόσο μεταξύ τους όσο και με αυτό των ημερών υπέρβασης του ορίου συγκέντρωσης γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι όζον επιβαρύνει την υγεία και προκαλεί θανάτους που σχετίζονται με καρδιοαναπνευστικά αίτια. Παρατηρούμε επίσης ότι είναι περισσότεροι οι θάνατοι που προκαλούνται από καρδιακά προβλήματα σε σχέση με τα αναπνευστικά και είναι πιο αυξημένα σε σχέση με το σταθμό Αθηνάς.

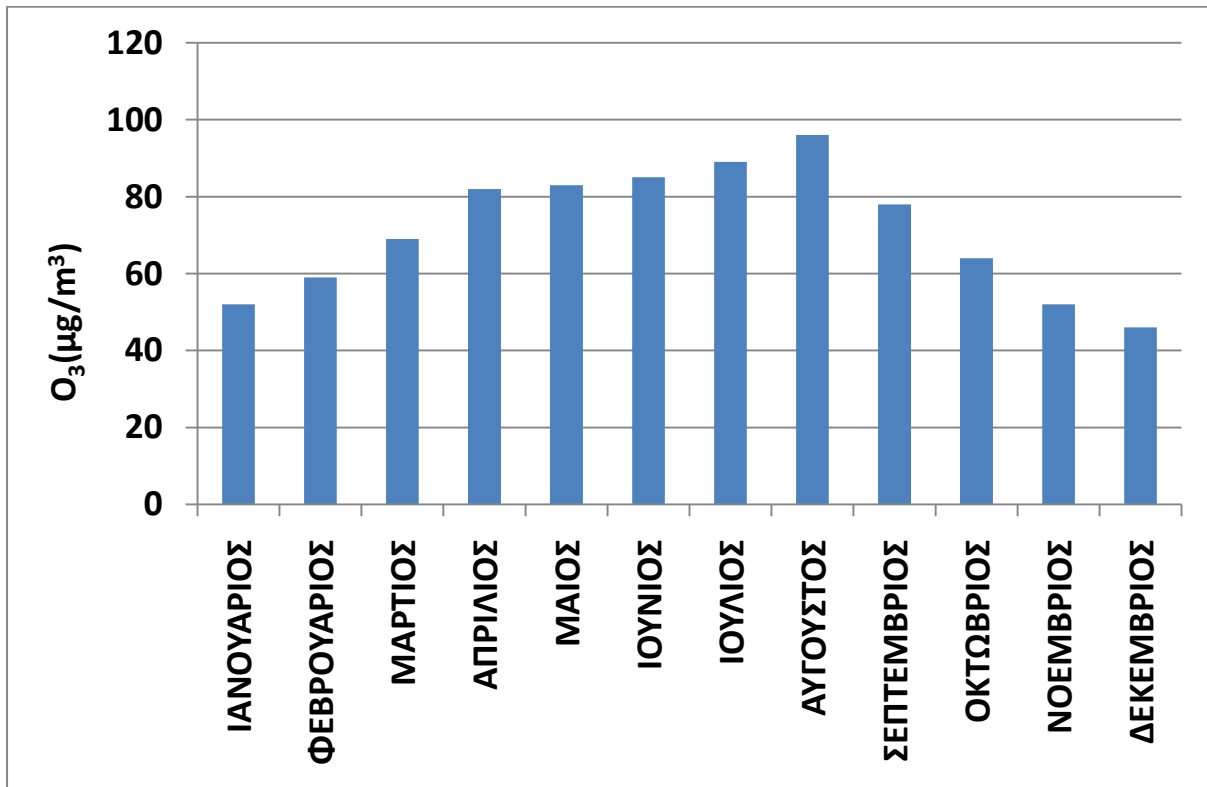
5.3 Σταθμός Κορωπίου



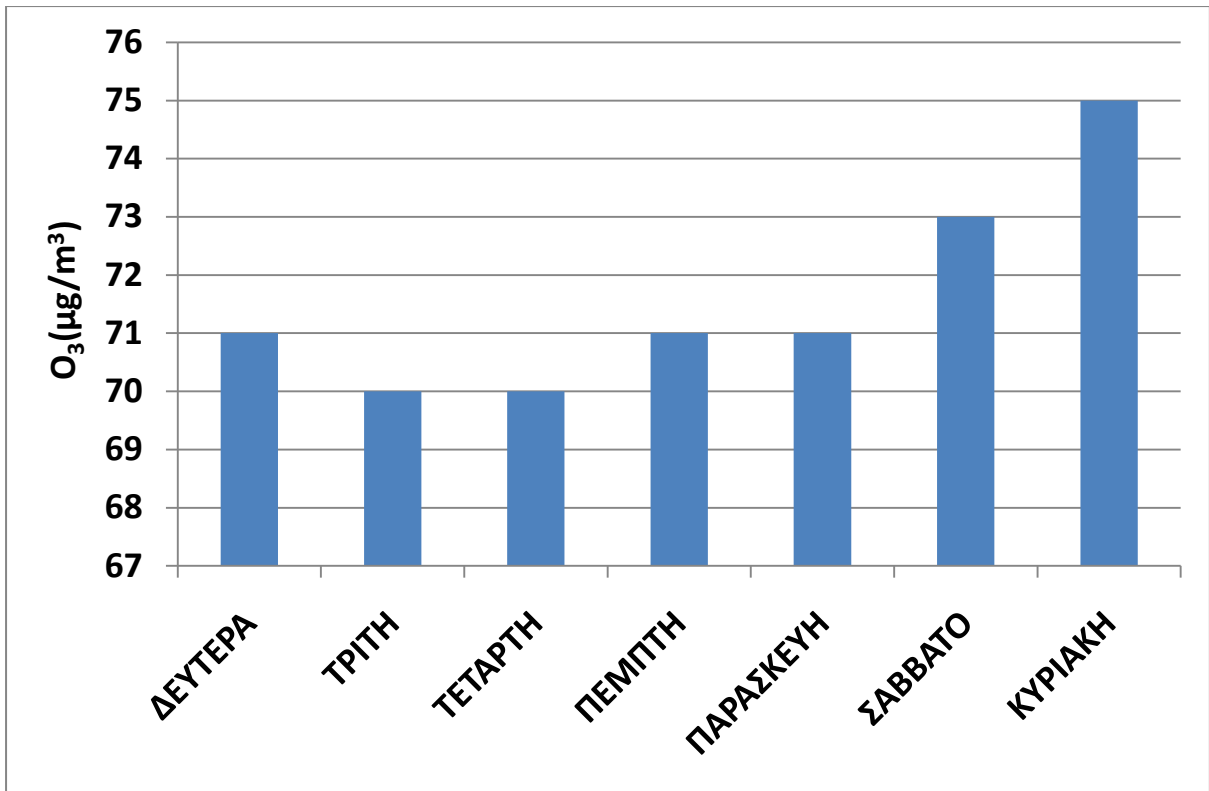
Διάγραμμα 5.3.8 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Κορωπίου



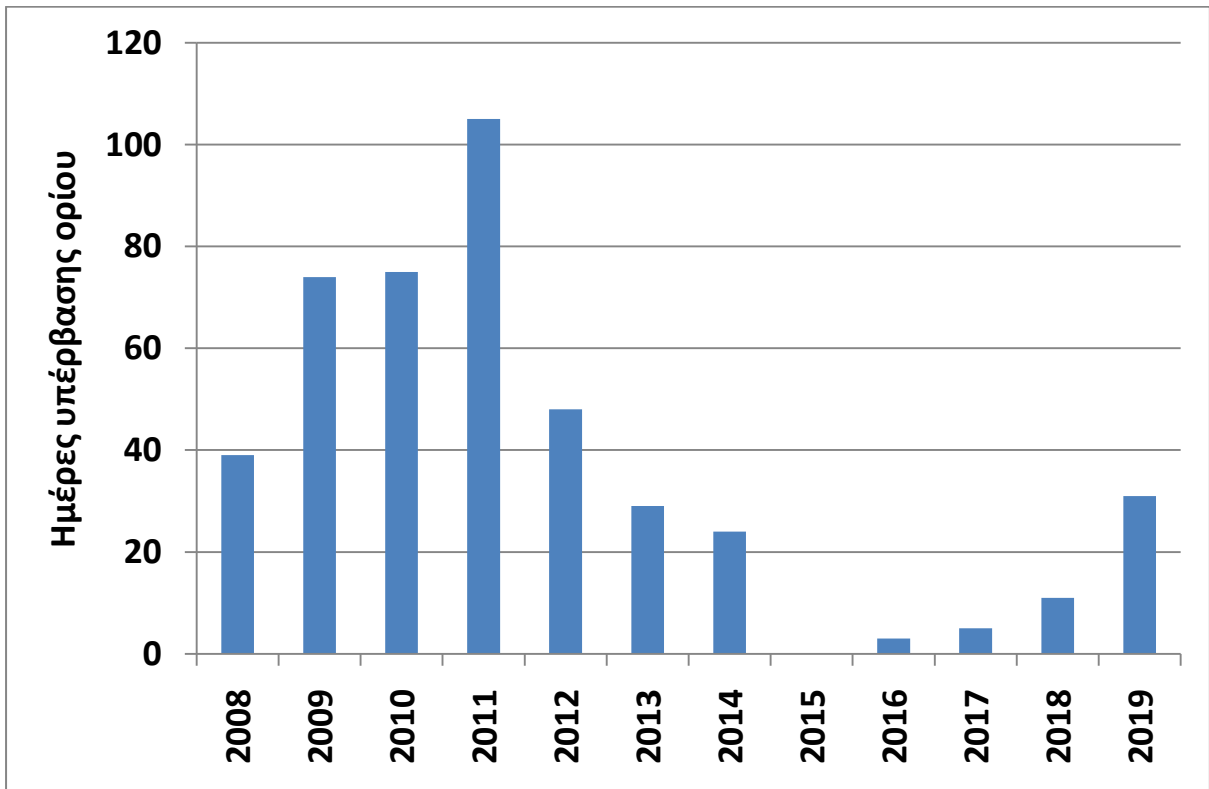
Διάγραμμα 5.3.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου



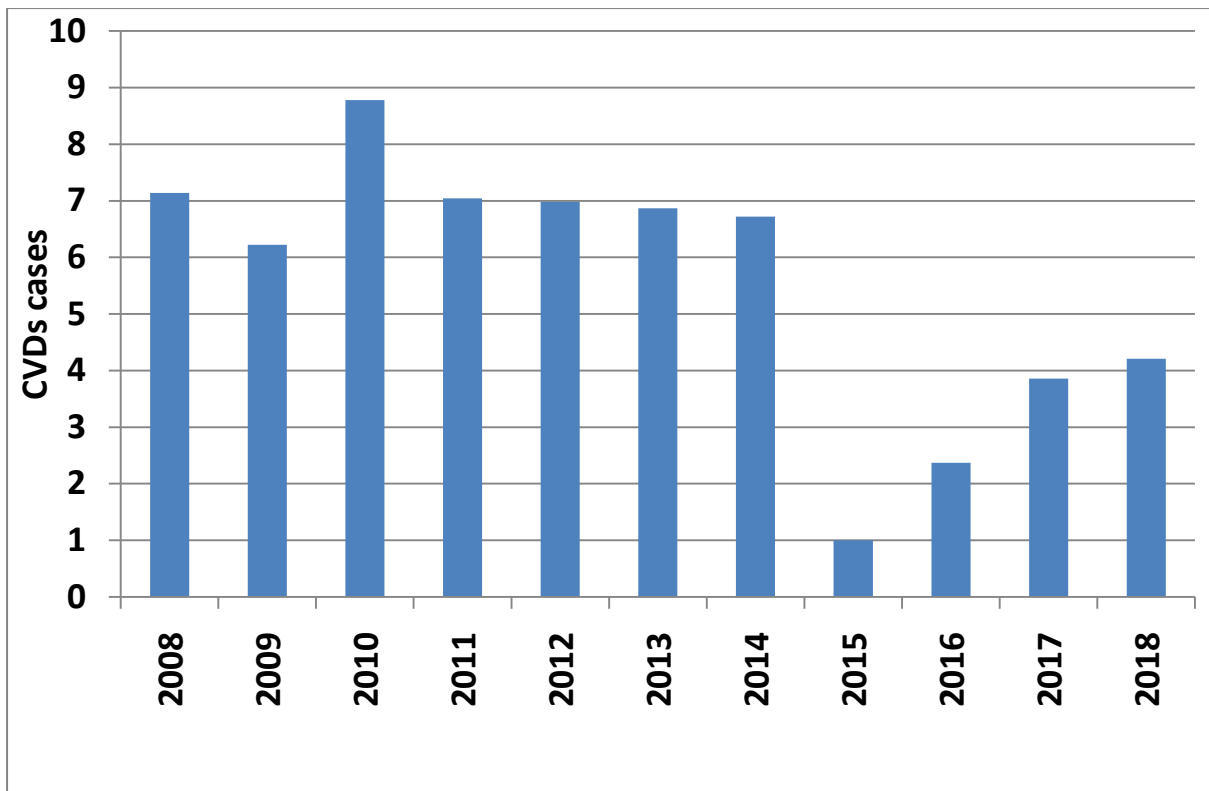
Διάγραμμα 5.3.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου



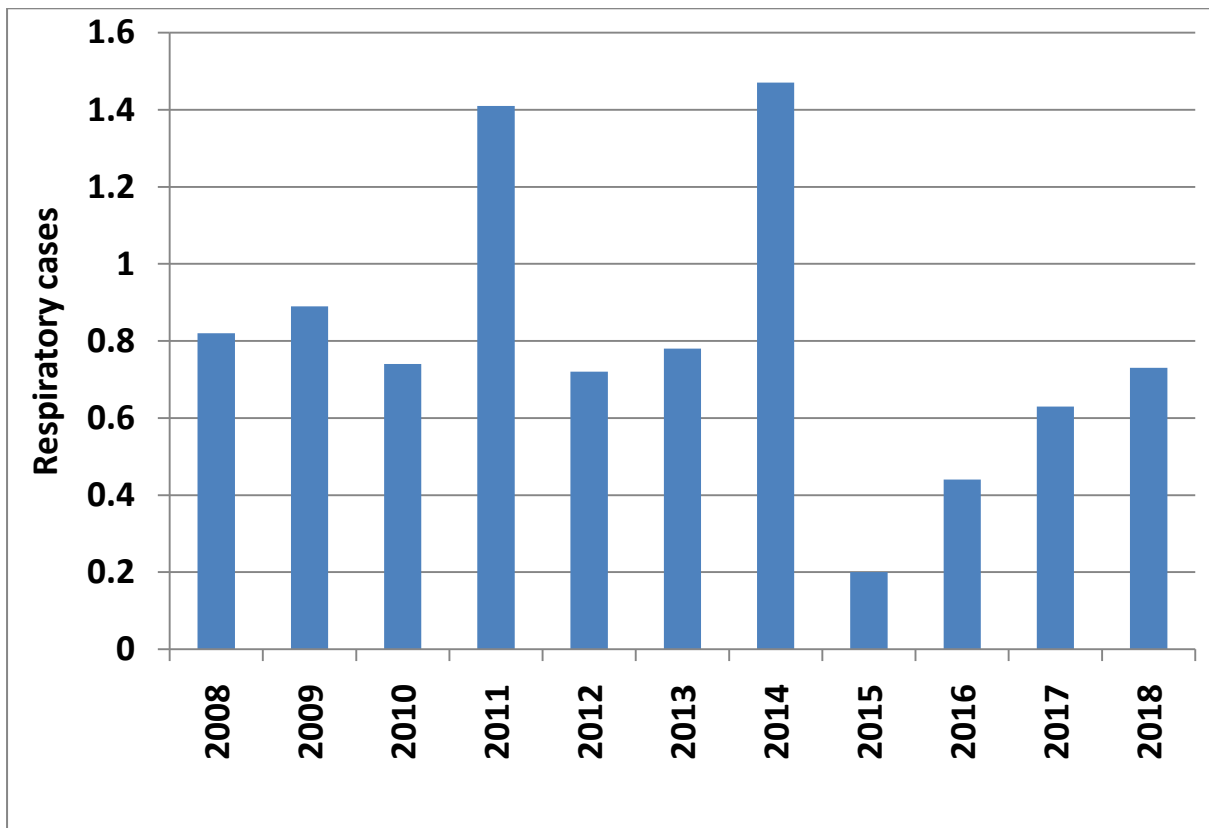
Διάγραμμα 5.3.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Κορωπίου



Διάγραμμα 5.3.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Κορωπίου



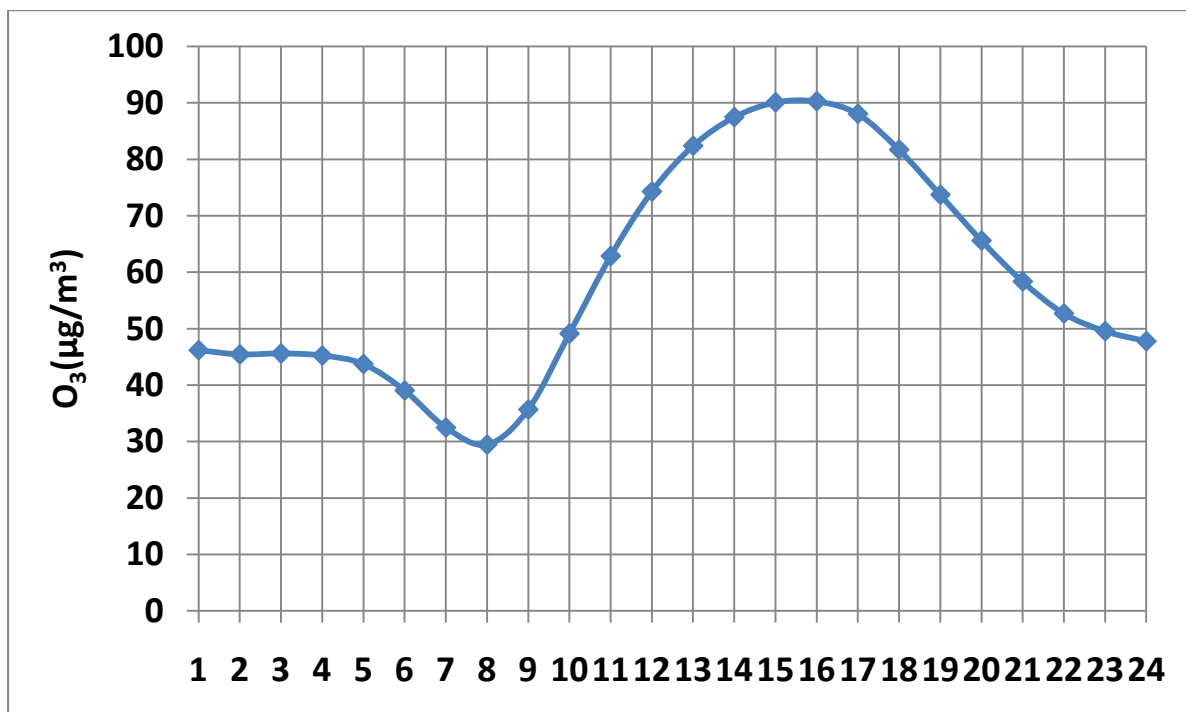
Διάγραμμα 5.3.6 CVDs cases στο σταθμό Κορωπίου



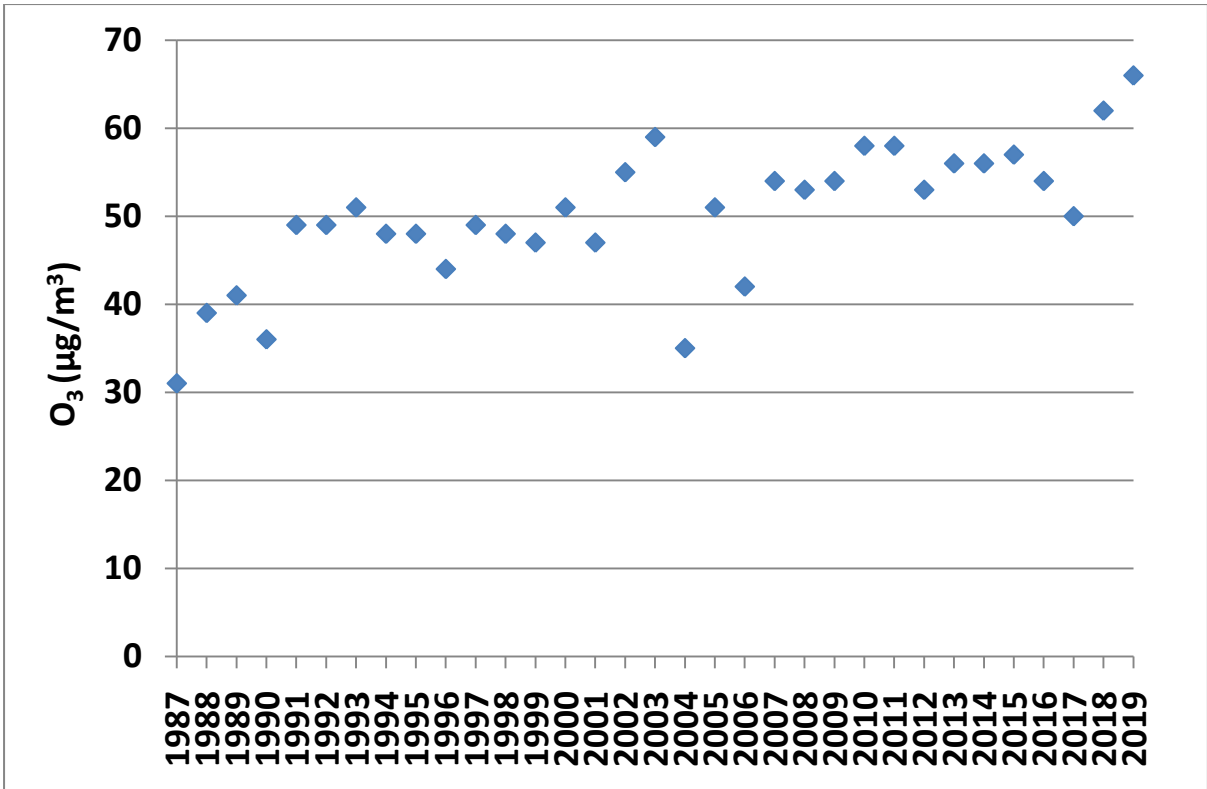
Διάγραμμα 5.3.7 Respiratory cases στο σταθμό Κορωπίου

Αναλύοντας τα διαγράμματα του σταθμού Κορωπί εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα. Το Κορωπί όντας ένας περιαστικός – υποβάθρου σταθμός εμφανίζει υψηλές ωριαίες τιμές εντός τυπικού 24ωρου. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ τις βραδινές και τις πρώτες πρωινές ώρες, έως 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ τις ώρες αιχμής 13:00-17:00. Ο σταθμός βρίσκεται τοποθετημένος στην οδό Νικολάου Κουλοχέρη, μία οδό που βρίσκεται κοντά στην πλατεία και το πάρκο Δεξαμενής. Έχει δηλαδή εγκατασταθεί σε αστικό κέντρο και ως γνωστόν περίξ κάθε πλατείας και πάρκου υπάρχει αυξημένη κίνηση οχημάτων. Για το διάστημα 2008-2019 οι μέσες ετήσιες τιμές κυμαίνονται κατά βάση σε ένα φάσμα τιμών 70-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, με τα έτη 2015 και 2016 να παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές. Οι μέσες μηνιαίες τιμές ως είθισται έχουν αυξητική τάση από τον Μάρτιο και φθίνουν τον Σεπτέμβριο. Εν αντιθέσει με τους προηγούμενους σταθμούς όμως, στο σταθμό Κορωπί παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει τόσο μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στους χειμερινούς και τους θερινούς μήνες, με τον Αύγουστο να εμφανίζει την μέγιστη τιμή των 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα Σαββατοκύριακα όπως πάντα ο ρύπος μεγιστοποιείται και αγγίζει μέχρι και τα 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ την Κυριακή. Όσον αφορά τις υπερβάσεις, την τετραετία 2009-2012 σημειώνονται πολύ μεγάλες υπερβάσεις πάνω από το όριο των 25 φορών ανά έτος και συγκεκριμένα το 2011 η τιμή του όζοντος ξεπέρασε 100 φορές. Τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality παρουσιάζουν και αυτά μείωση στις τιμές τους τα έτη 2015 και 2016.

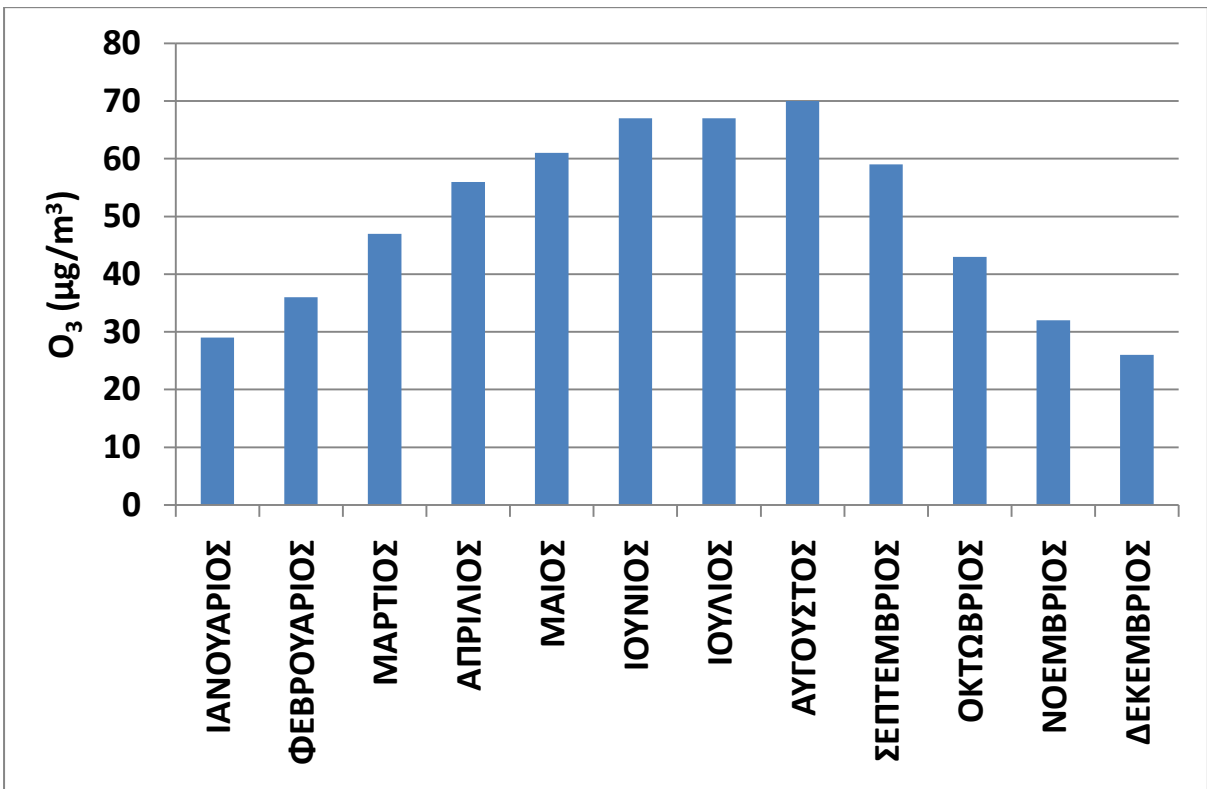
5.4 Σταθμός Νέας Σμύρνης



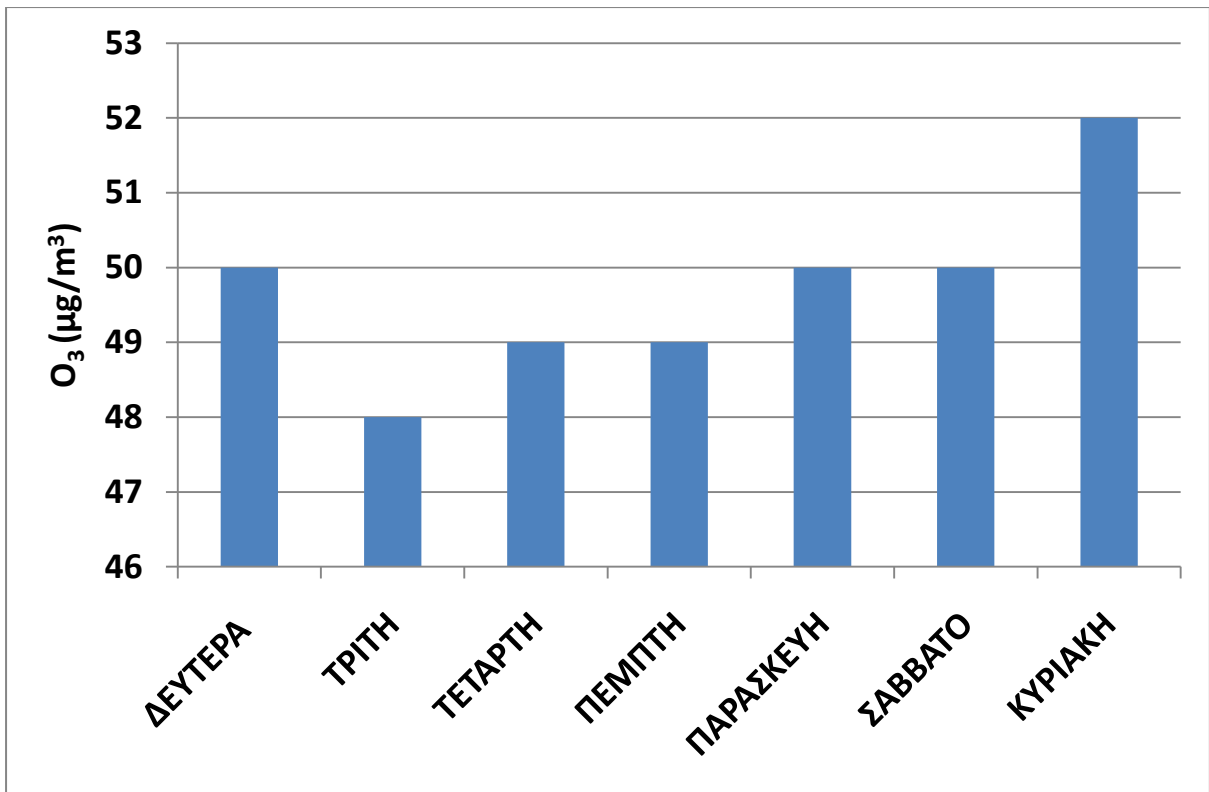
Διάγραμμα 5.4.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Νέας Σμύρνης



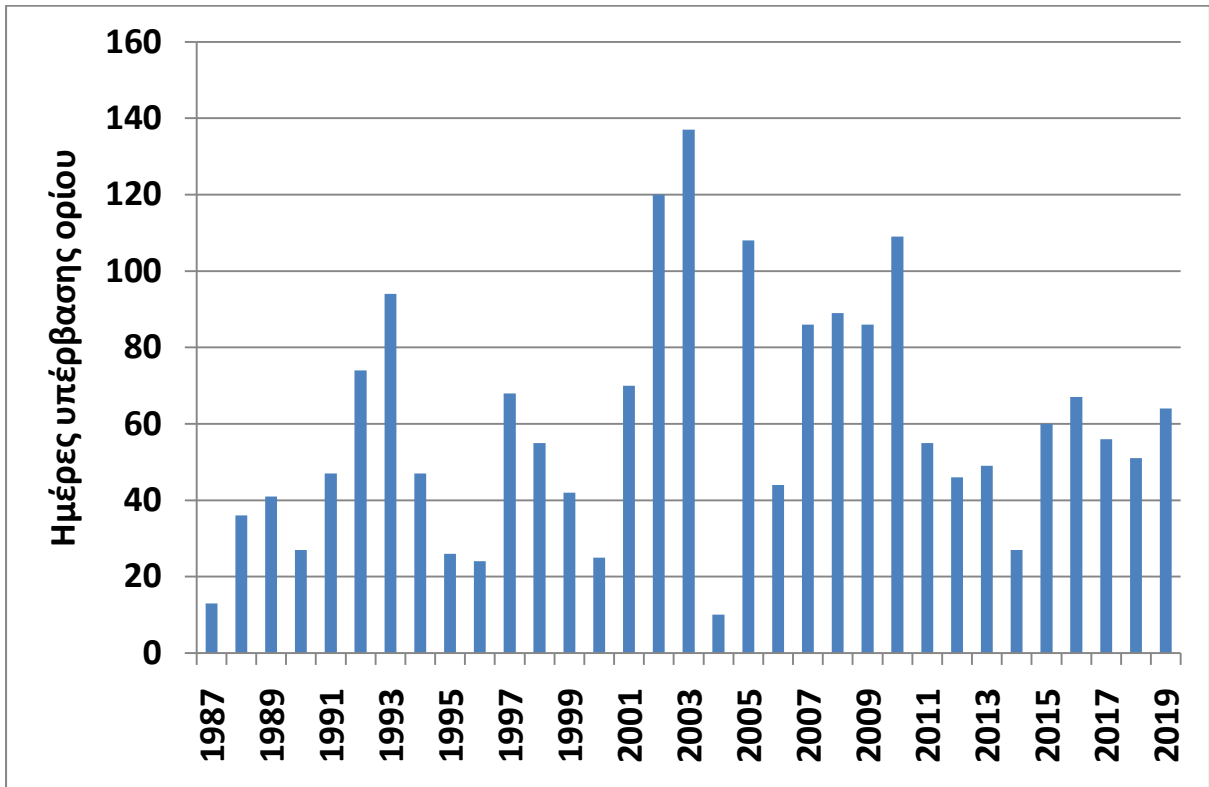
Διάγραμμα 5.4.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης



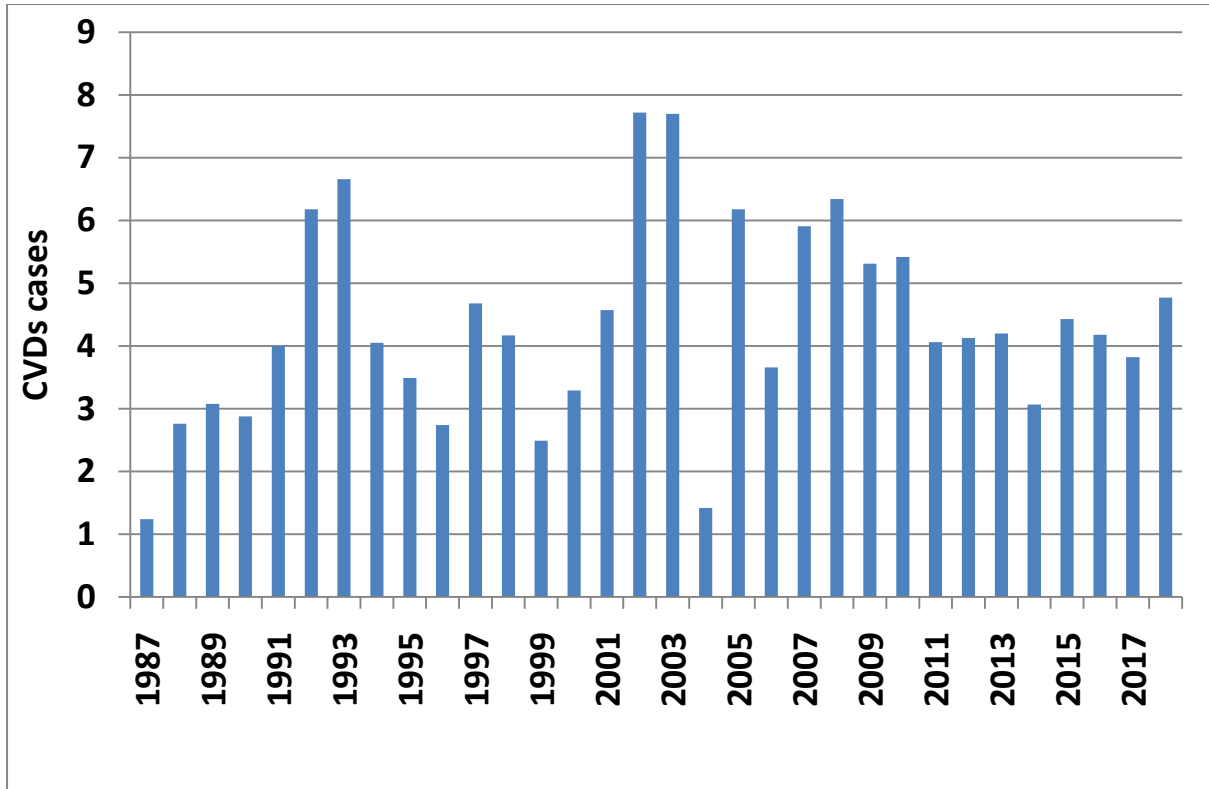
Διάγραμμα 5.4.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης



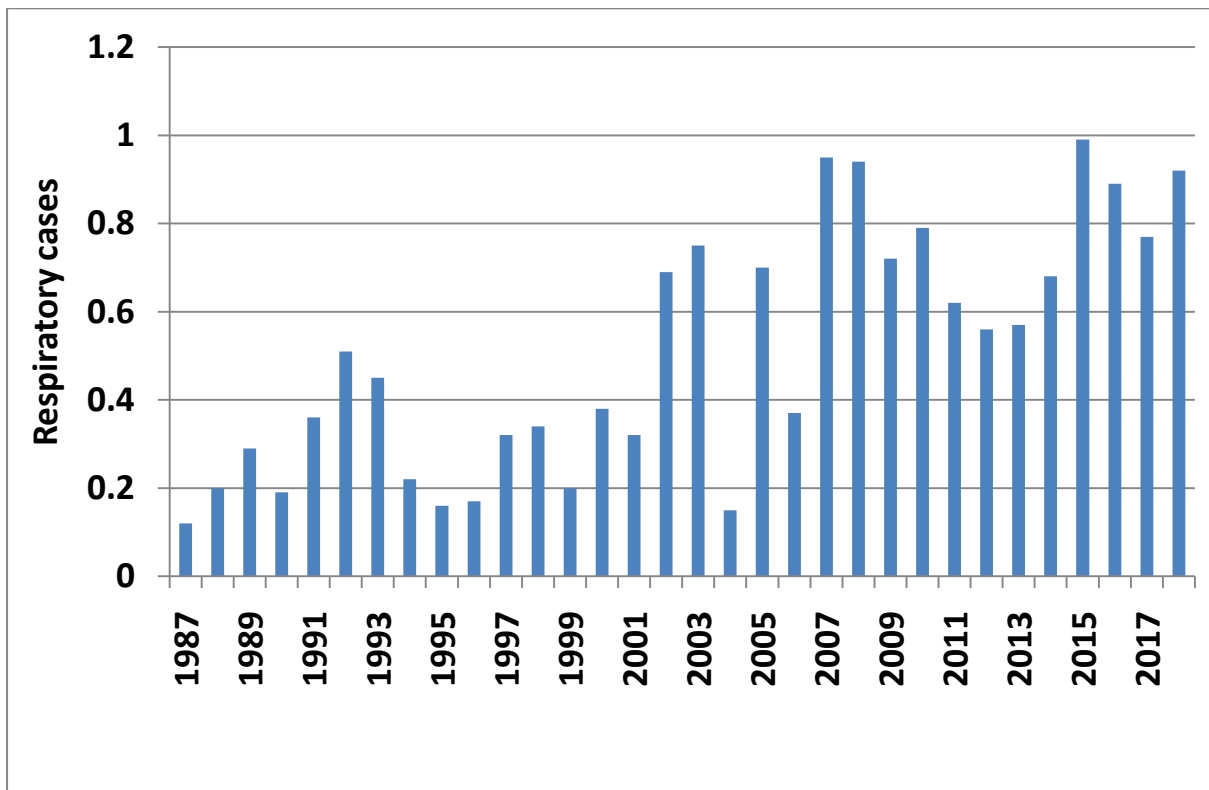
Διάγραμμα 5.4.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Νέας Σμύρνης



Διάγραμμα 5.4.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Νέας Σμύρνης



Διάγραμμα 5.4.6 CVDs cases στο σταθμό Νέας Σμύρνης

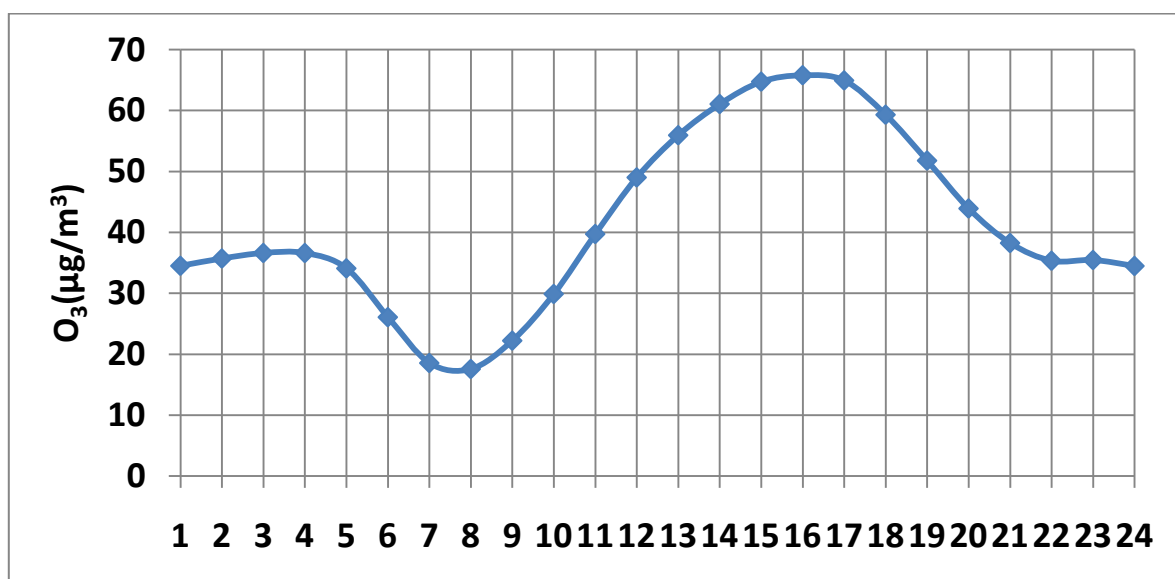


Διάγραμμα 5.4.7 Respiratory cases στο σταθμό Νέας Σμύρνης

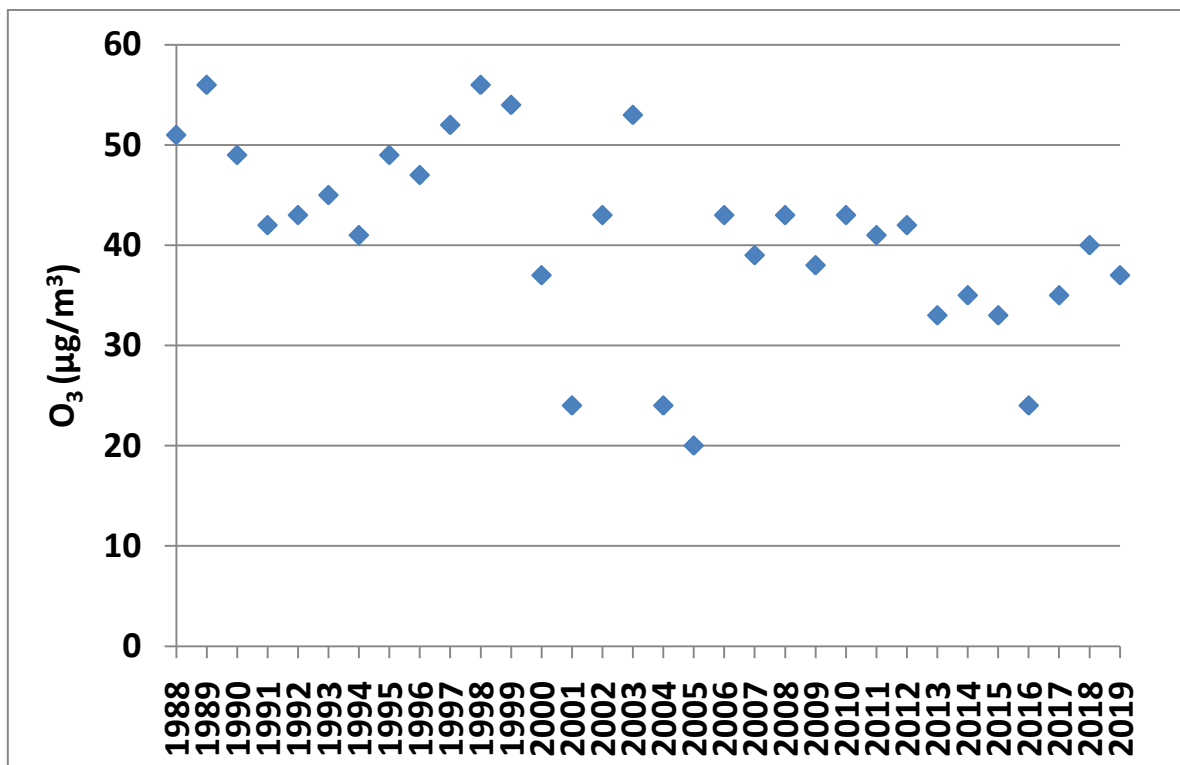
Ο σταθμός της Νέας Σμύρνης είναι αστικός – υποβάθρου και οι τιμές όζοντος που μετράει για ένα τυπικό 24ωρο είναι αρκετά υψηλές, της τάξεως των $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για το διάστημα 15:00-16:00. Όπως και σε προηγούμενους σταθμούς, βλέπουμε ότι υπάρχει έντονη κινητικότητα από τις 9 το πρωί έως και τις 10 το βράδυ η οποία επηρεάζει τις συγκεντρώσεις του ρύπου. Ο συγκεκριμένος σταθμός εδράζεται στο Πρότυπο Γυμνάσιο Ευαγγελικής Σχολής Σμύρνης και απέχει μερικά χιλιόμετρα από τα κοιμητήρια Παλιού Φαλήρου, Νέας Σμύρνης και Καλλιθέας, καθώς και από το πάρκο Δικελί και Αγίας Σοφίας. Αυτά τα μέρη αποτελούν σημαντικές πηγές εκπομπών όζοντος καθώς πλήθος κόσμου παρευρίσκεται σε ημερήσια βάση στα κοιμητήρια αλλά και στο πάρκο και έτσι εξηγούνται οι υψηλές συγκεντρώσεις O_3 . Από το 1987 έως το 2019, τα περισσότερα έτη εμφανίζουν μέσες τιμές από $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ έως $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Την διετία 2018-2019 παρατηρείται σημαντική αύξηση στον ρύπο που ξεπερνάει τα $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με αυξητική τάση. Ένα άλλα γεγονός που δικαιολογεί την αύξηση του ρύπου είναι τα μεγάλα κατασκευαστικά έργα που έγιναν στην περιοχή, στο Δέλτα Φαλήρου και την Λεωφόρο Ποσειδώνος τα τελευταία χρόνια, προκαλώντας μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση συμβάλλοντας έτσι στην παραγωγή NO_x .

Οι μέσες μηνιαίες τιμές μεγιστοποιούνται τους θερμούς μήνες και φτάνουν μέχρι τα $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ οι μέσες ημερήσιες στο τετραήμερο Παρασκευή – Δευτέρα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις. Τέλος, οι υπερβάσεις με την είσοδο της νέας χιλιετίας αυξάνονται και φτάνουν μέχρι και τις 138 φορές το 2003. Από το 2011 και μετά οι υπερβάσεις μειώνονται, αλλά παραμένουν σε υψηλά επίπεδα, πάνω από το όριο των 25 φορές ανά έτος. Στα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality εμφανίζονται περισσότερα επεισόδια σε σχέση με τους προηγούμενους σταθμούς. Ιδιαίτερα, στο διάγραμμα Respiratory mortality υπάρχει αύξηση των επεισοδίων θανάτου στα τελευταία χρόνια .

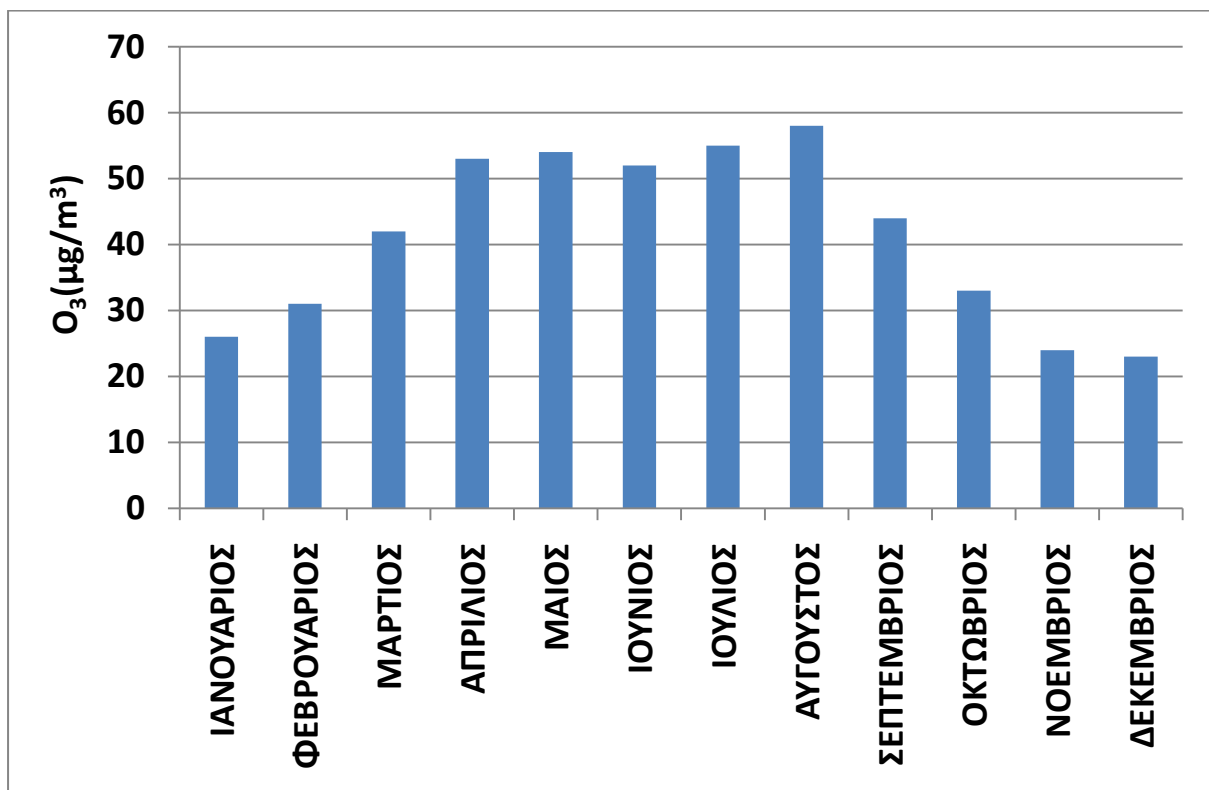
5.5 Σταθμός Πειραιά



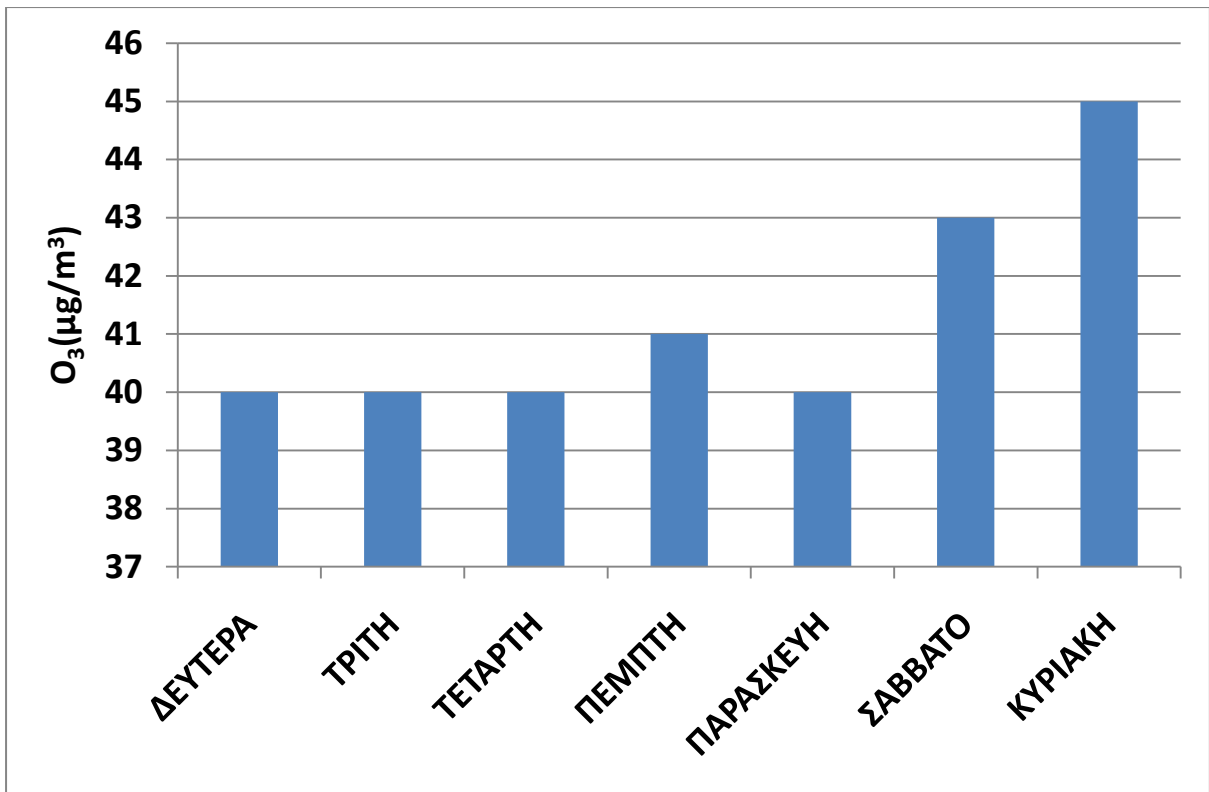
Διάγραμμα 5.5.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Πειραιά



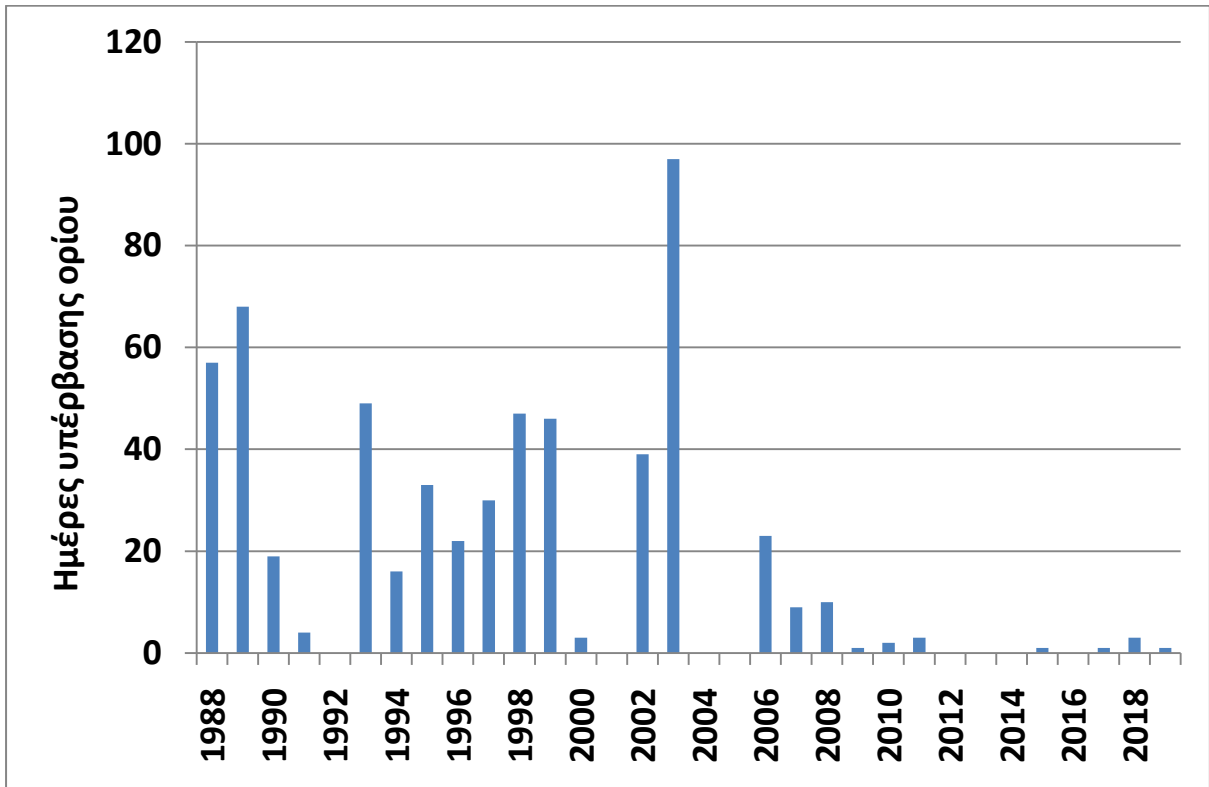
Διάγραμμα 5.5.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά



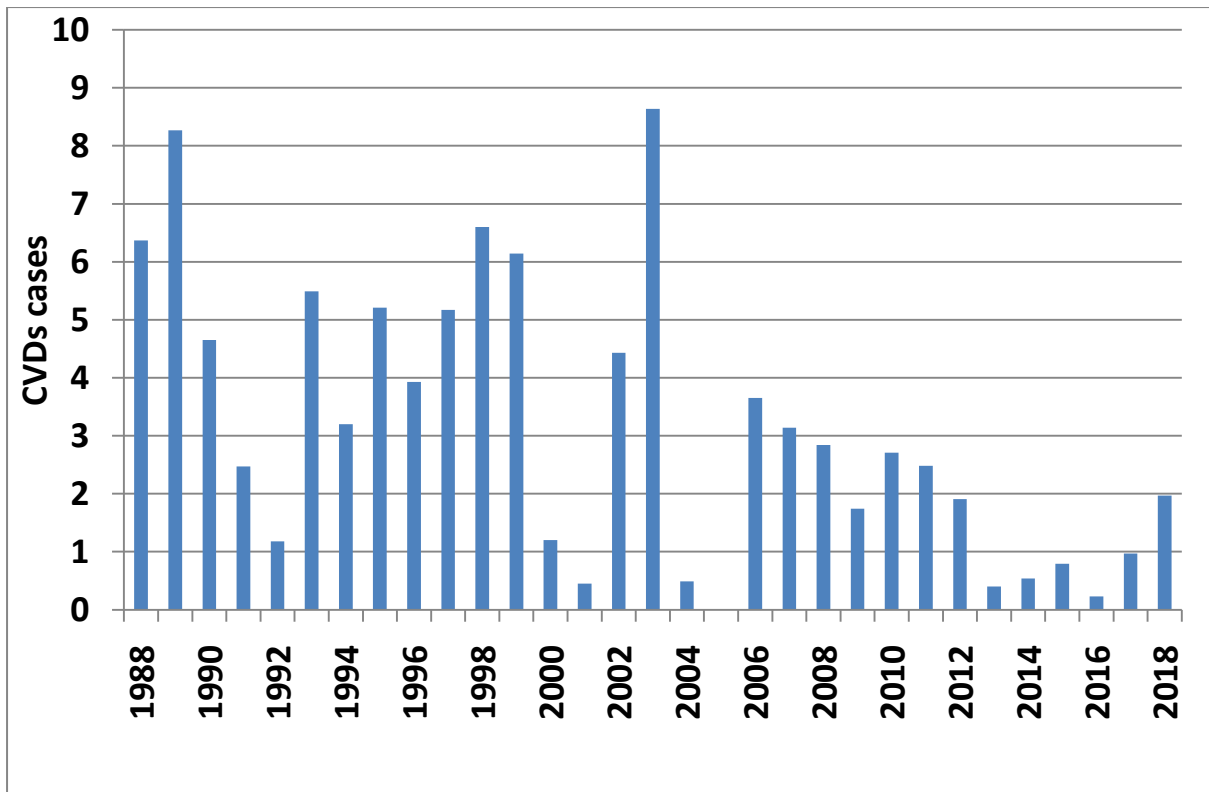
Διάγραμμα 5.5.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά



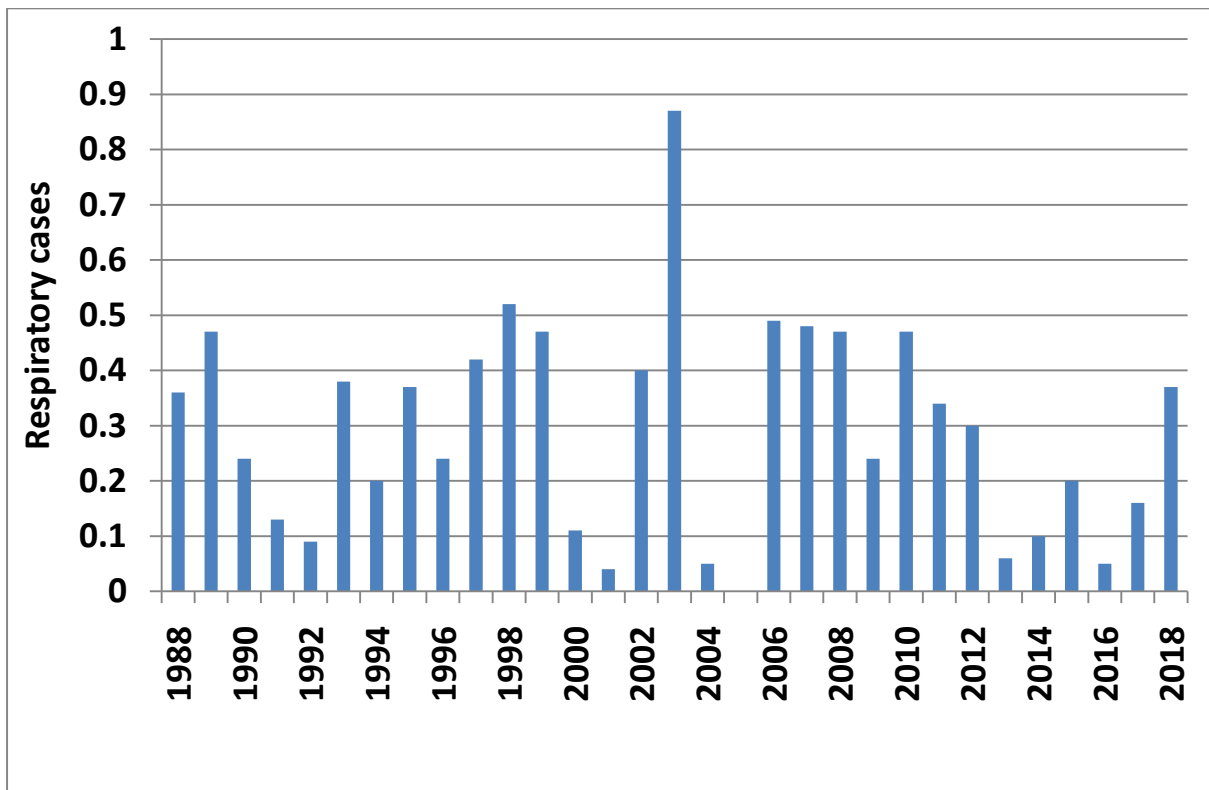
Διάγραμμα 5.5.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 5.5.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Πειραιά



Διάγραμμα 5.5.6 CVDs cases στο σταθμό Πειραιά

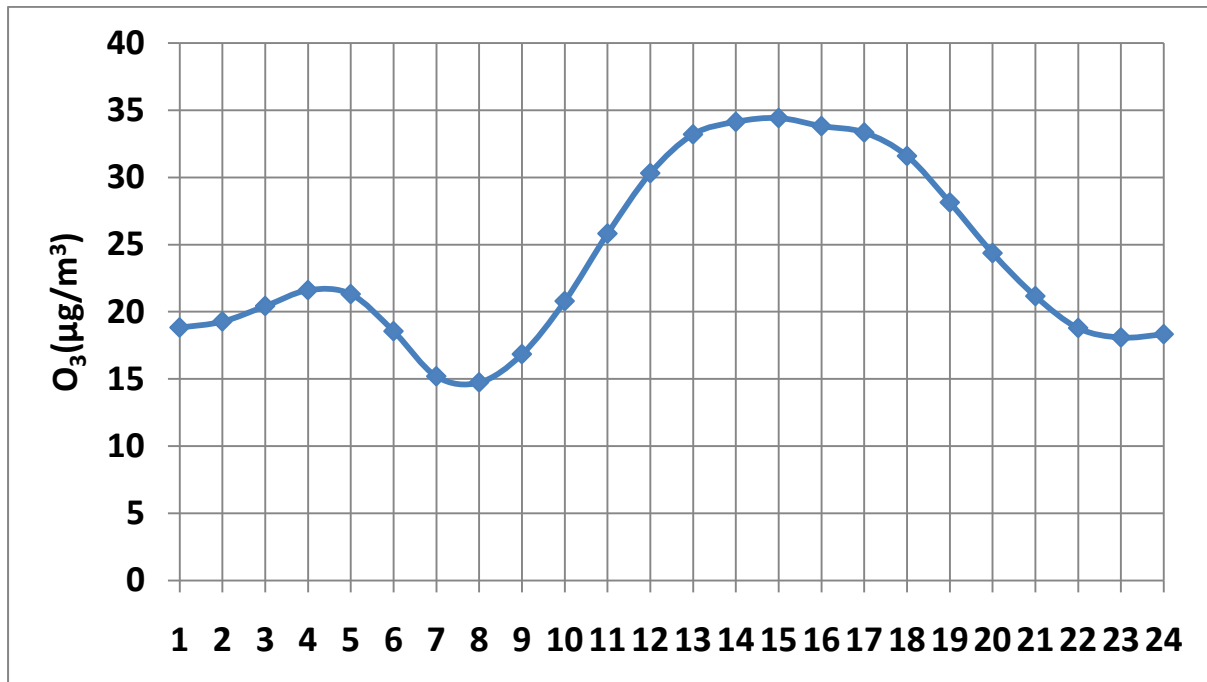


Διάγραμμα 5.5.7 Respiratory cases στο σταθμό Πειραιά

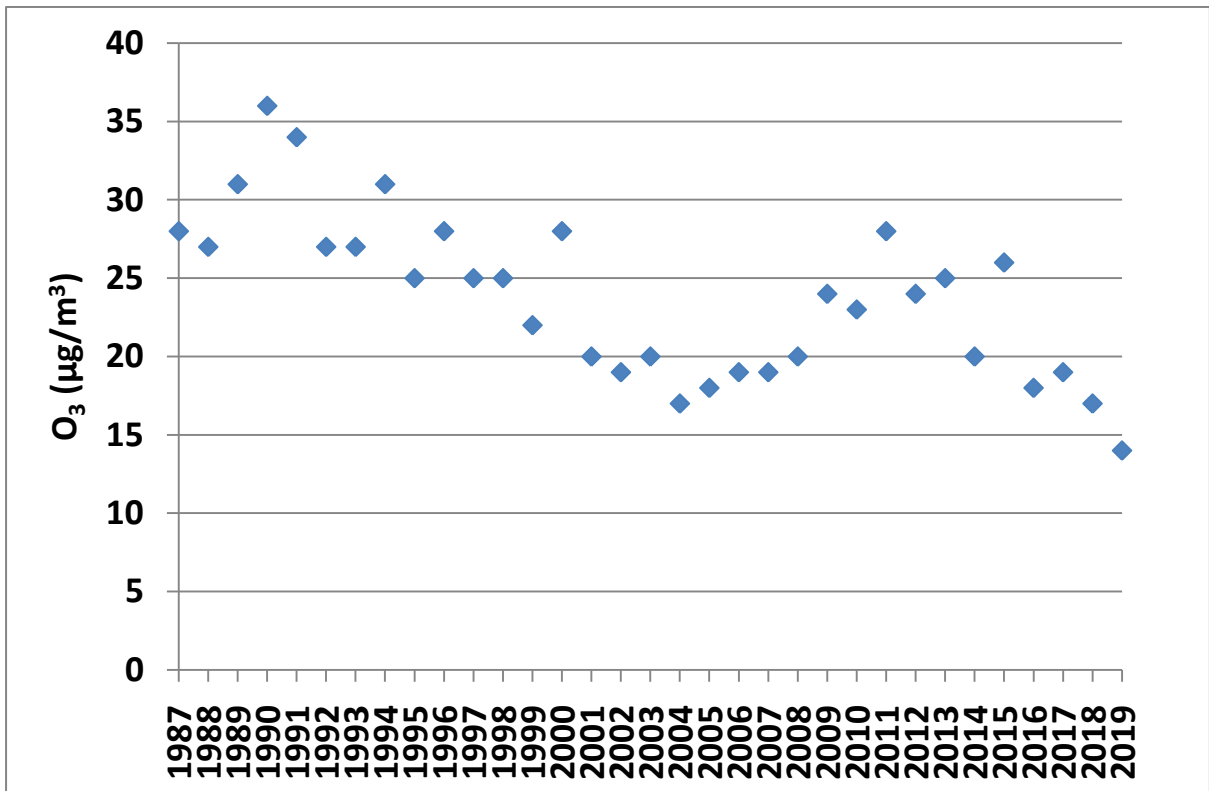
Ο σταθμός του Πειραιά χαρακτηρίζεται ως αστικός – κυκλοφορίας και εμφανίζει ωριαίες τιμές που δεν ξεπερνούν τα $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ένα τυπικό 24ωρο. Οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στο τρίωρο 15:00-17:00 και από τις 12:00 μέχρι τις 19:00 υπάρχουν έντονες εκπομπές του αερίου ρύπου. Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται στο Δημοτικό Θέατρο λίγα μέτρα μακριά από την Λεωφόρο Ηρώων Πολυτεχνείου, η οποία αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αρτηρίες του οδικού δικτύου του Πειραιά και κατ' επέκταση την κύρια πηγή ρύπανσης του σταθμού. Οι μέσες ετήσιες τιμές κυμαίνονται από $40\text{-}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και από το 2013 και έπειτα οι συγκεντρώσεις εμφανίζουν πτωτική πορεία. Οι θερμοί μήνες ευνοούν την ανάπτυξη του όζοντος με τον Αύγουστο να εμφανίζει μέγιστη τιμή $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Τα Σαββατοκύριακα η κίνηση των αυτοκινήτων είναι αυξημένη και αντίστοιχα αυξημένες είναι και οι μέσες ημερήσιες τιμές με μέγιστο τα $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ της Κυριακής. Οι υπερβάσεις από το 1988 έως το 2003 είναι αρκετές με αποκορύφωμα τις 98 το 2003. Από το 2004 και έπειτα όμως οι υπερβάσεις είναι ελάχιστες και με πολύ χαμηλές τιμές. Γι' αυτό το λόγω τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality παρουσιάζουν μείωση των επεισοδίων τα τελευταία χρόνια.

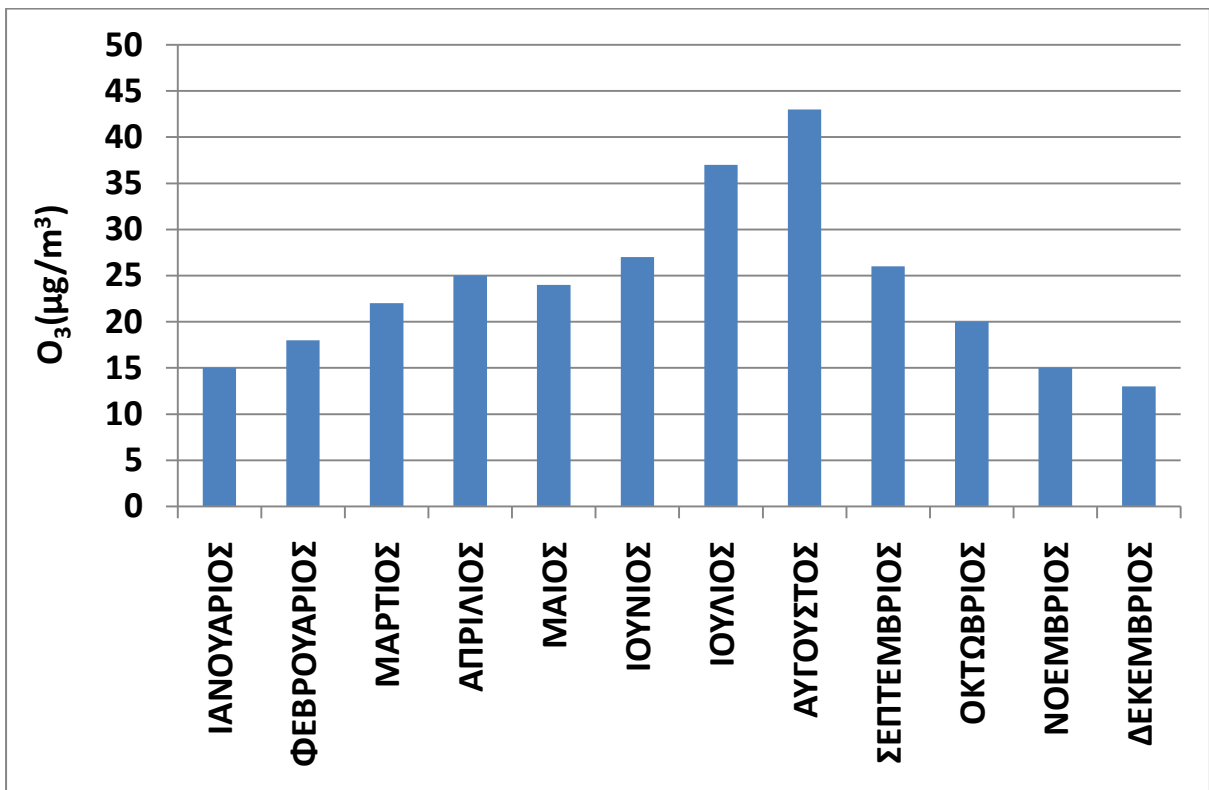
5.6 Σταθμός Πατησίων



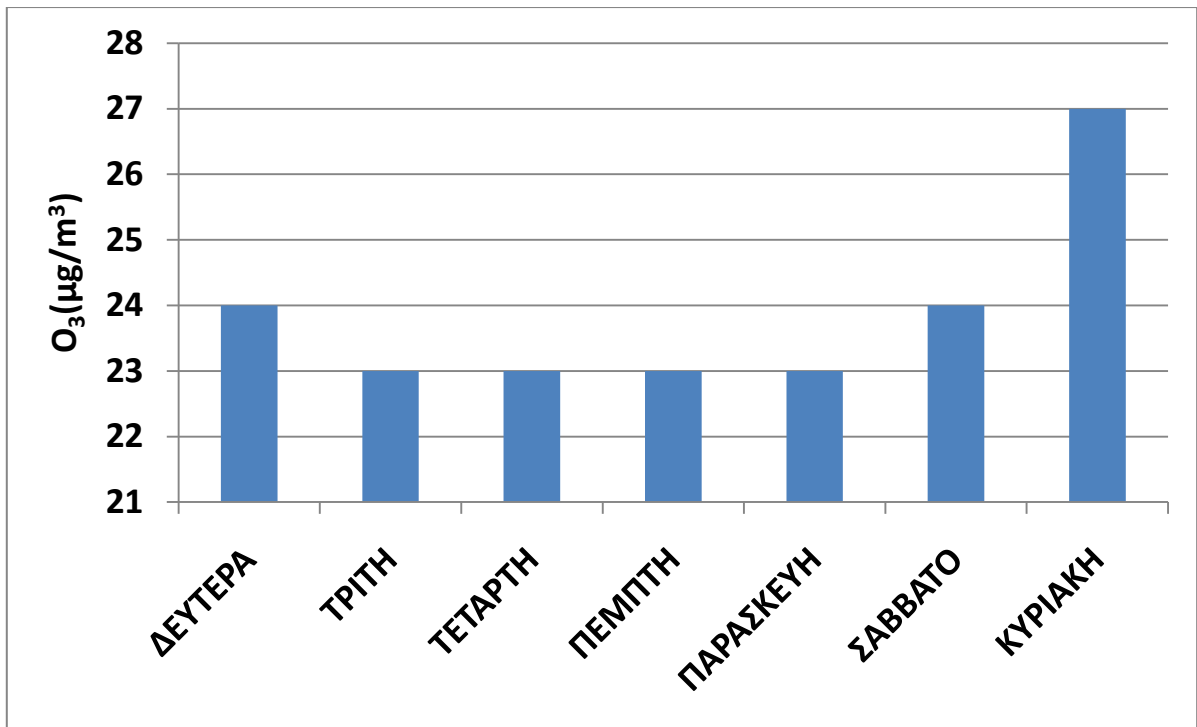
Διάγραμμα 5.6.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Πατησίων



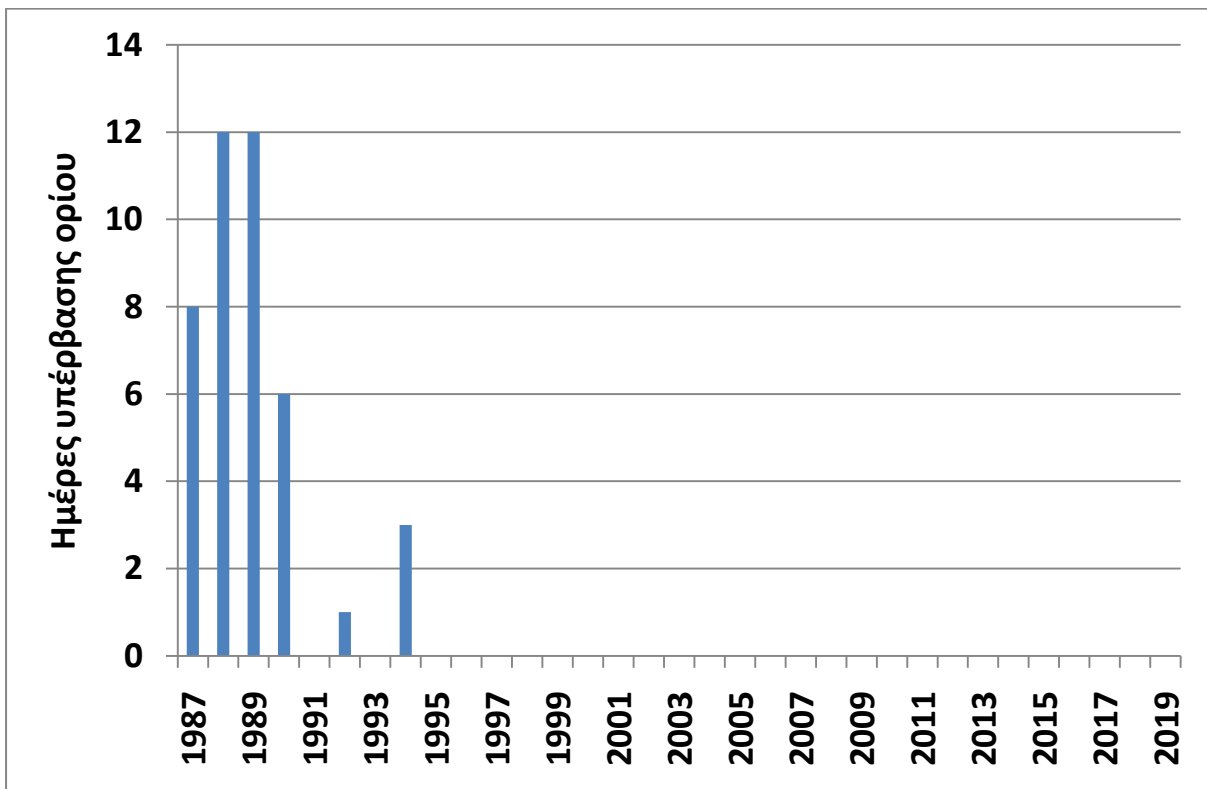
Διάγραμμα 5.6.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων



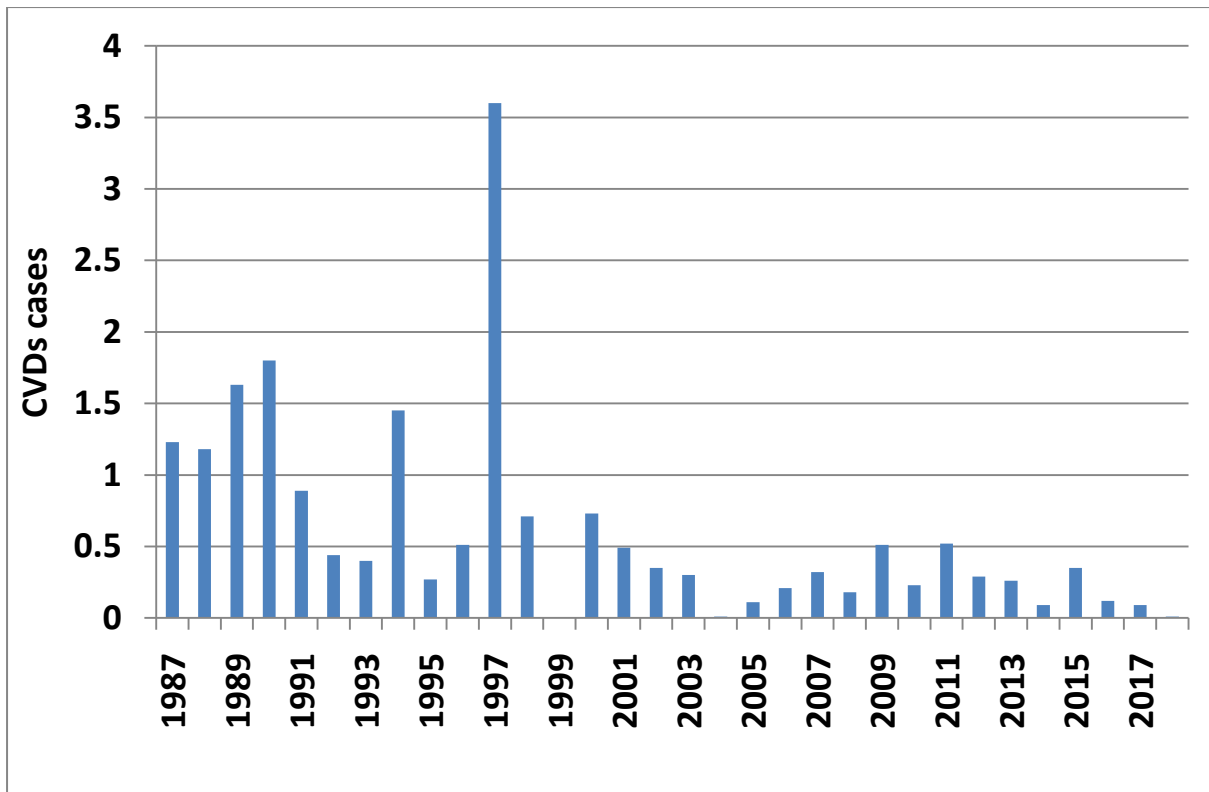
Διάγραμμα 5.6.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων



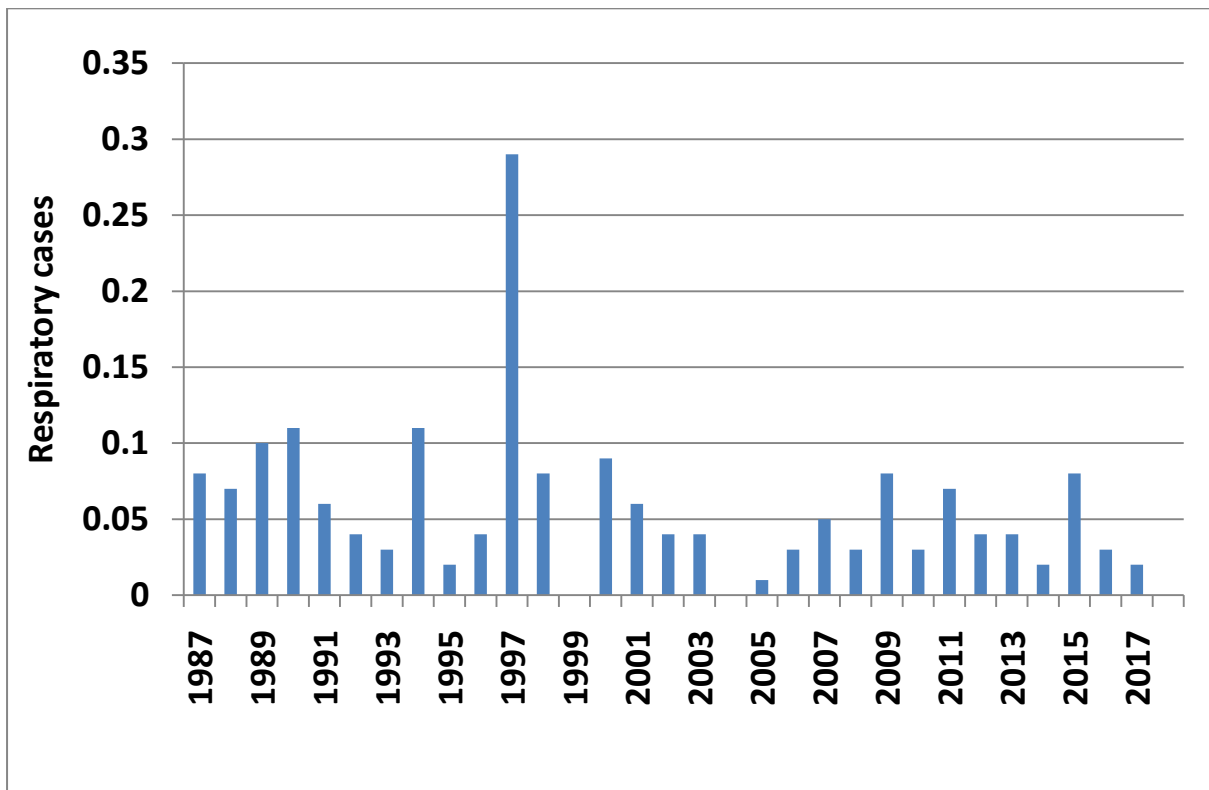
Διάγραμμα 5.6.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Πατησίων



Διάγραμμα 5.6.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Πατησίων



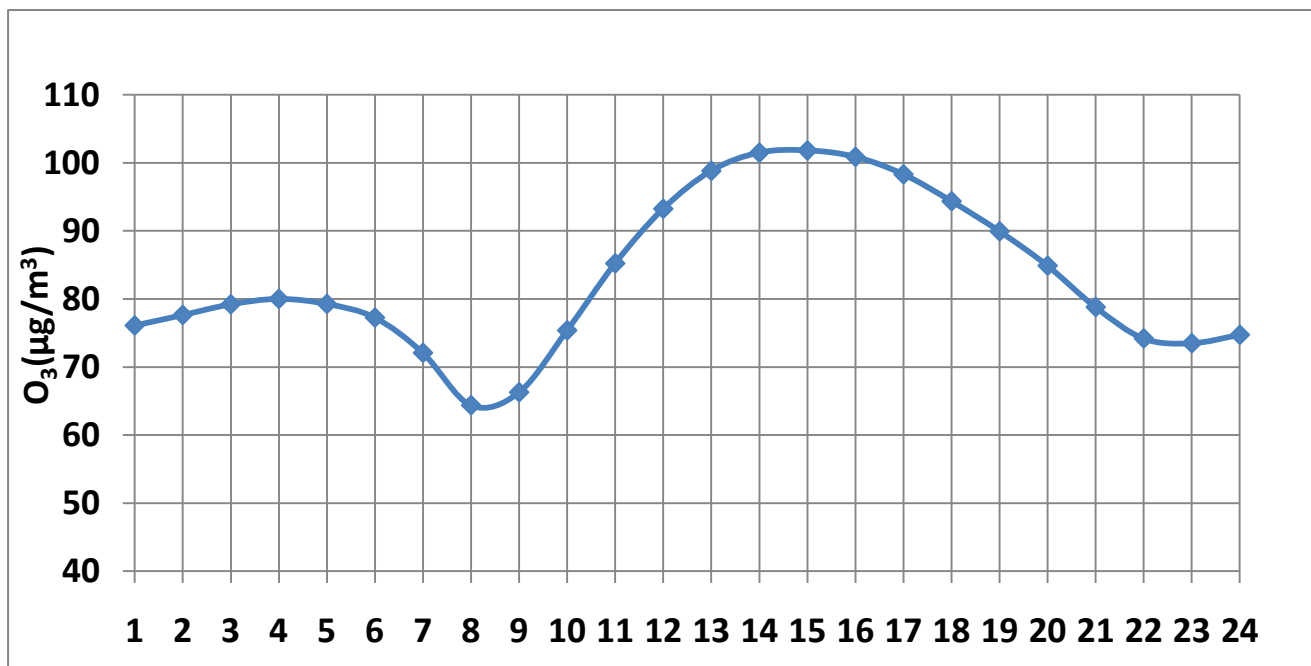
Διάγραμμα 5.6.6 CVDs cases στο σταθμό Πατησίων



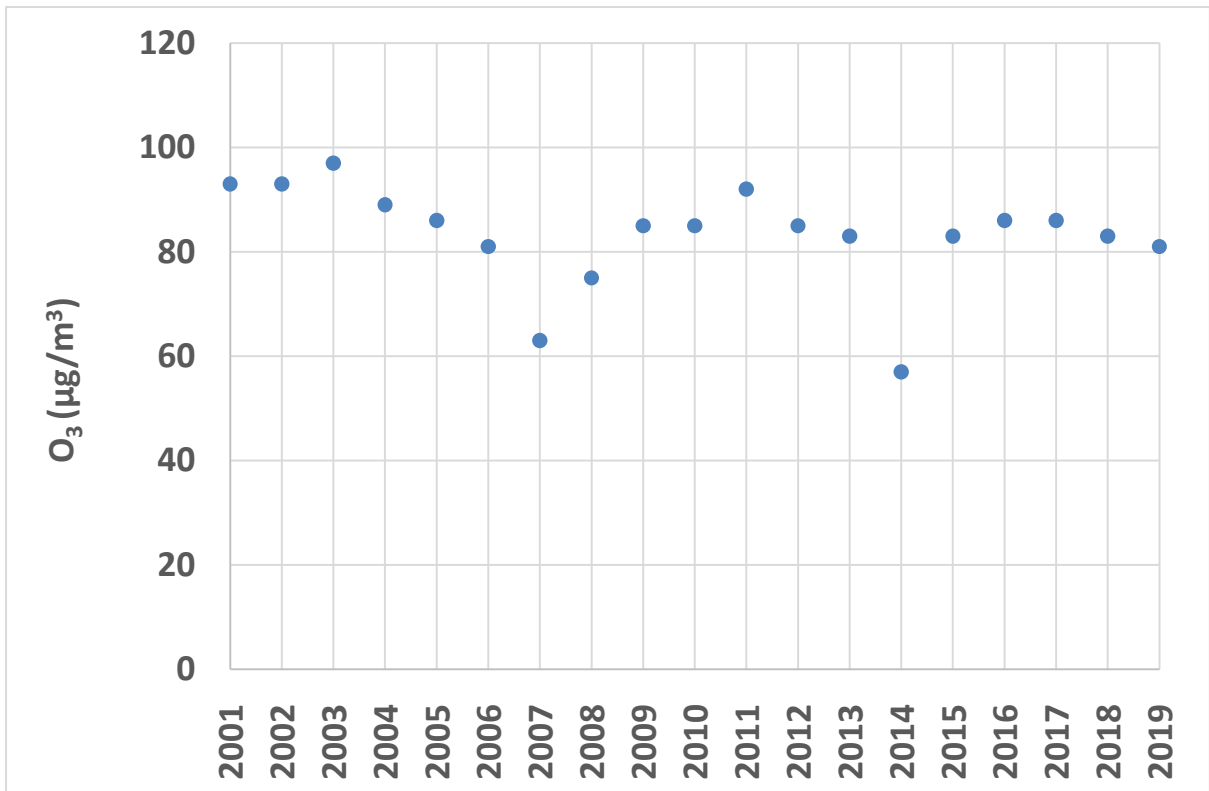
Διάγραμμα 5.6.7 Respiratory cases στο σταθμό Πατησίων

Ο σταθμός Πατησίων εμφανίζει πολύ χαμηλές ωριαίες τιμές που δεν ξεπερνούν τα 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Έντονη δραστηριότητα παρατηρείται από τις 11:00 έως τις 20:00. Είναι αστικός – κυκλοφορίας και βρίσκεται κοντά στο θέατρο Κάτια Δανδουλάκη. Οι μέσες ετήσιες τιμές από το 1991, όπου και εμφανίζεται η μέγιστη τιμή των 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, παρουσιάζουν πτωτική πορεία μέχρι και το 2019. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι μέσες μηνιαίες τιμές ξεπερνούν τα 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ οι υπόλοιποι μήνες έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Οι μέσες ημερήσιες τιμές είναι αρκετά χαμηλές και μόνο την Κυριακή έχει μέγιστο 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις έχουμε μόνο από το 1987 έως το 1990, το 1992 και το 1994. Τα υπόλοιπα έτη δεν υπάρχει καμία υπέρβαση. Αντίστοιχη χαμηλή διακύμανση παρουσιάζουν τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality. Γεγονός που υποδηλώνει ότι στις αστικές περιοχές όπου η κίνηση των αυτοκινήτων είναι μεγάλη, η έκλυση από τα καυσαέρια NOx καταστρέφει το O₃.

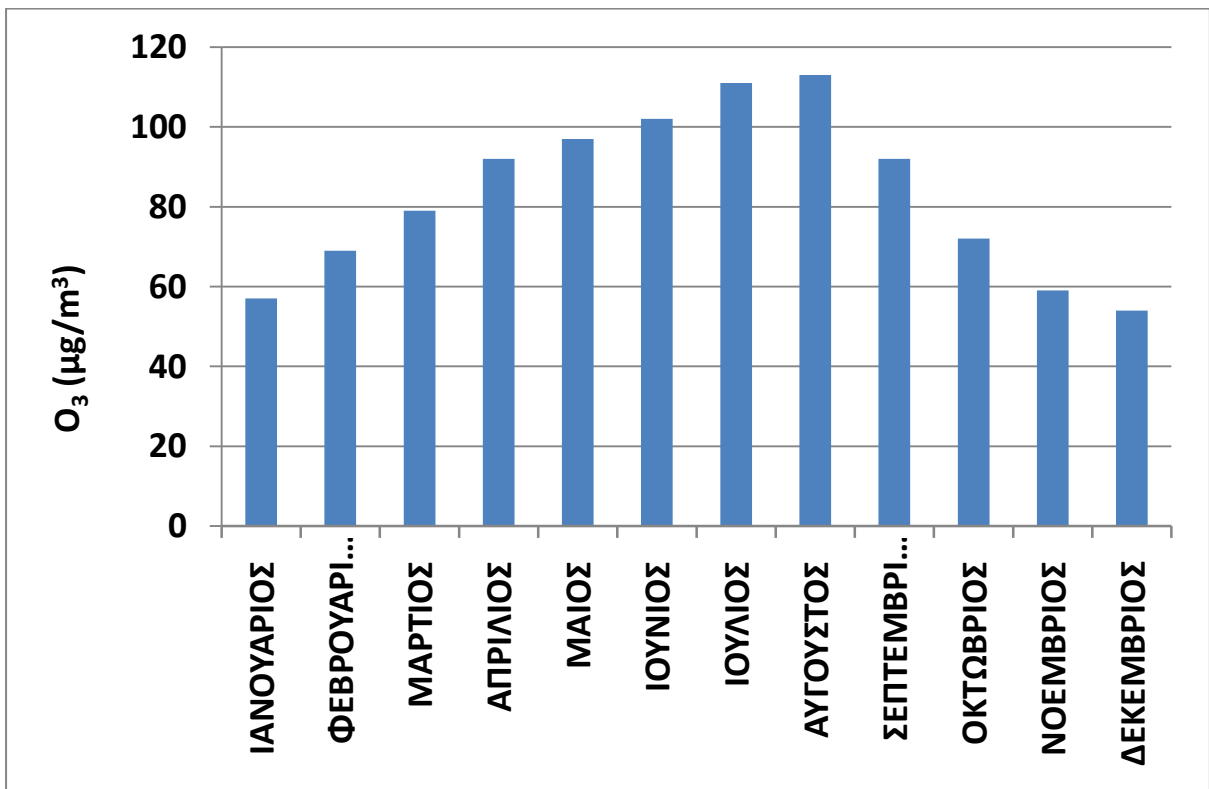
5.7 Σταθμός Αγίας Παρασκευής



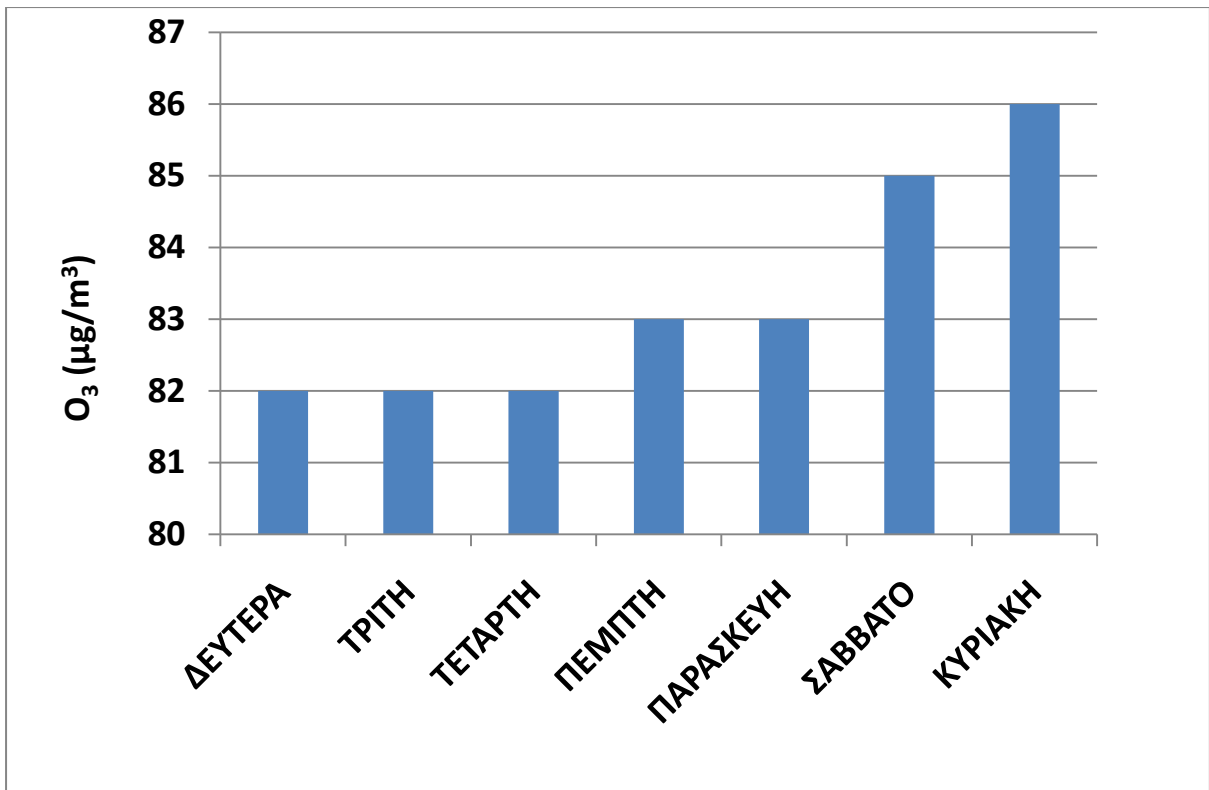
Διάγραμμα 5.7.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



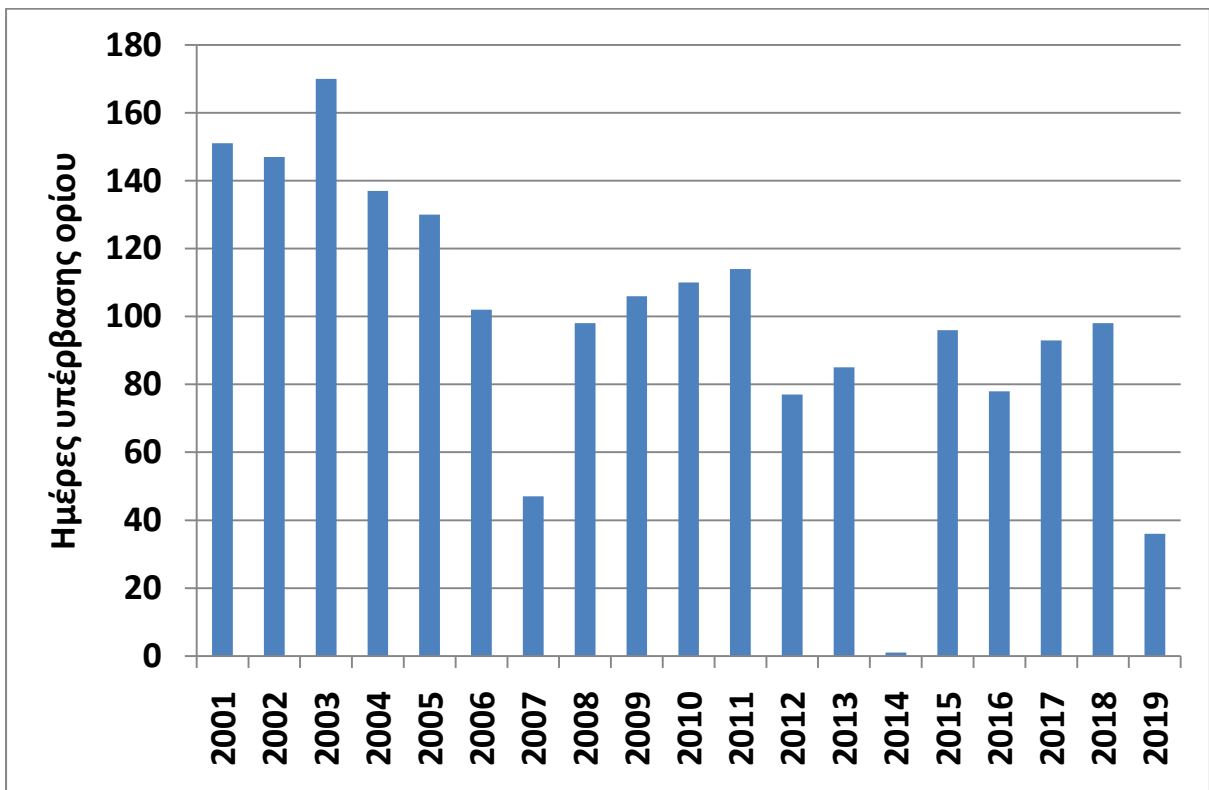
Διάγραμμα 5.7.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



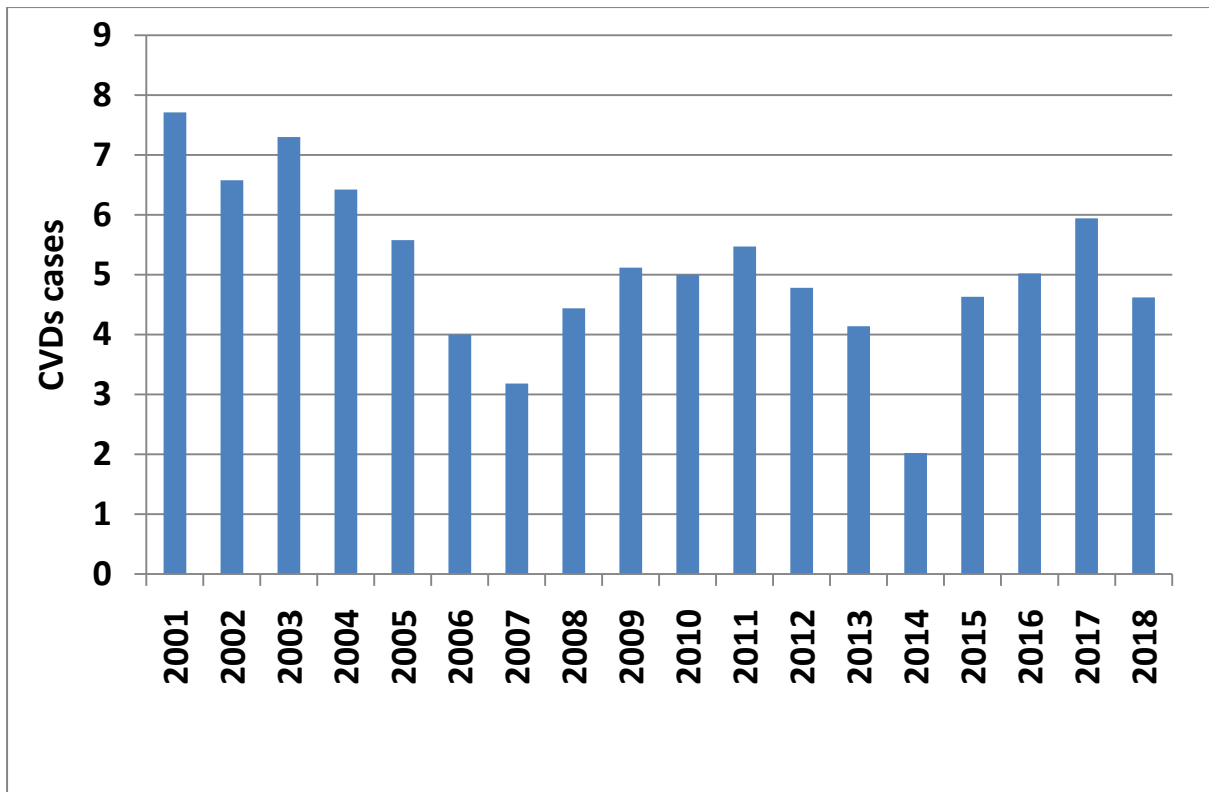
Διάγραμμα 5.7.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



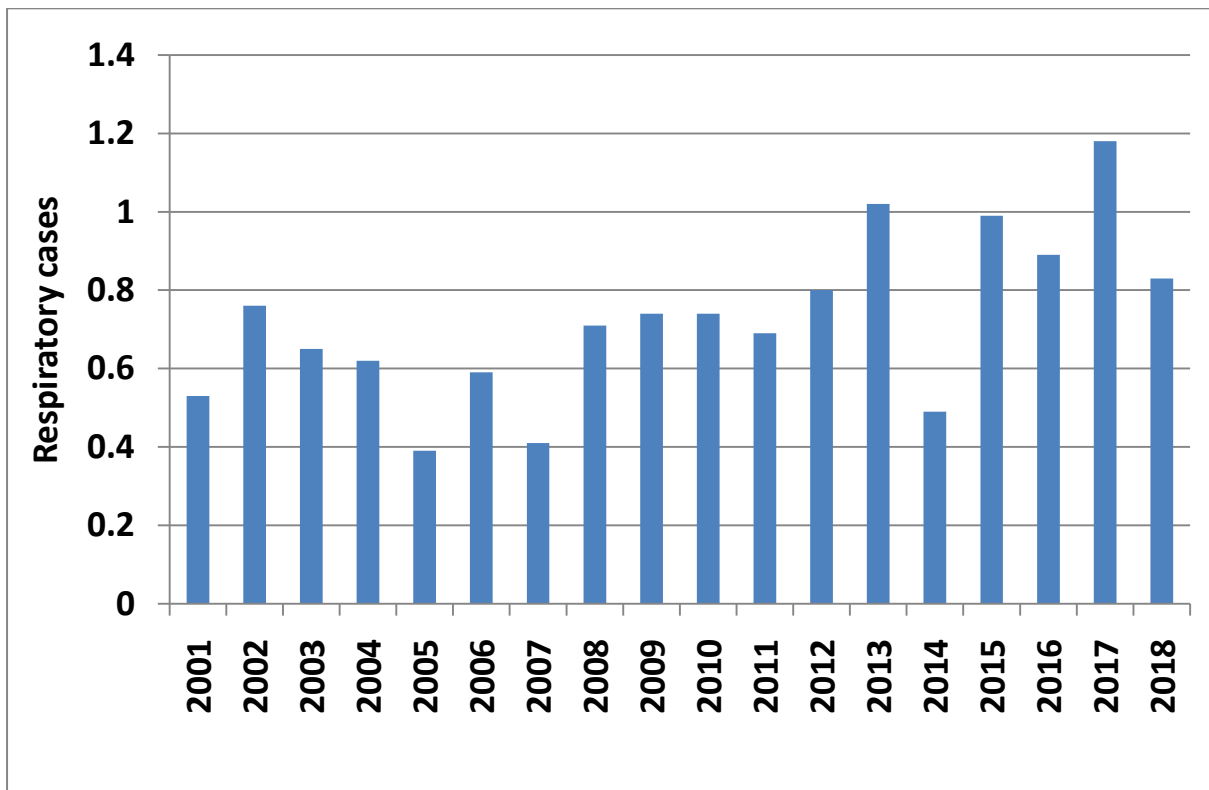
Διάγραμμα 5.7.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



Διάγραμμα 5.7.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



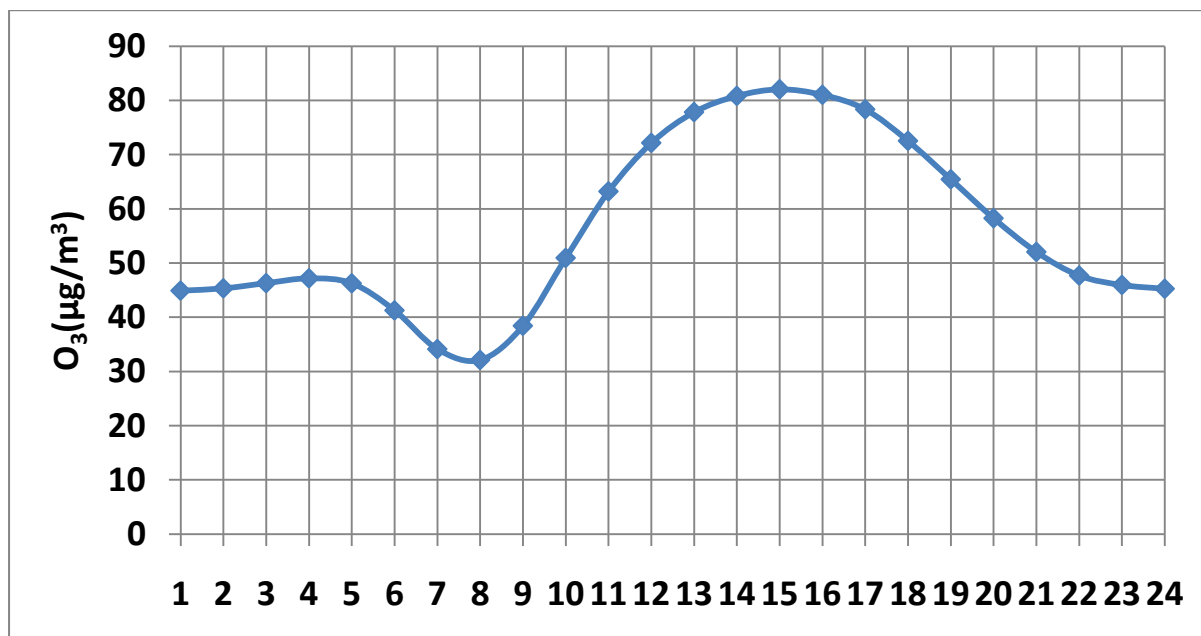
Διάγραμμα 5.7.6 CVDs cases στο σταθμό Αγίας Παρασκευής



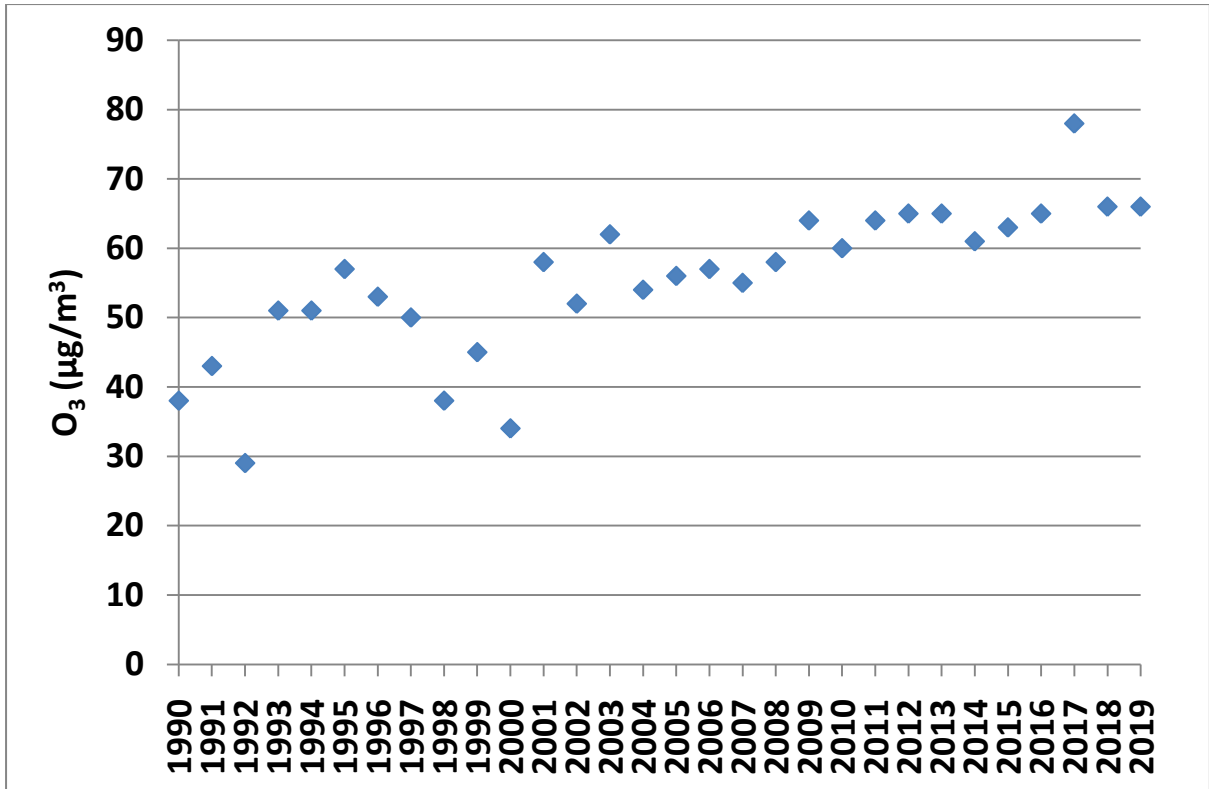
Διάγραμμα 5.7.7 Respiratory cases στο σταθμό Αγίας Παρασκευής

Ο σταθμός Αγίας Παρασκευής είναι περιαστικός – υποβάθρου και στο χρονικό διάστημα 13:00-17:00 οι τιμές του όζοντος αγγίζουν και ξεπερνάνε τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, μία αρκετά υψηλή τιμή. Οι συγκεντρώσεις του ρύπου είναι μεγάλες το χρονικό διάστημα από τις 9 το πρωί έως τις 10. Ο σταθμός βρίσκεται στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών (ΕΚΕΦΕ) «Δημόκριτος» και κοντά στο 1^ο Νεκροταφείο Αγίας Παρασκευής, μέρη με αυξημένη κίνηση οχημάτων. Οι μέσες ετήσιες για το διάστημα 2001-2019 κυμαίνονται ως επί το πλείστον από $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ μέχρι $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες μηνιαίες τιμές εμφανίζουν έξαρση τους μήνες με την περισσότερη ηλιοφάνεια (Ιούλιος – Αύγουστος) και αγγίζουν τα $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες ημερήσιες τιμές αυξάνονται το Σαββατοκύριακο, φτάνουν τα $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, μάλλον γιατί η περιοχή είναι κομβικό πέρασμα προς τα Μεσόγεια. Υπερβάσεις παρουσιάζονται σε όλα τα έτη με εξαίρεση το 2014 όπου η τιμή ήταν πολύ μικρή. Μάλιστα το 2003 έφτασε σε πολύ επικίνδυνα ύψη, ξεπερνώντας τις 170 φορές και αγγίζοντας τις 180 αναδεικνύοντας την περιοχή πολύ ανθυγιεινή για την ανθρώπινη υγεία. Τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality παρουσιάζουν μια σταθερή διακύμανση, που είναι παρόμοια με αυτή των ημερών υπέρβασης του ορίου του ρύπου.

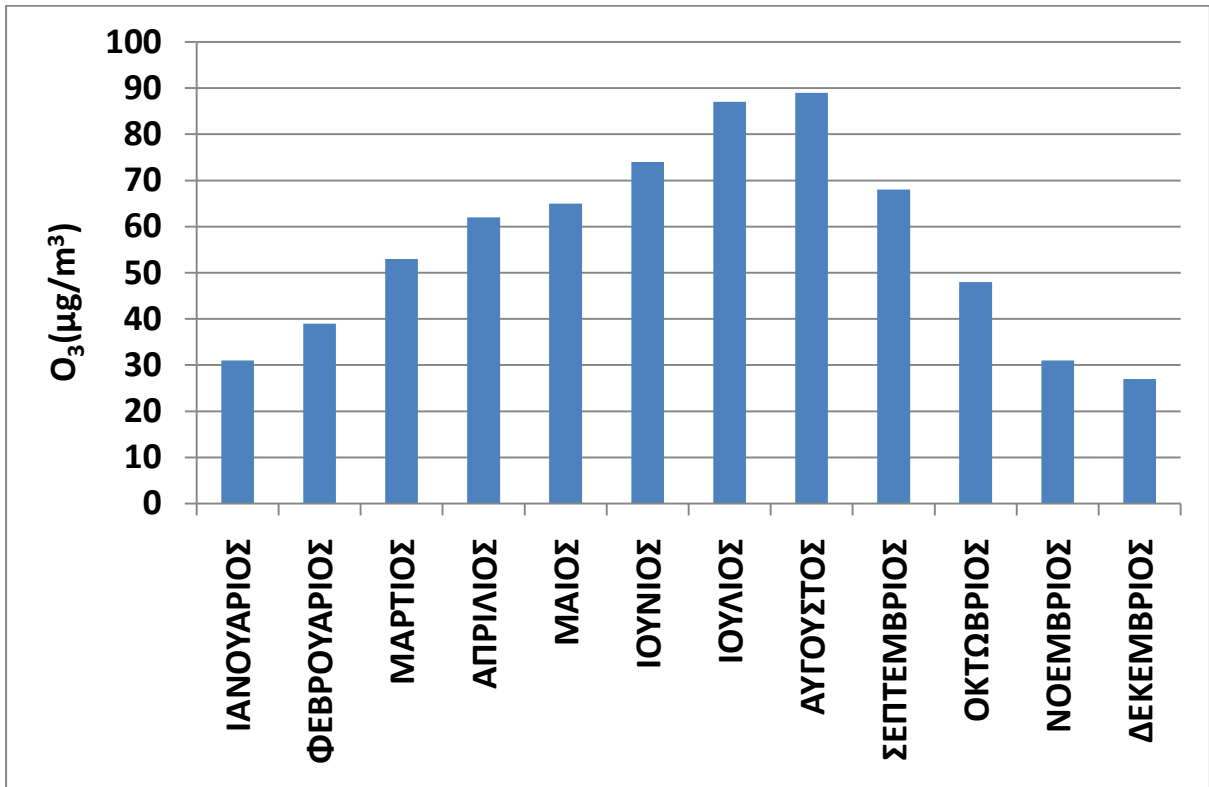
5.8 Σταθμός Περιστερίου



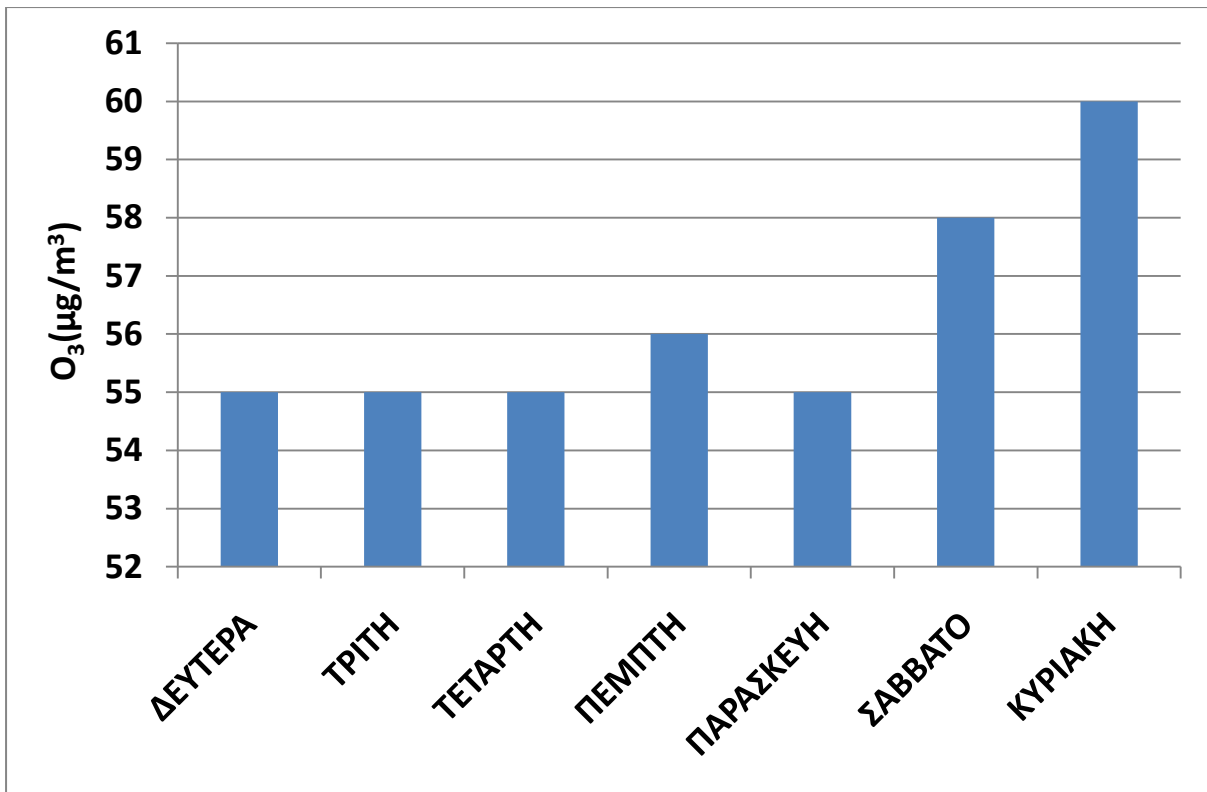
Διάγραμμα 5.8.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Περιστερίου



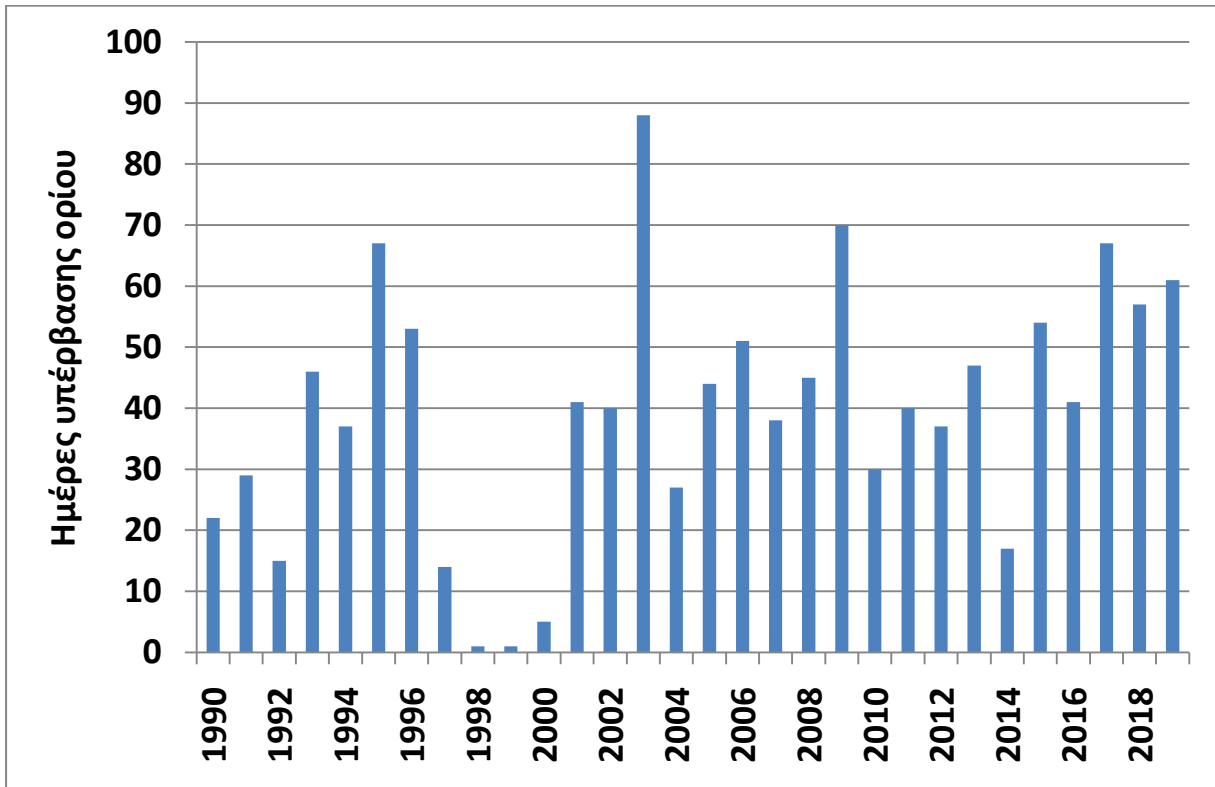
Διάγραμμα 5.8.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου



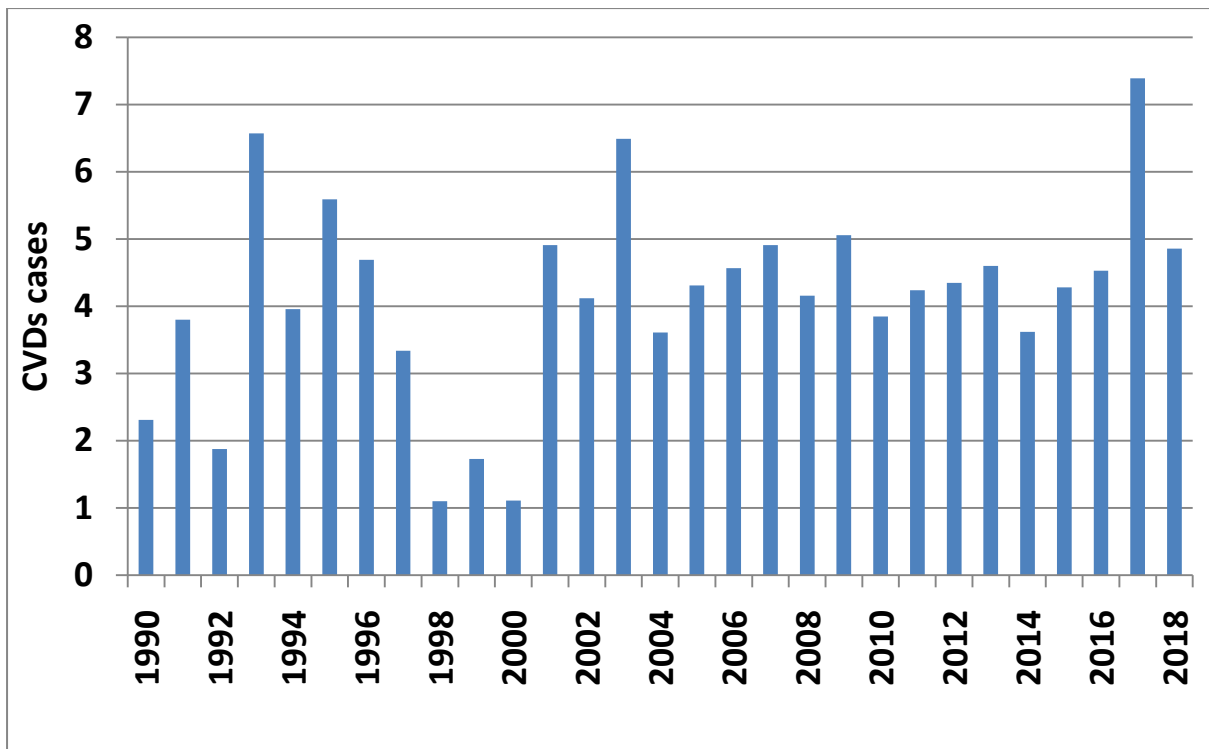
Διάγραμμα 5.8.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου



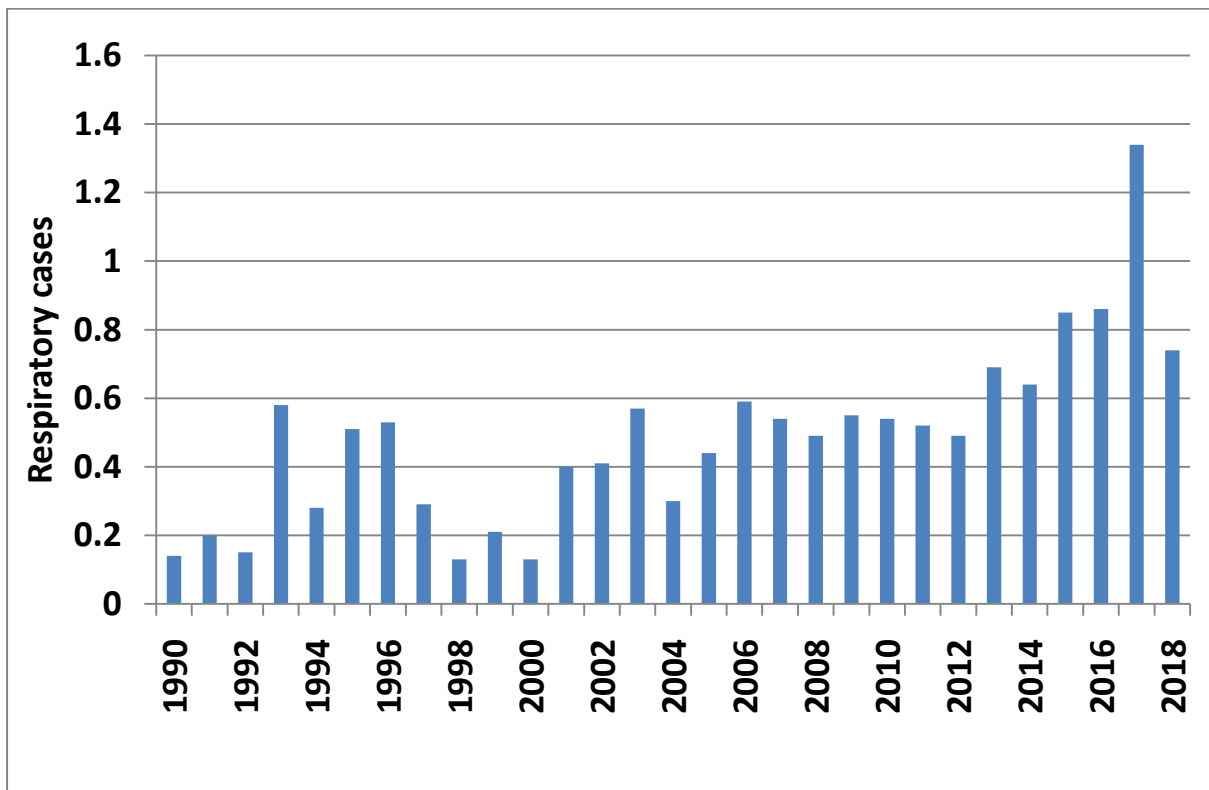
Διάγραμμα 5.8.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Περιστερίου



Διάγραμμα 5.8.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Περιστερίου



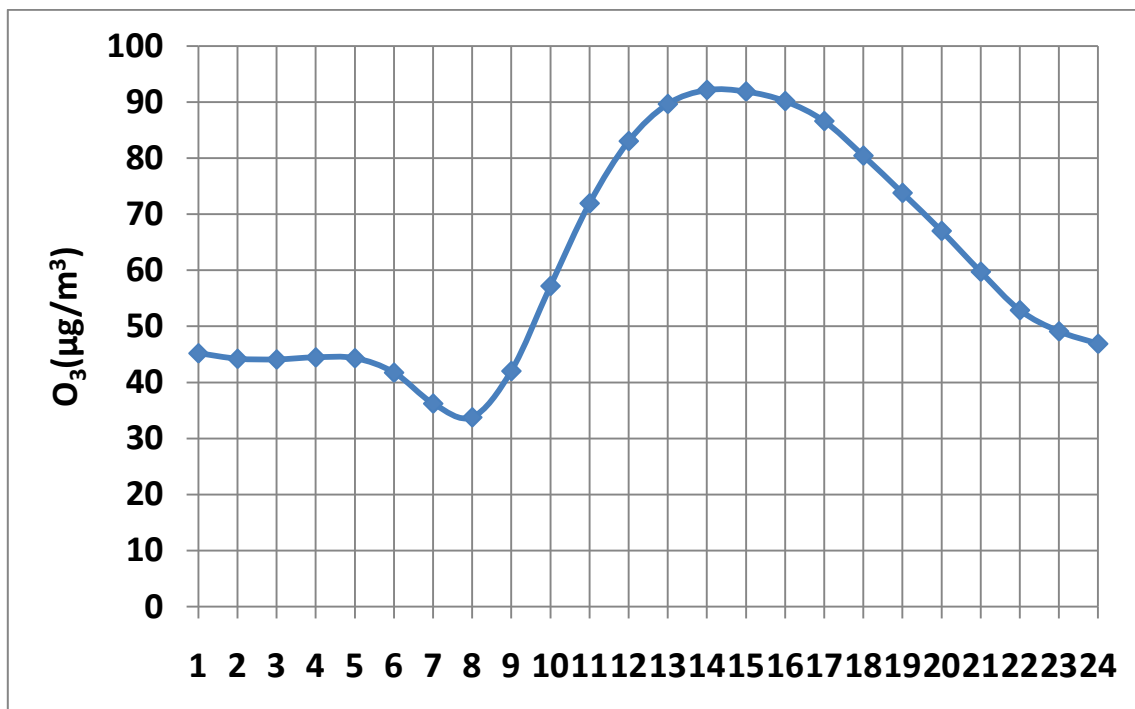
Διάγραμμα 5.8.6 CVDs cases στο σταθμό Περιστερίου



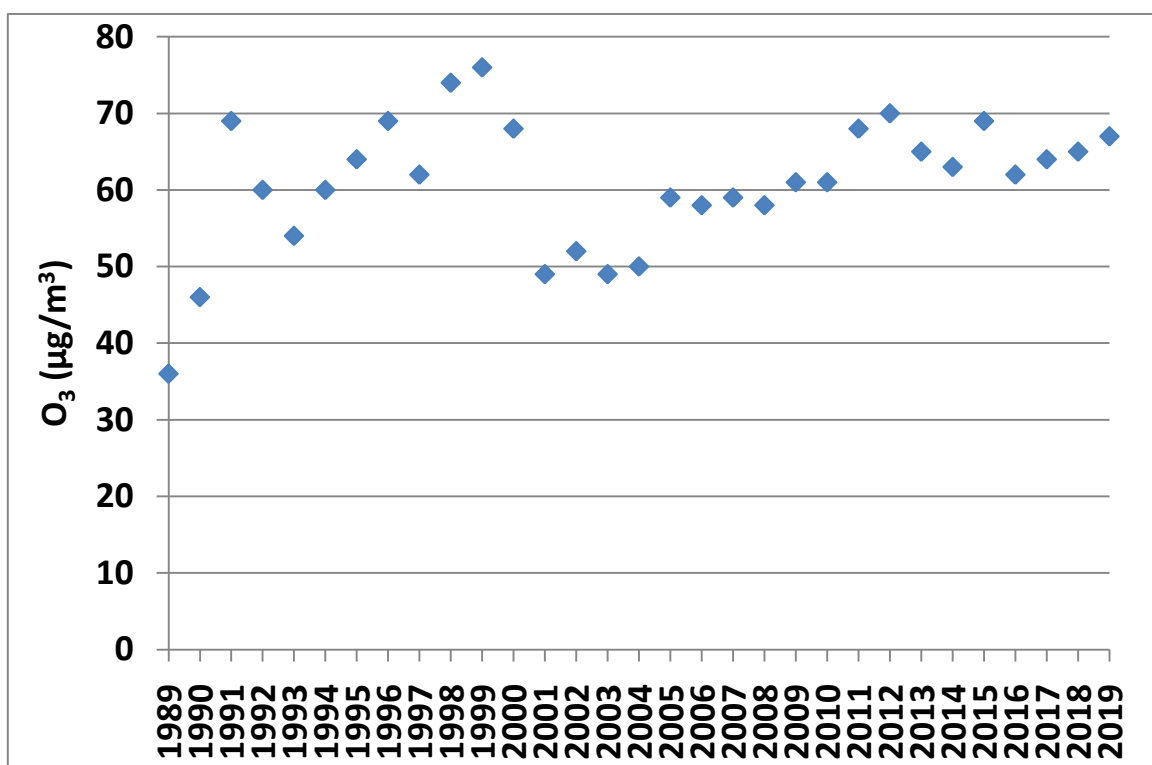
Διάγραμμα 5.8.7 Respiratory cases στο σταθμό Περιστερίου

Ο σταθμός του Περιστερίου είναι αστικός – υποβάθρου και οι μέγιστες ωριαίες τιμές είναι ελάχιστα πάνω από τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το τρίωρο 15:00-17:00. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στο διάστημα 9:00-21:00. Ο σταθμός βρίσκεται κοντά στο 36° και 37° νηπιαγωγείο Περιστερίου, στο 15° και στο 29° δημοτικό σχολείο Περιστερίου. Επίσης λίγο πιο μακριά εντοπίζεται το Άλσος Περιστερίου, οπότε ο συνδυασμός των ανωτέρω μας οδηγεί στο συμπέρασμα της παρουσίας μεγάλης κίνησης οχημάτων. Οι μέσες ετήσιες τιμές εμφανίζουν αυξητική τάση για διάστημα μελέτης 1990-2019, με το 2017 να εμφανίζει μέγιστο κοντά στα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες μηνιαίες τιμές του ρύπου ευνοούνται από την καλοκαιρία και τον Αύγουστο φτάνουν μέχρι και τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες ημερήσιες αυξάνονται το Σαββατοκύριακο λόγω και της παρουσίας πλήθους ανθρώπων στο Άλσος Περιστερίου και την Κυριακή εμφανίζεται η τιμή των 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επιπλέον, οι υπερβάσεις κυμαίνονται σε υψηλό επίπεδο πολλά έτη υπερέβησαν το όριο των 25 φορές ετησίως ενώ το 2003 το ξεπεράστηκε πάνω από 88 φορές. Τα διαγράμματα των CVDs και Respiratory mortality παρουσιάζουν μια σταθερή διακύμανση, με τάση αύξησης τα τελευταία χρόνια.

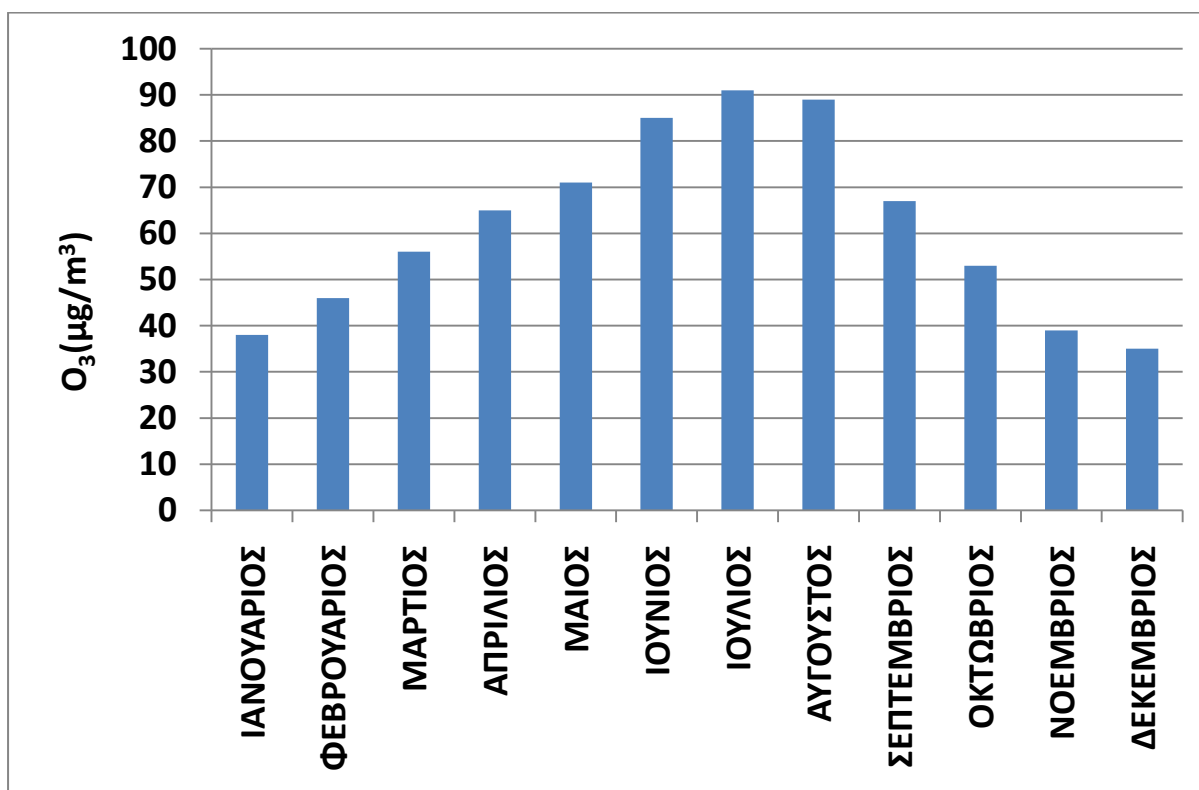
5.9 Σταθμός Αμαρουσίου



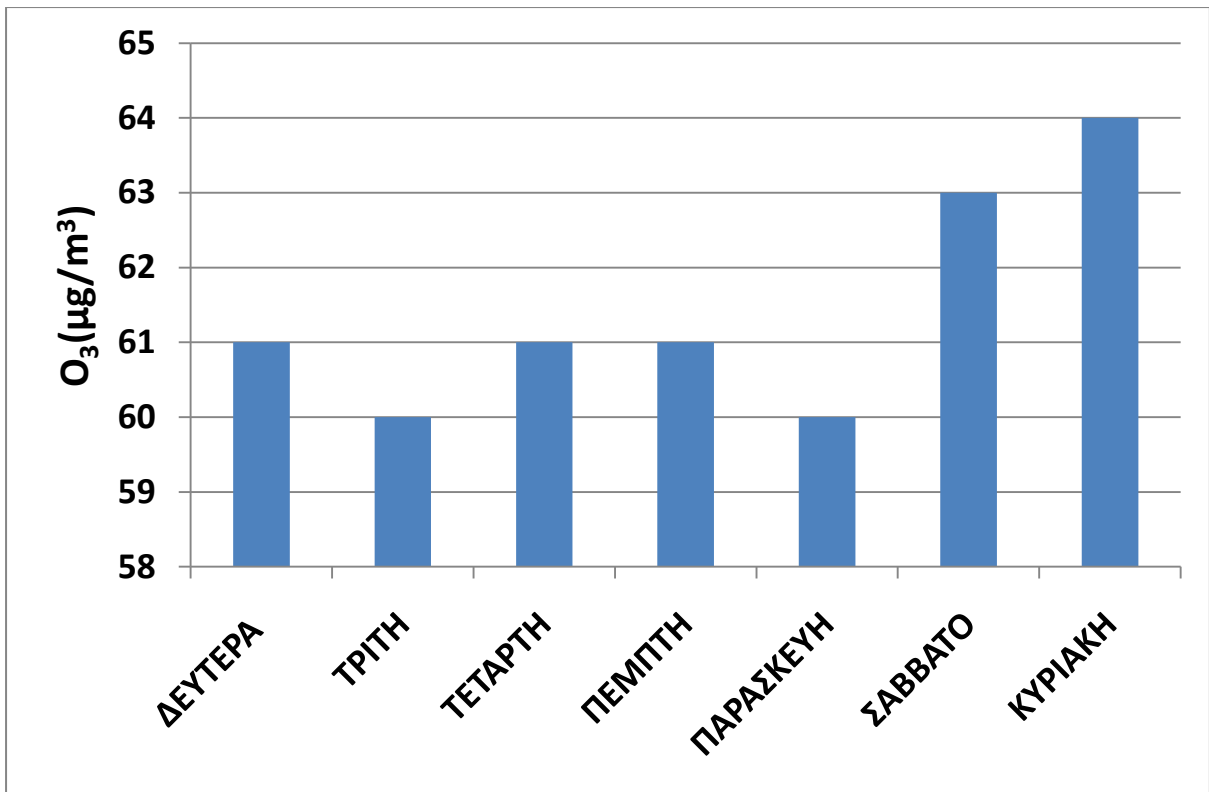
Διάγραμμα 5.9.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Αμαρουσίου



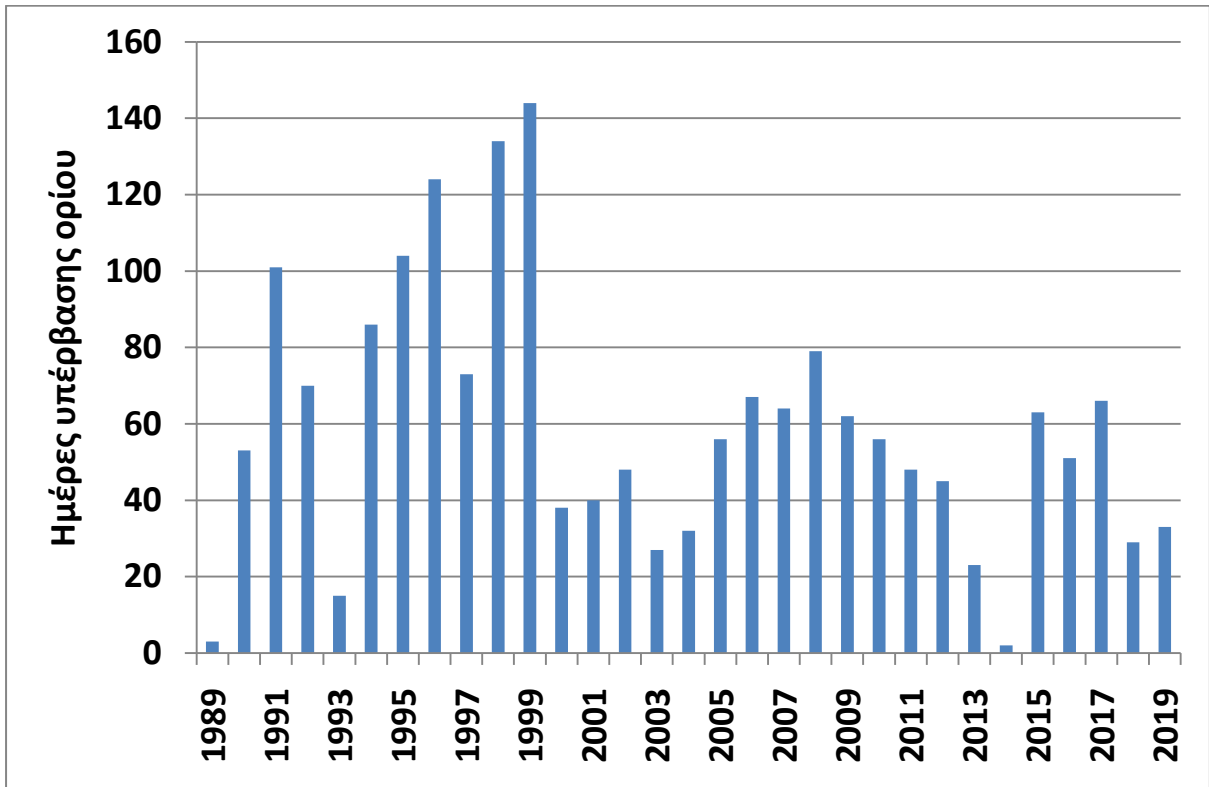
Διάγραμμα 5.9.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου



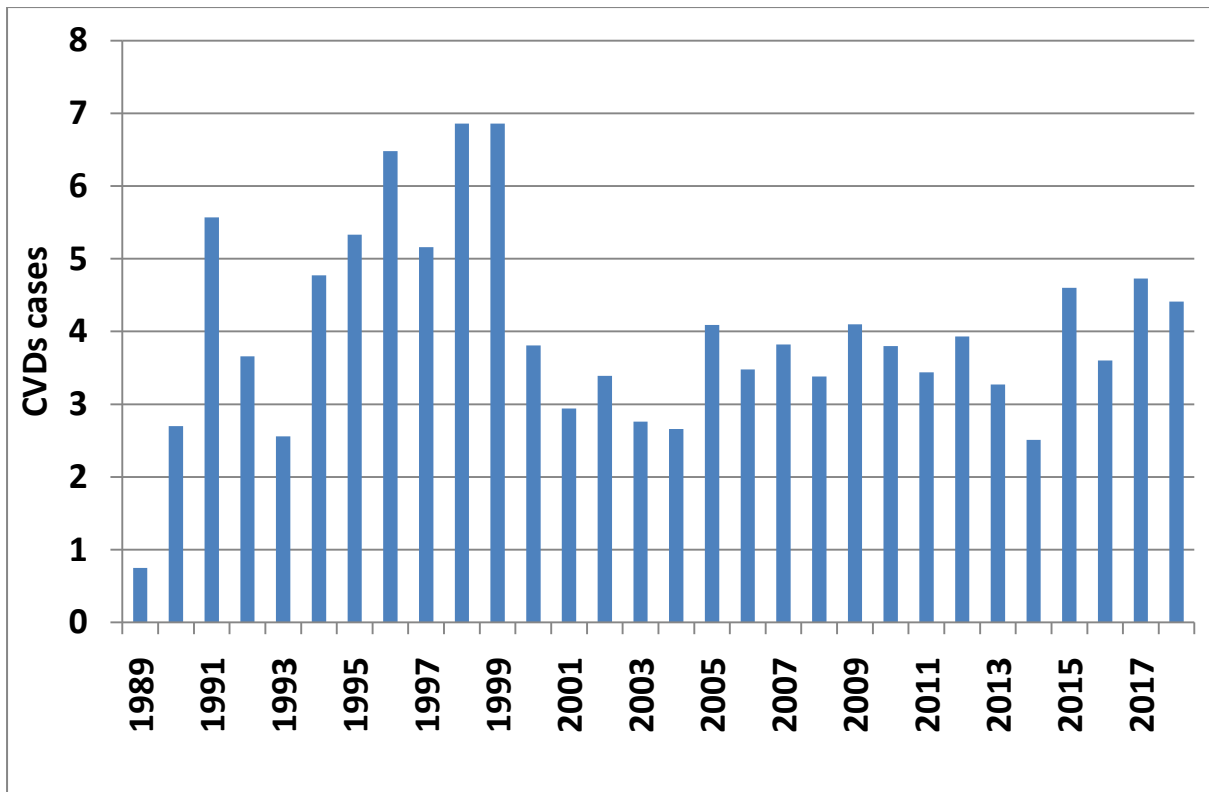
Διάγραμμα 5.9.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου



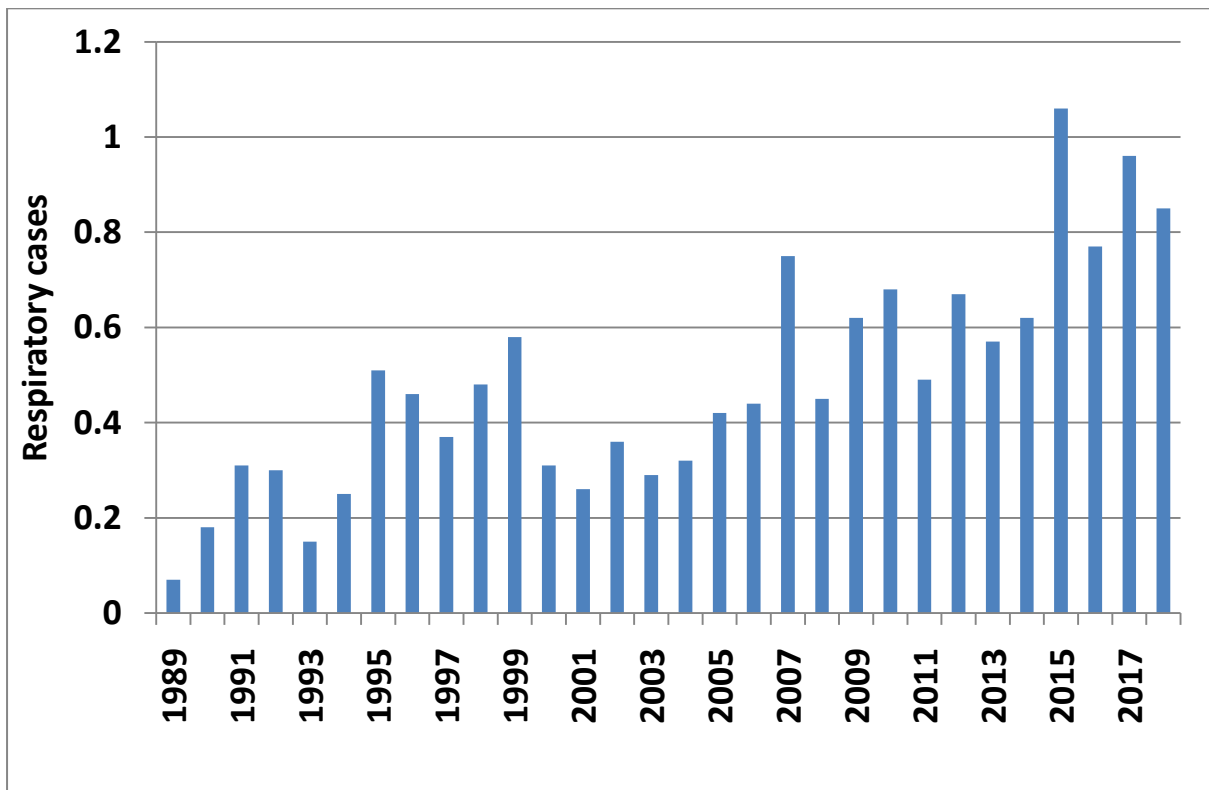
Διάγραμμα 5.9.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Αμαρουσίου



Διάγραμμα 5.9.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Αμαρουσίου



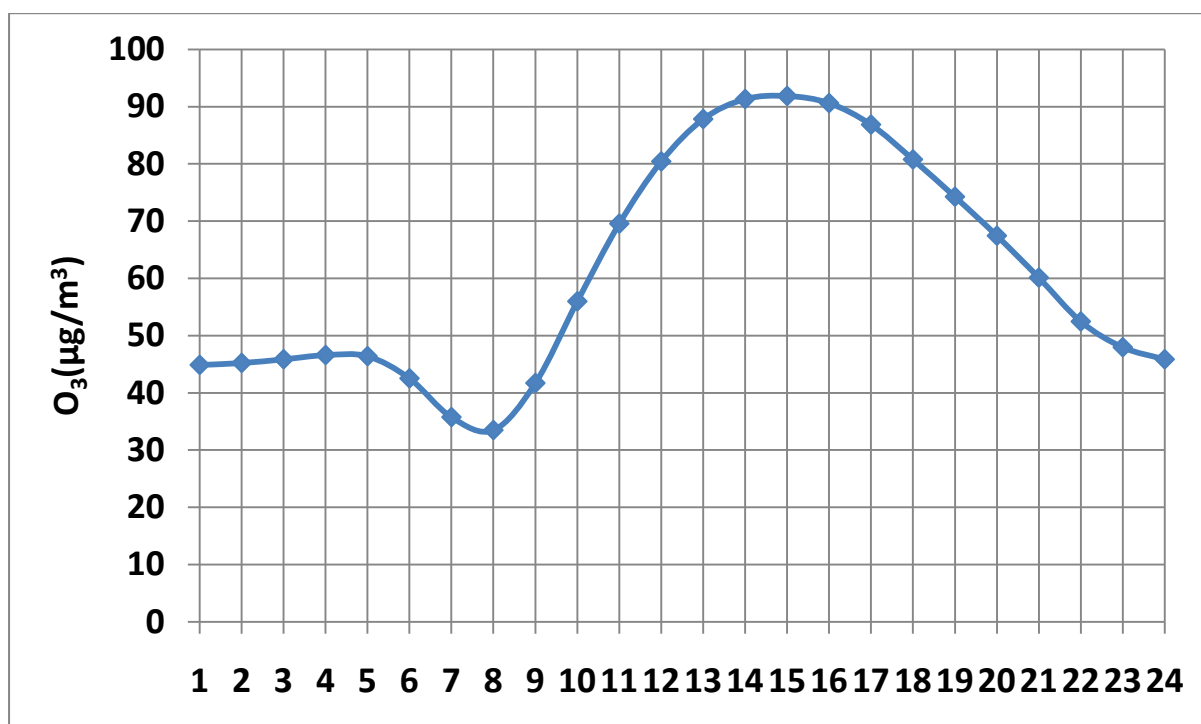
Διάγραμμα 5.9.6 CVDs cases στο σταθμό Αμαρουσίου



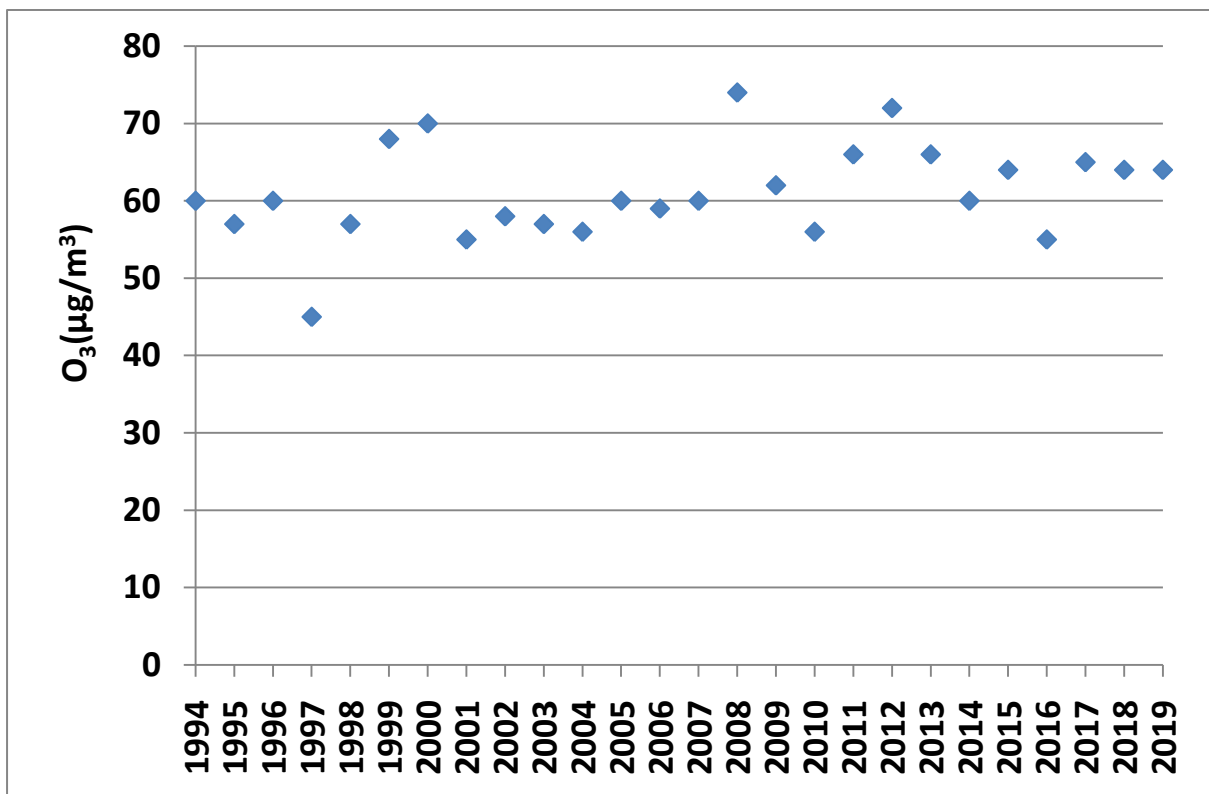
Διάγραμμα 5.9.7 Respiratory cases στο σταθμό Αμαρουσίου

Ο σταθμός Αμαρουσίου χαρακτηρίζεται ως αστικός – υποβάθρου και στο τετράωρο 13:00-16:00, οι ωριαίες τιμές ξεπερνούν τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το χρονικό διάστημα 9:00-22:00 κατά το οποίο εμφανίζονται οι μεγαλύτερες τιμές όζοντος, παραμένει το ίδιο όπως και στους προηγούμενους σταθμούς. Βρίσκεται κοντά στο 7^ο δημοτικό σχολείο, στο 8^ο γυμνάσιο και στο 9^ο λύκειο Αμαρουσίου καθώς και στο πάρκο Ελευθερίας. Έτσι η παρουσία μαθητών και κατ' επέκταση πολλών οχημάτων, συμβάλλει στην δημιουργία όζοντος. Οι μέσες ετήσιες τιμές κυμαίνονται από 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έως 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά κύρια βάση και το 1999 η μέγιστη τιμή για την περίοδο 1989-2019, έφτασε τα 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Την άνοιξη και το καλοκαίρι, οι μέσες μηνιαίες τιμές αυξήθηκαν και τον Ιούλιο, το όζον έφτασε τα 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ως συνήθως τα Σαββατοκύριακα παρουσιάζεται μεγιστοποίηση των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων εξαιτίας της εξόρμησης κόσμου στο πάρκο Ελευθερίας και την κίνηση των οχημάτων. Σημειώνεται πως την Κυριακή, η μέση τιμή άγγιξε τα 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις παρουσιάζονται σε όλα τα έτη, ενώ το 1999 ο ρύπος ξεπέρασε το όρια κατά 140 φορές. Το διάγραμμα CVDs παρουσιάζει σταθερή διακύμανση, ενώ το διάγραμμα Respiratory mortality έχει συνεχόμενη ανοδική τάση.

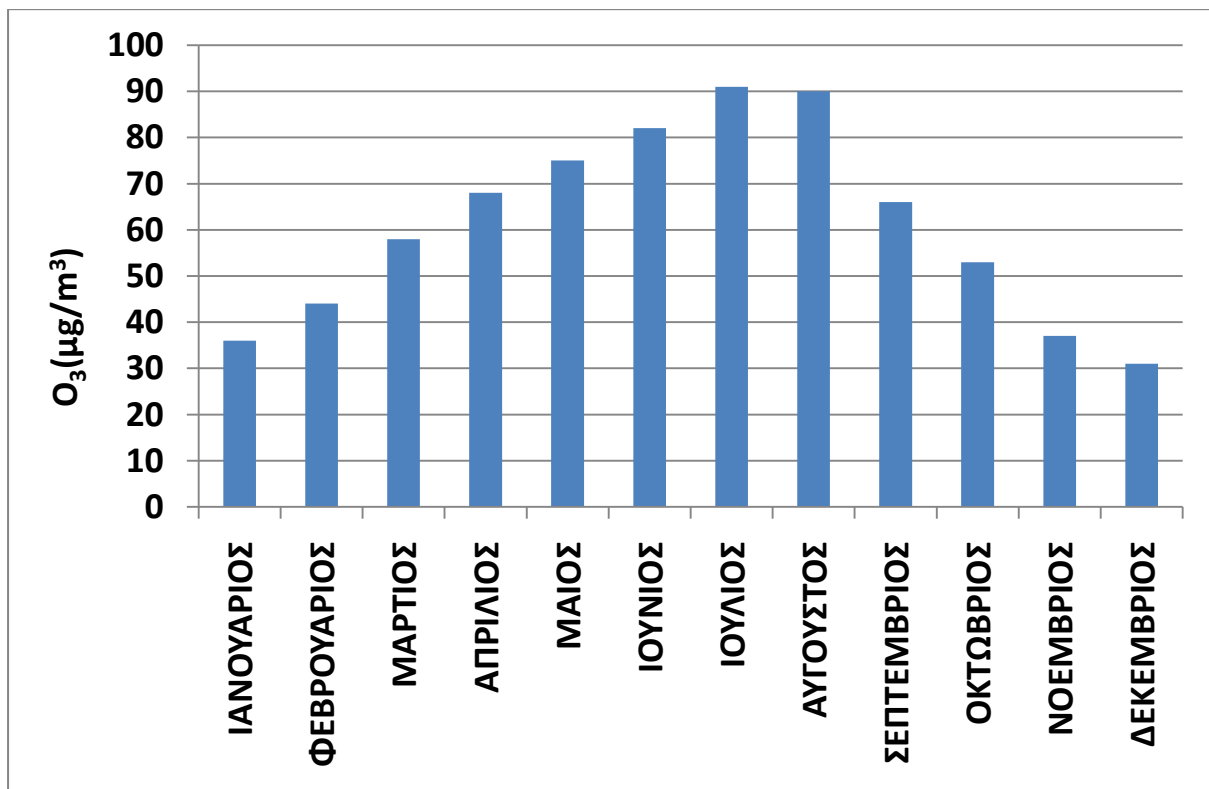
5.10 Σταθμός Λυκόβρυσης



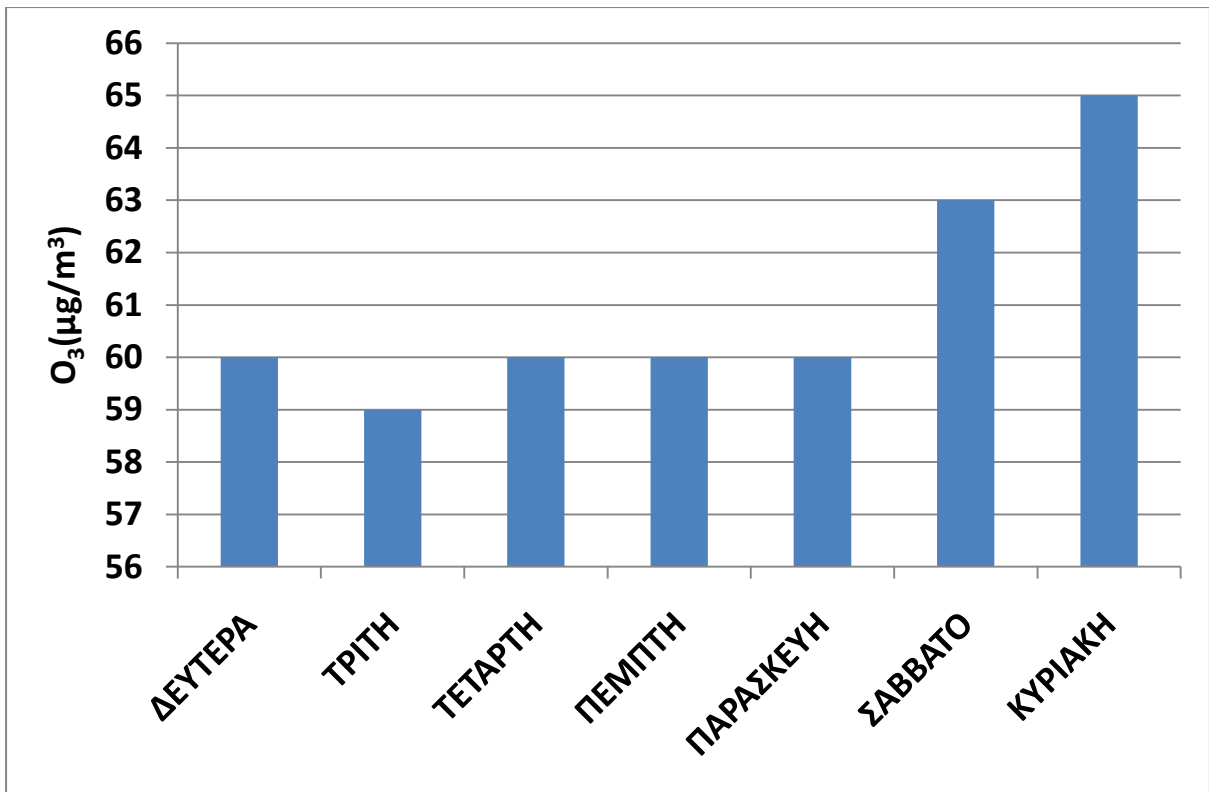
Διάγραμμα 5.10.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Λυκόβρυσης



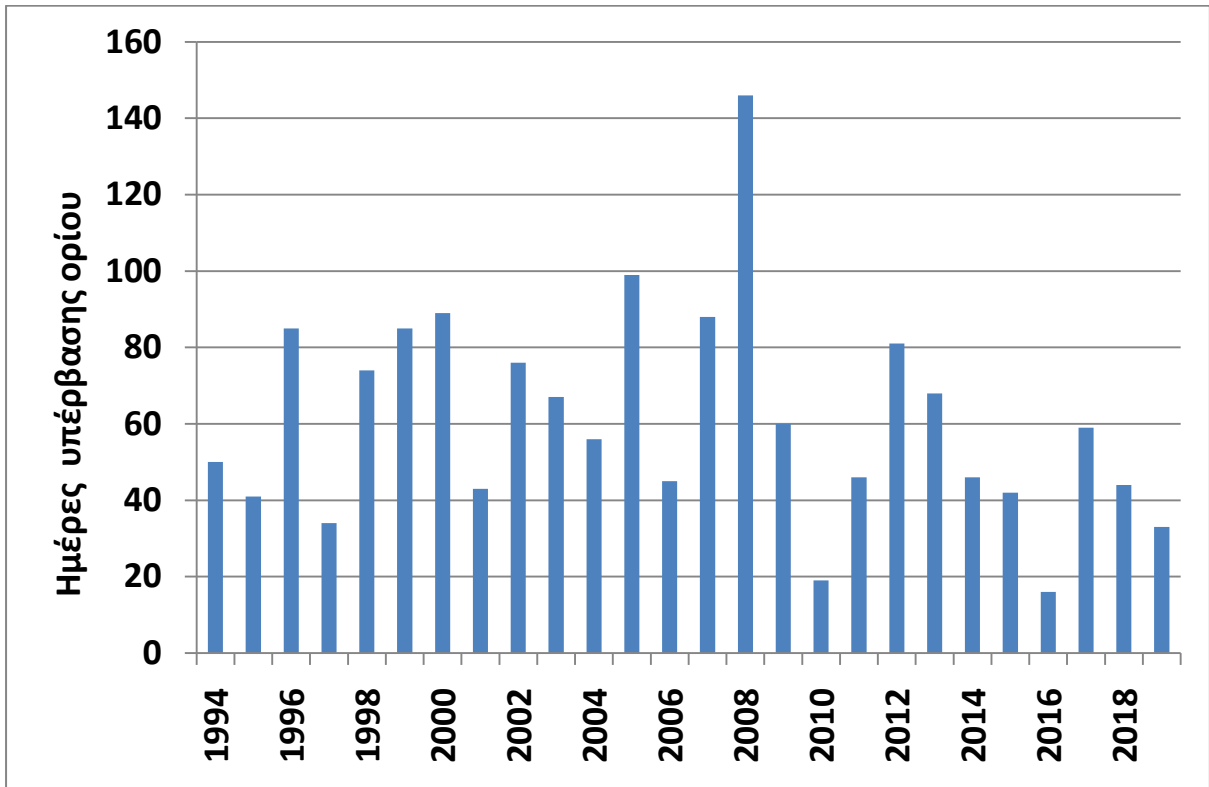
Διάγραμμα 5.10.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης



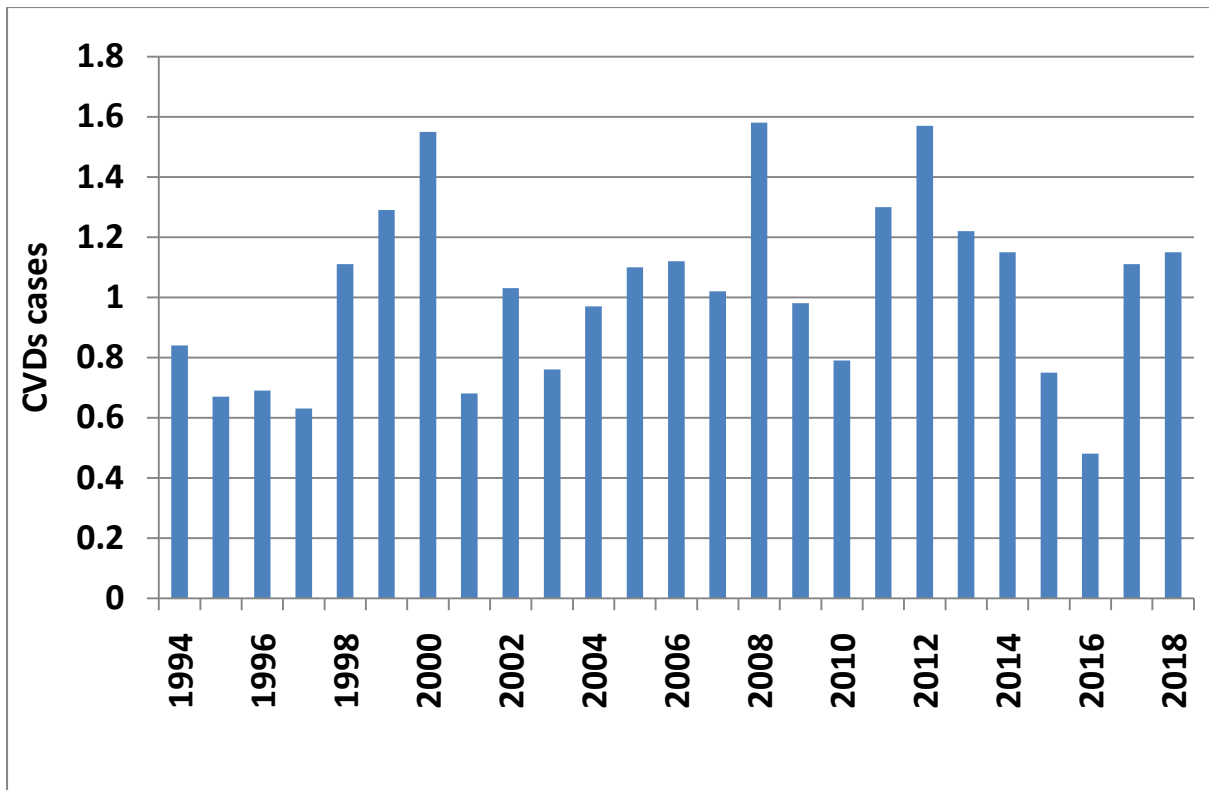
Διάγραμμα 5.10.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης



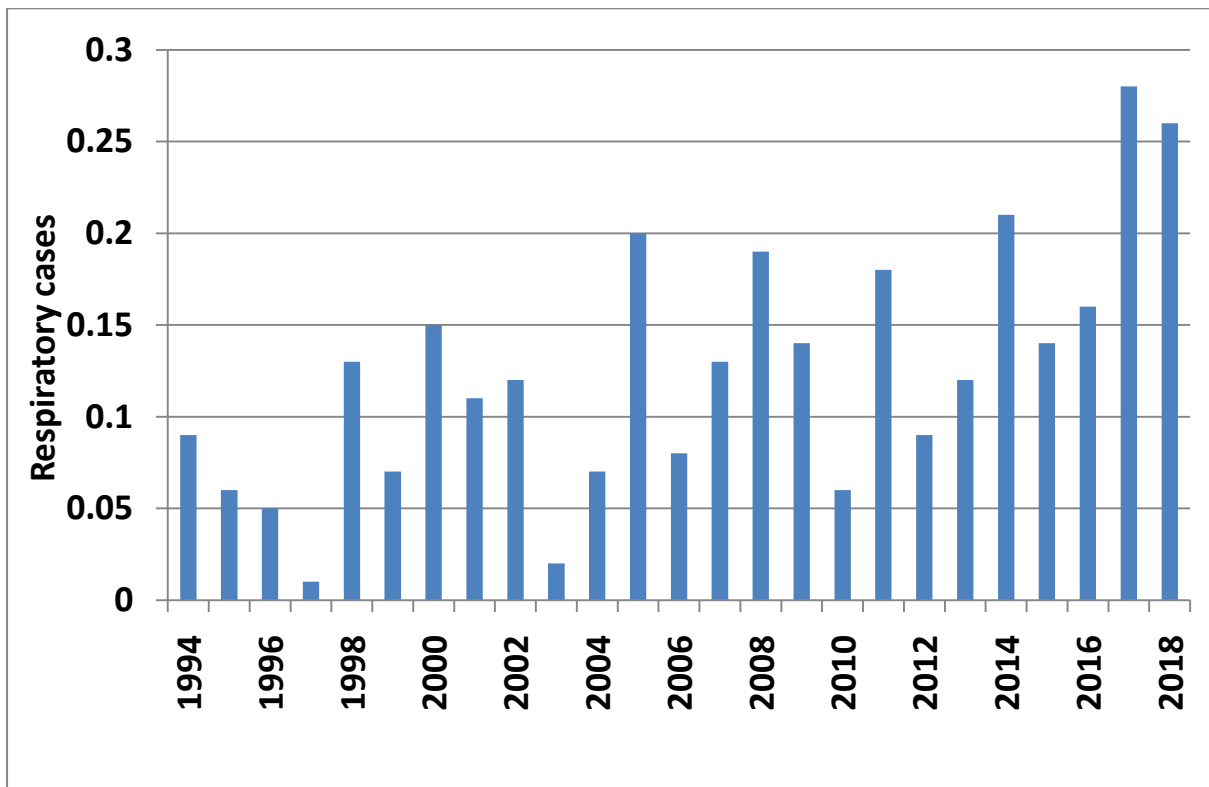
Διάγραμμα 5.10.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λυκόβρυσης



Διάγραμμα 5.10.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Λυκόβρυσης



Διάγραμμα 5.10.6 CVDs cases στο σταθμό Λυκόβρυσης

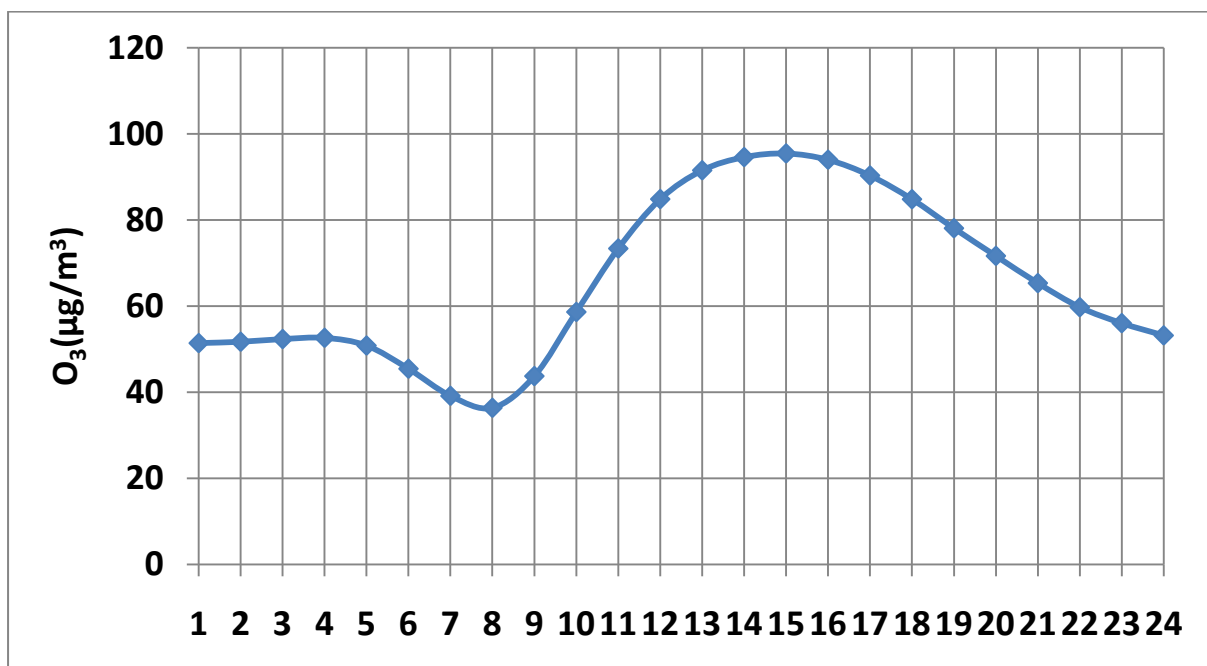


Διάγραμμα 5.10.7 Respiratory cases στο σταθμό Λυκόβρυσης

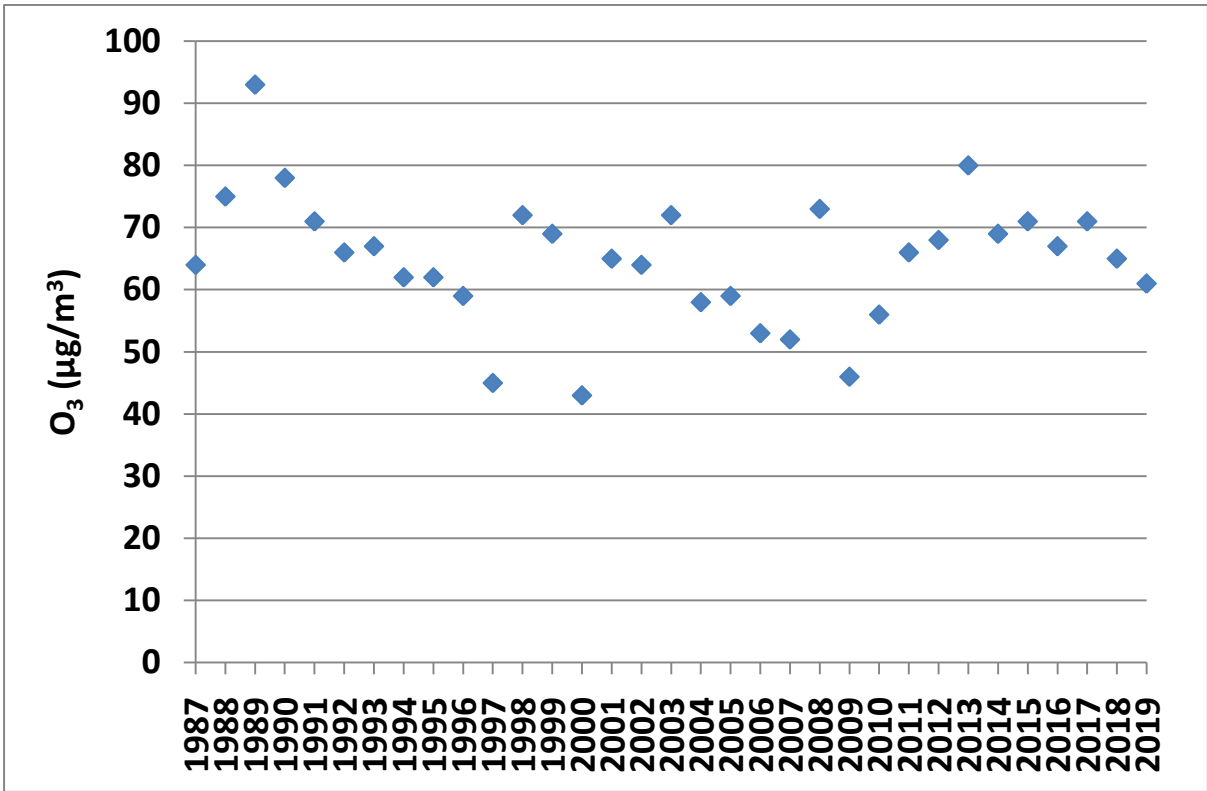
Ο σταθμός της Λυκόβρυσης χαρακτηρίζεται ως περιαστικός – υποβάθρου και στο τρίωρο 14:00-16:00 ενός τυπικού 24ωρου, οι τιμές του όζοντος ξεπερνούν τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Όπως πάντα από τις 9 το πρωί έως τις 10 το βράδυ, εμφανίζονται οι μεγαλύτερες ωριαίες τιμές.

Ο σταθμός βρίσκεται κοντά στο Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, στο διαδημοτικό γήπεδο Μεταμόρφωσης και στην Εταιρεία Διανομής Αερίου Αττικής. Επίσης, ο σταθμός γειτνιάζει με την Αττική οδό. Στα διαγράμματα παρατηρείται ότι οι μέσες ετήσιες τιμές κυμαίνονται από 50-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το χρονικό διάστημα 1994-2019 και το 2008 εμφανίζει μέγιστο 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επιπλέον, οι μέσες μηνιαίες μεγιστοποιούνται το δίμηνο Ιούλιος-Αύγουστος λόγω της υψηλής ηλιοφάνειας και φτάνουν μέχρι τα 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Το Σαββατοκύριακο, οι μέσες ημερήσιες τιμές αυξάνονται λόγω της κίνησης οχημάτων αλλά και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Την Κυριακή η μέγιστη τιμή είναι 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις παρατηρούνται σε όλα τα έτη και το 2008, το όριο ξεπεράστηκε κατά 143 φορές. Το διάγραμμα CVDs παρουσιάζει σταθερή διακύμανση, ενώ το διάγραμμα Respiratory mortality έχει συνεχόμενη ανοδική τάση.

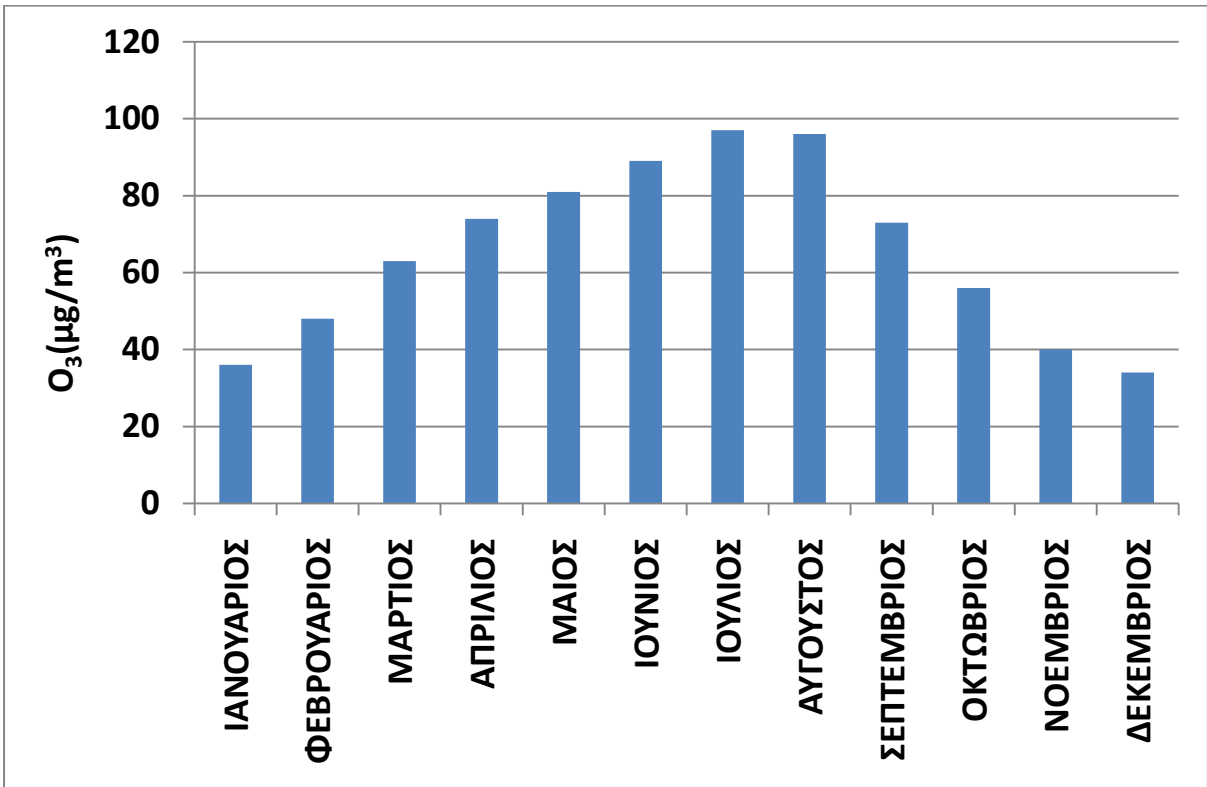
5.11 Σταθμός Λιοσίων



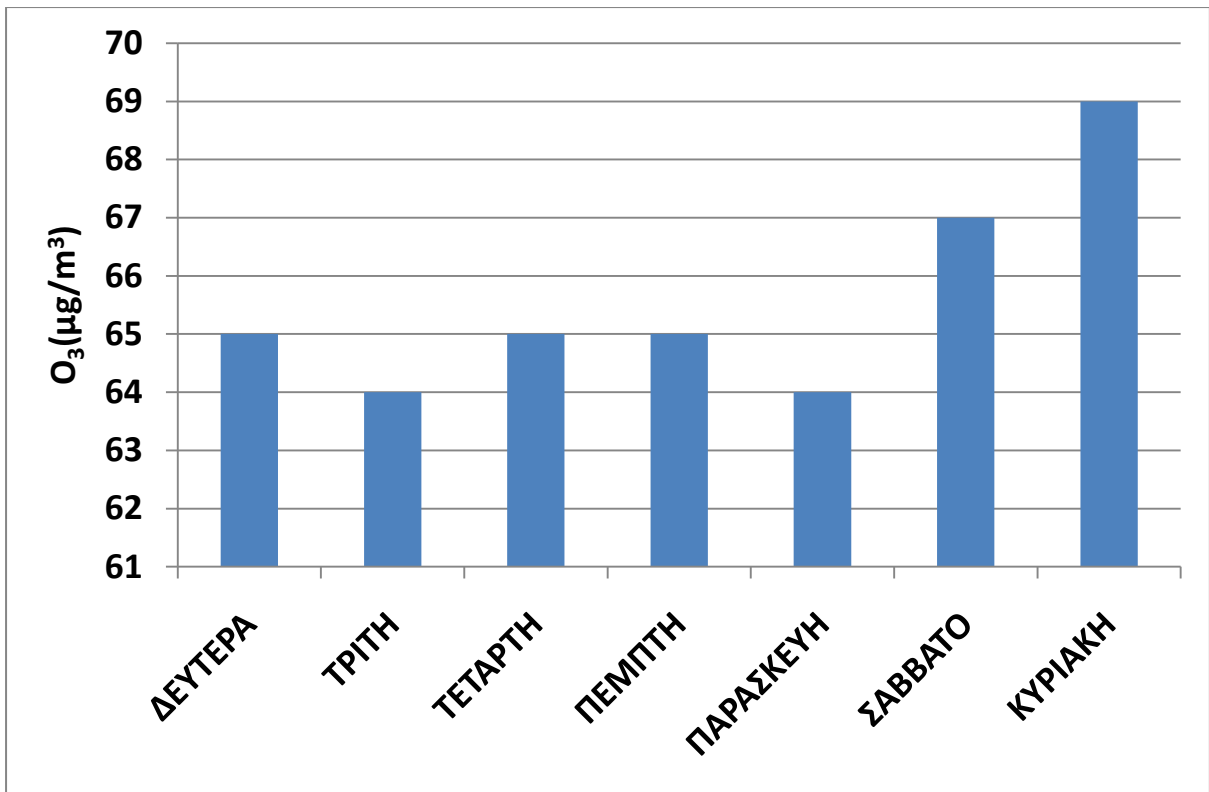
Διάγραμμα 5.11.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Λιοσίων



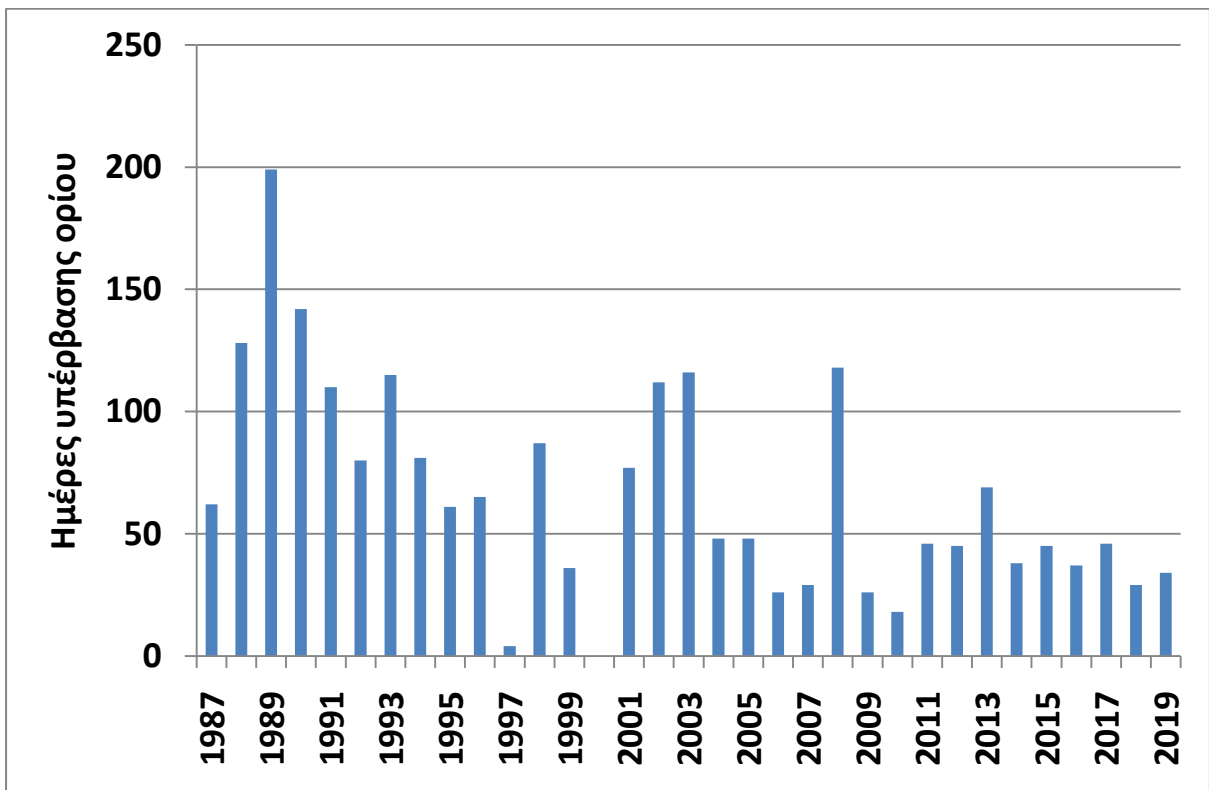
Διάγραμμα 5.11.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων



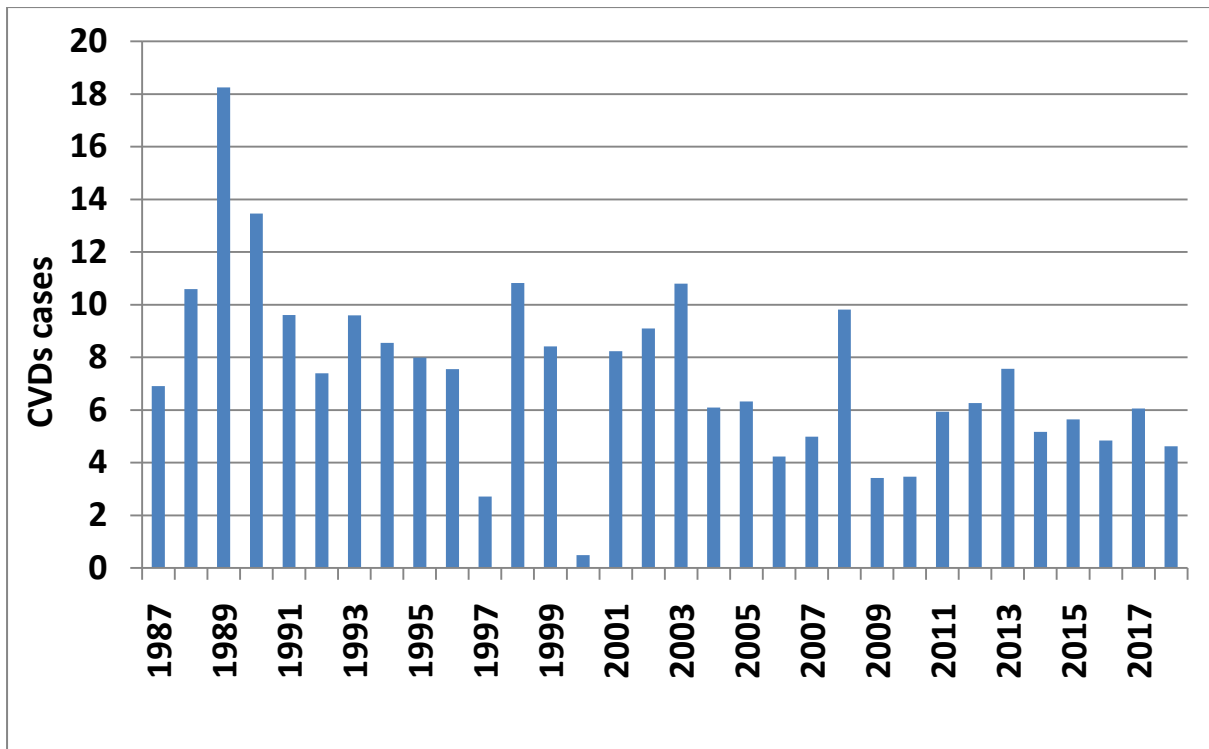
Διάγραμμα 5.11.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων



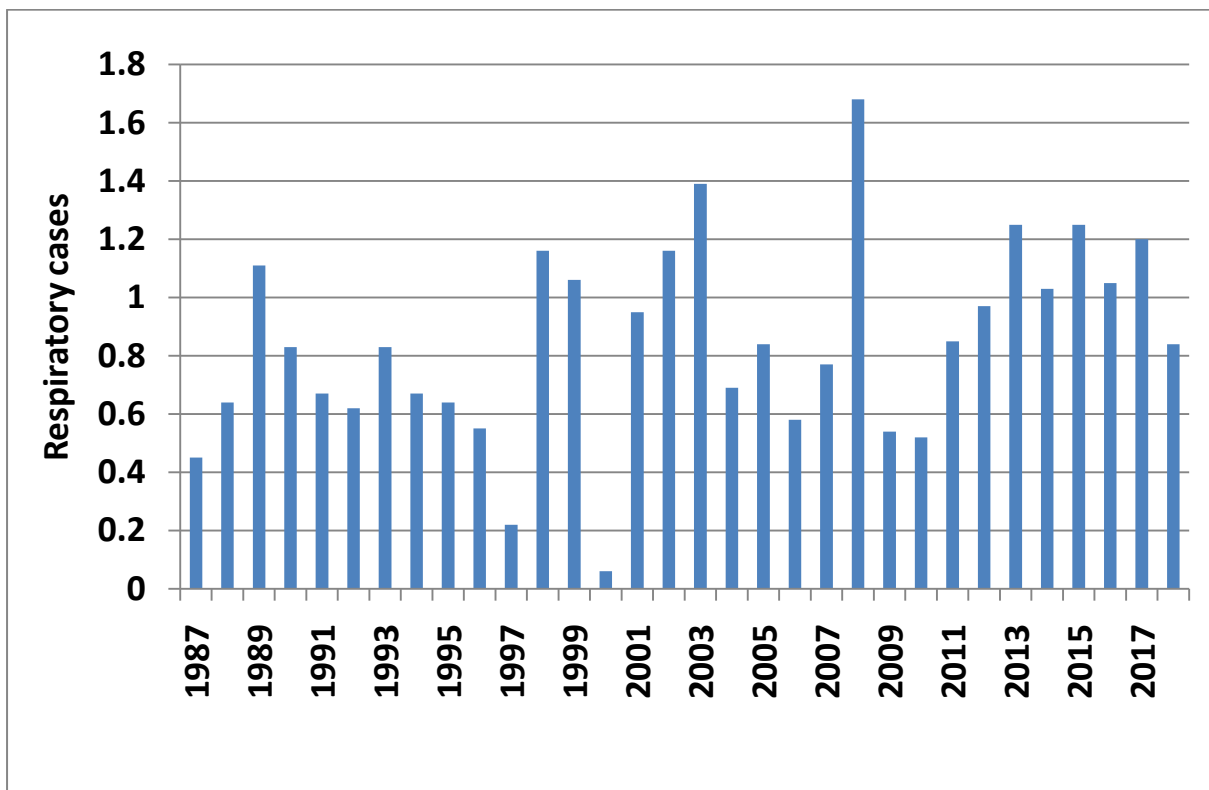
Διάγραμμα 5.11.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Λιοσίων



Διάγραμμα 5.11.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Λιοσίων



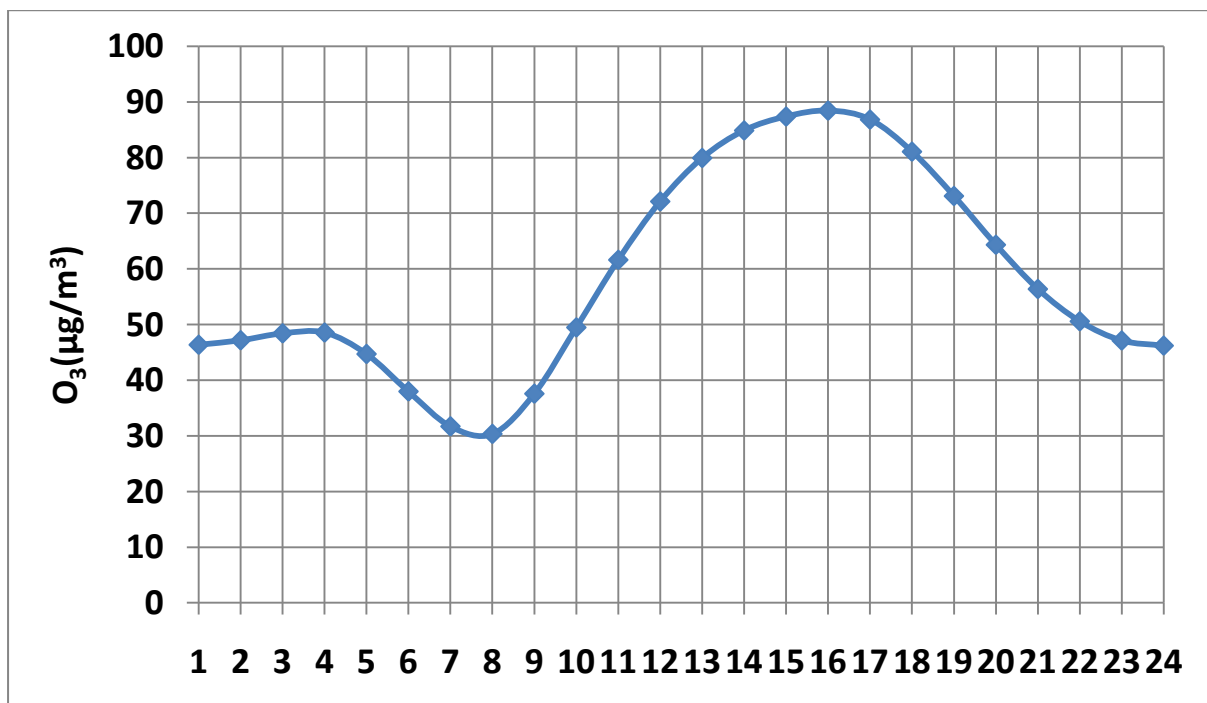
Διάγραμμα 5.11.6 CVDs cases στο σταθμό Λιοσίων



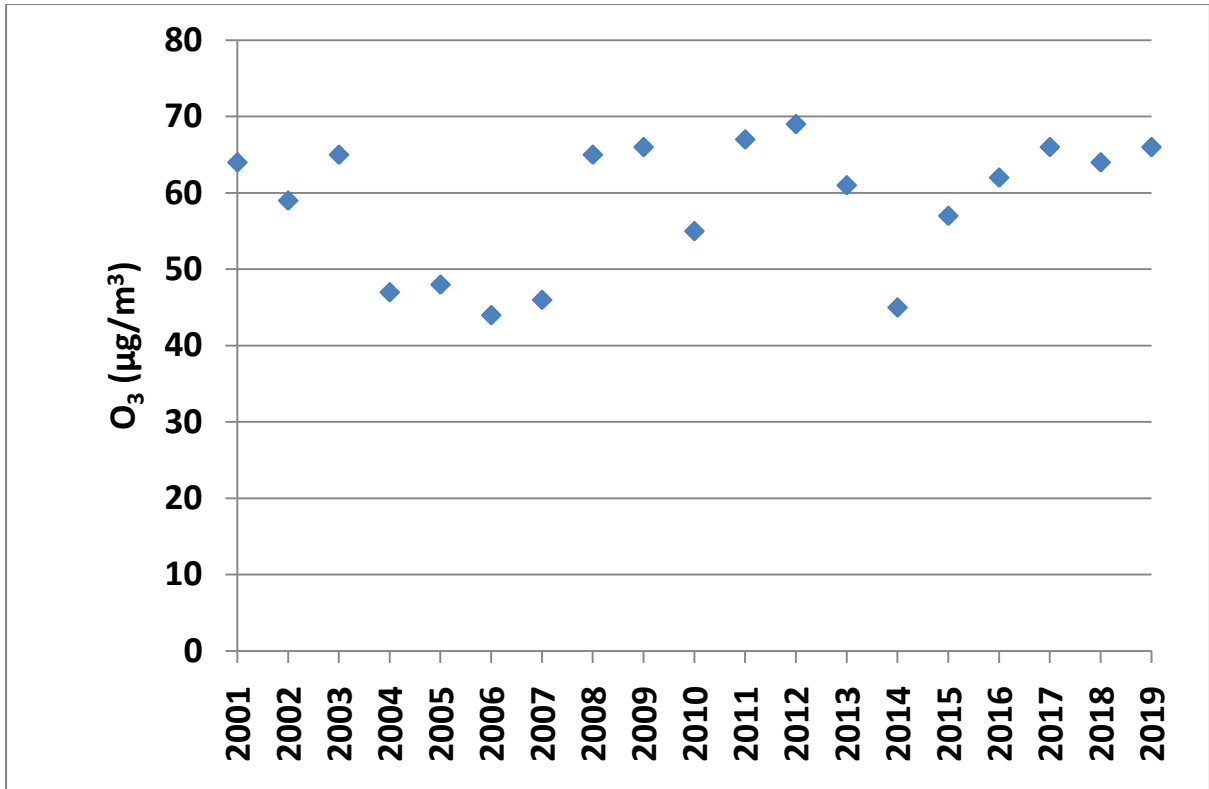
Διάγραμμα 5.11.7 Respiratory cases στο σταθμό Λιοσίων

Ο σταθμός των Λιοσίων είναι περιαστικός – υποβάθρου και στο τρίωρο 14:00-16:00, οι μέγιστες ωριαίες τιμές πλησιάζουν τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στο ευρύτερο χρονικό διάστημα 12:00-19:00, εμφανίζονται υψηλές τιμές. Ο σταθμός μέτρησης βρίσκεται κοντά στον Πολιτιστικό Σύλλογο Μακεδόνων και Θρακών Δήμου Φυλής και Βορειοδυτικής Αττικής καθώς και δίπλα στις οδούς Ανδρέα Καρκαβίτσα και Οδυσσέα Ελύτη, με την τελευταία να αποτελεί κεντρική οδική αρτηρία των Λιοσίων. Οι μέσες ετήσιες τιμές κυμαίνονται μεταξύ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για διάστημα μελέτης 1987 έως 2019. Το 1989 σημειώθηκε η μεγαλύτερη τιμή, ύψους $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες μηνιαίες τιμές μεγιστοποιούνται το καλοκαίρι και δη τον Ιούλιο με την μέτρηση να πλησιάζει τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Το Σαββατοκύριακο, οι μέσες ημερήσιες τιμές αυξάνονται ως συνήθως λόγω της κίνησης στις δύο προαναφερθείσες οδούς. Η Κυριακή εμφανίζει μέγιστη τιμή της τάξεως των $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις παρατηρούνται όλα τα έτη εκτός από το 2000, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το 1989, το όριο ξεπεράστηκε κατά 200 Φορές. Η εικόνα των διαγραμμάτων CVDs και Respiratory mortality είναι διαφορετική. Το διάγραμμα CVDs παρουσιάζει φθίνουσα διακύμανση, ενώ το διάγραμμα Respiratory mortality έχει σταθερή τάση.

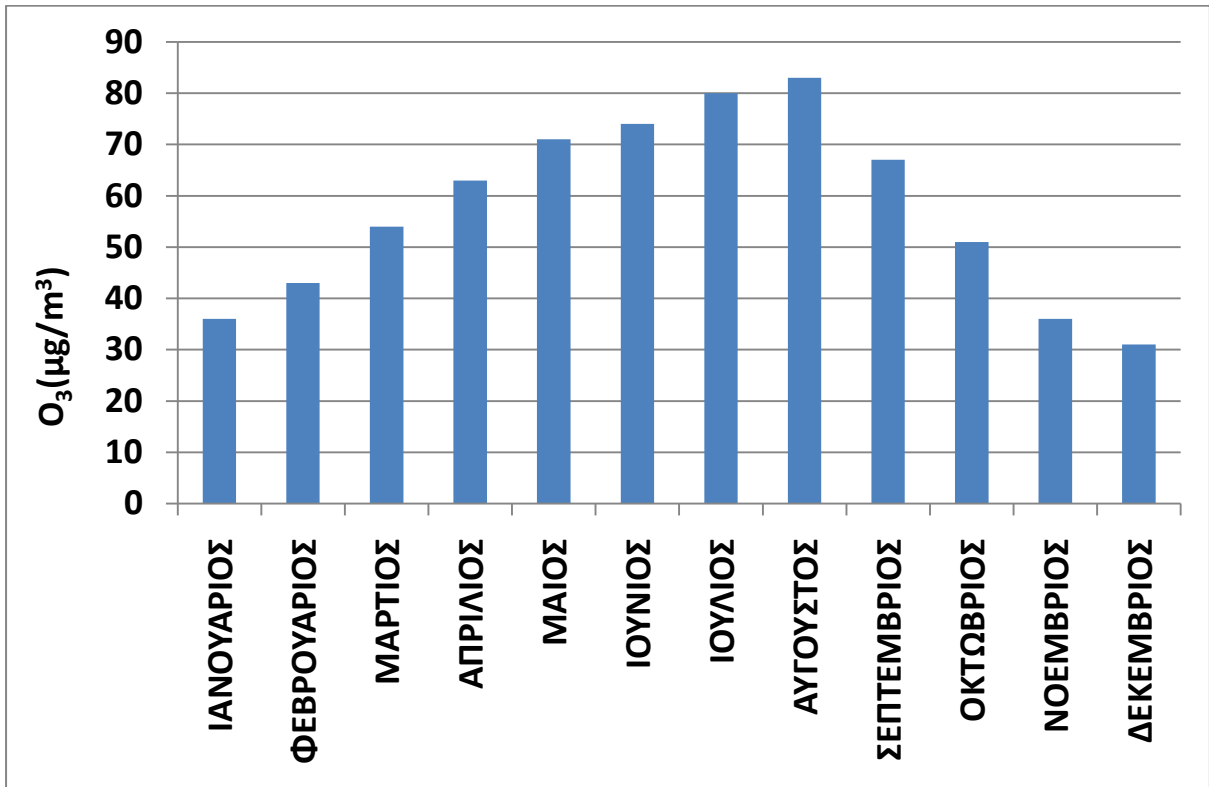
5.12 Σταθμός Ελευσίνας



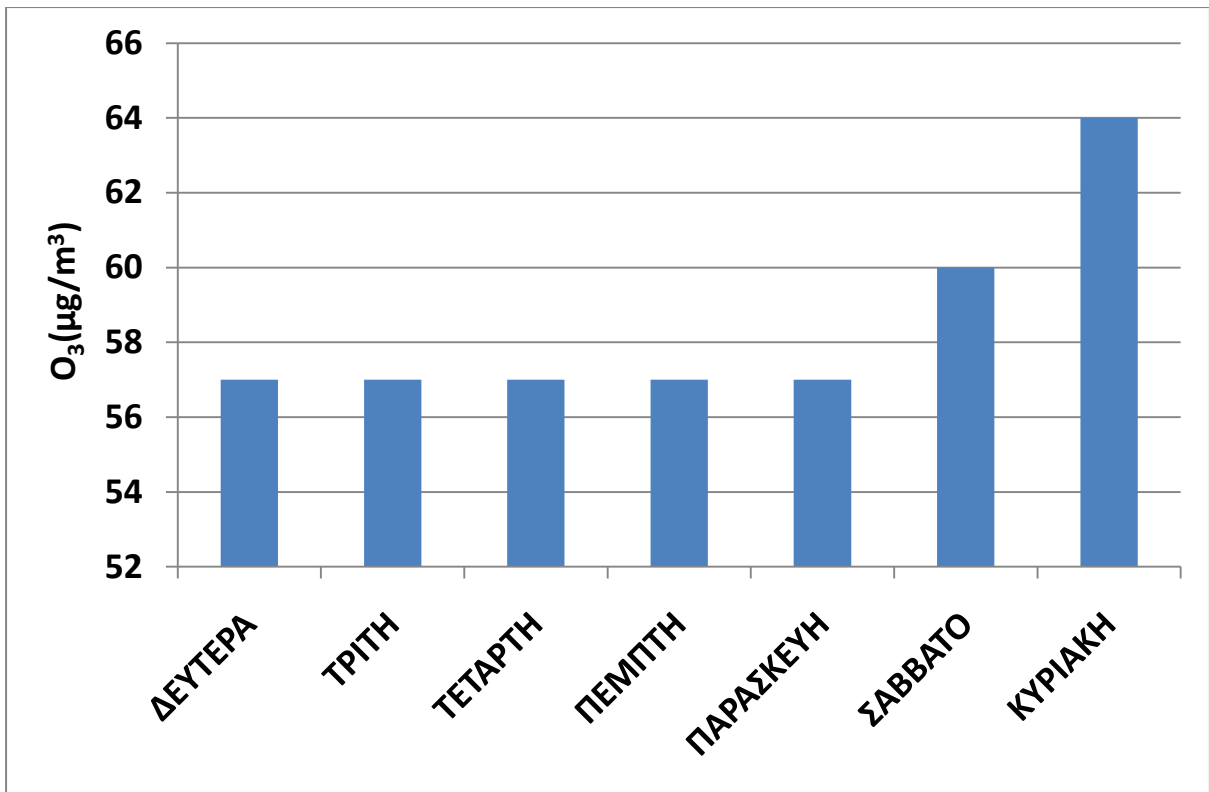
Διάγραμμα 5.12.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Ελευσίνας



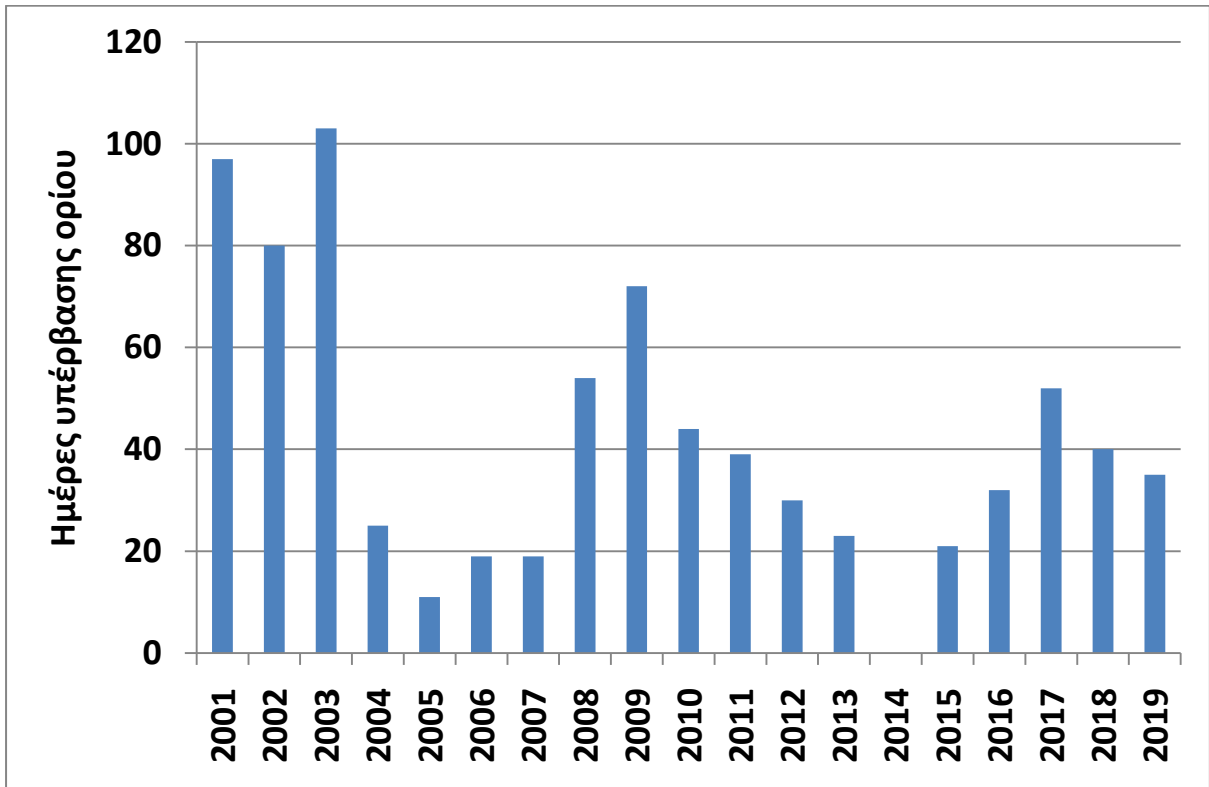
Διάγραμμα 5.12.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας



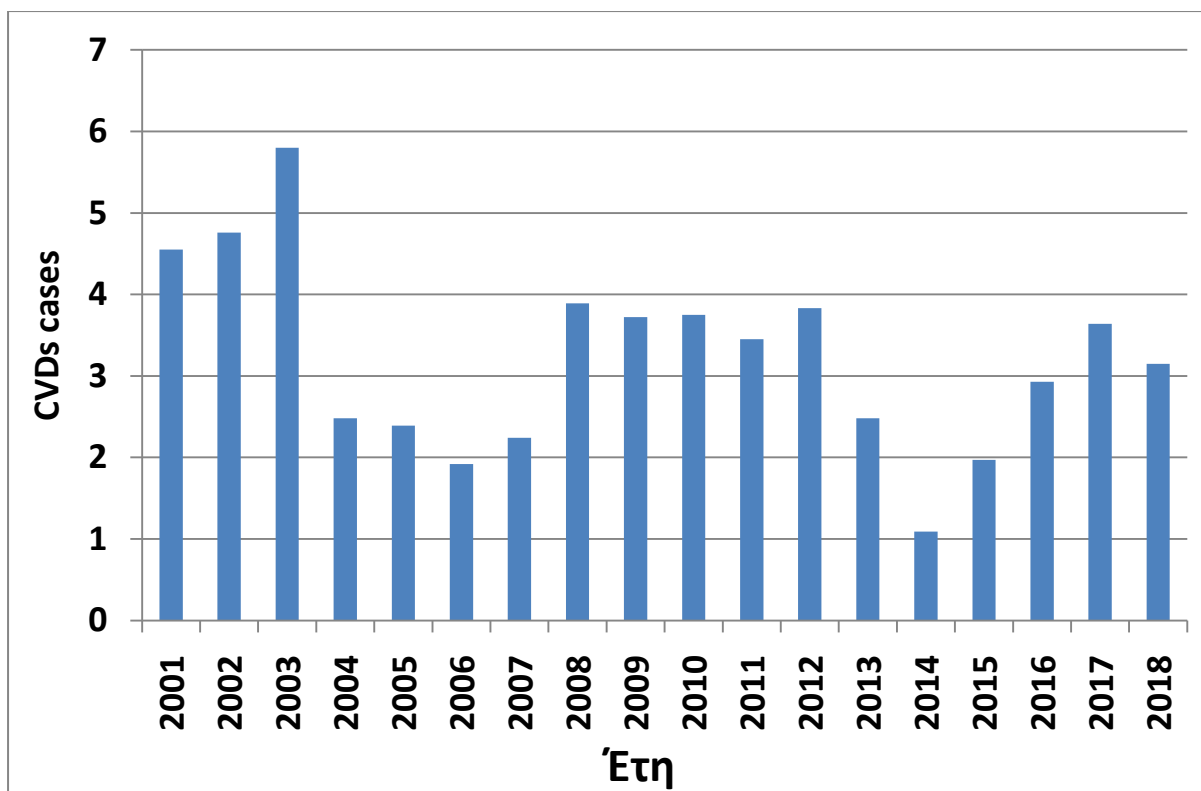
Διάγραμμα 5.12.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας



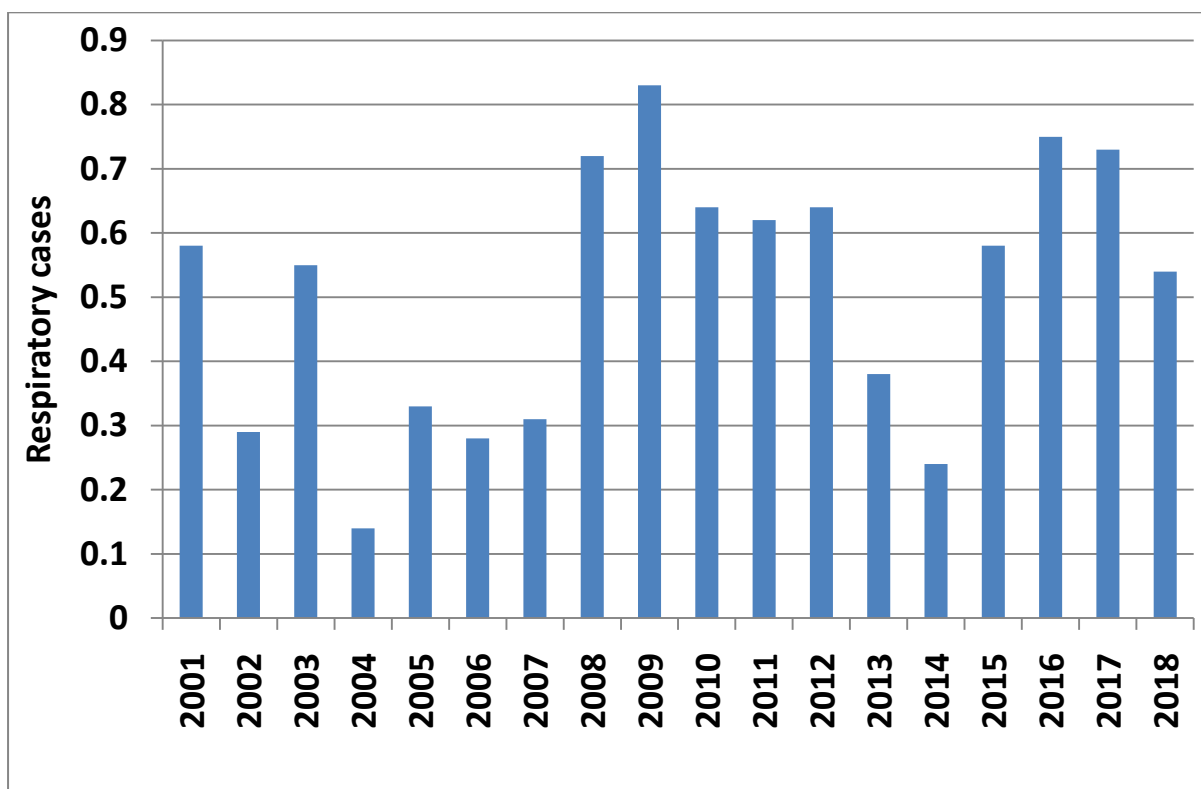
Διάγραμμα 5.12.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Ελευσίνας



Διάγραμμα 5.12.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Ελευσίνας



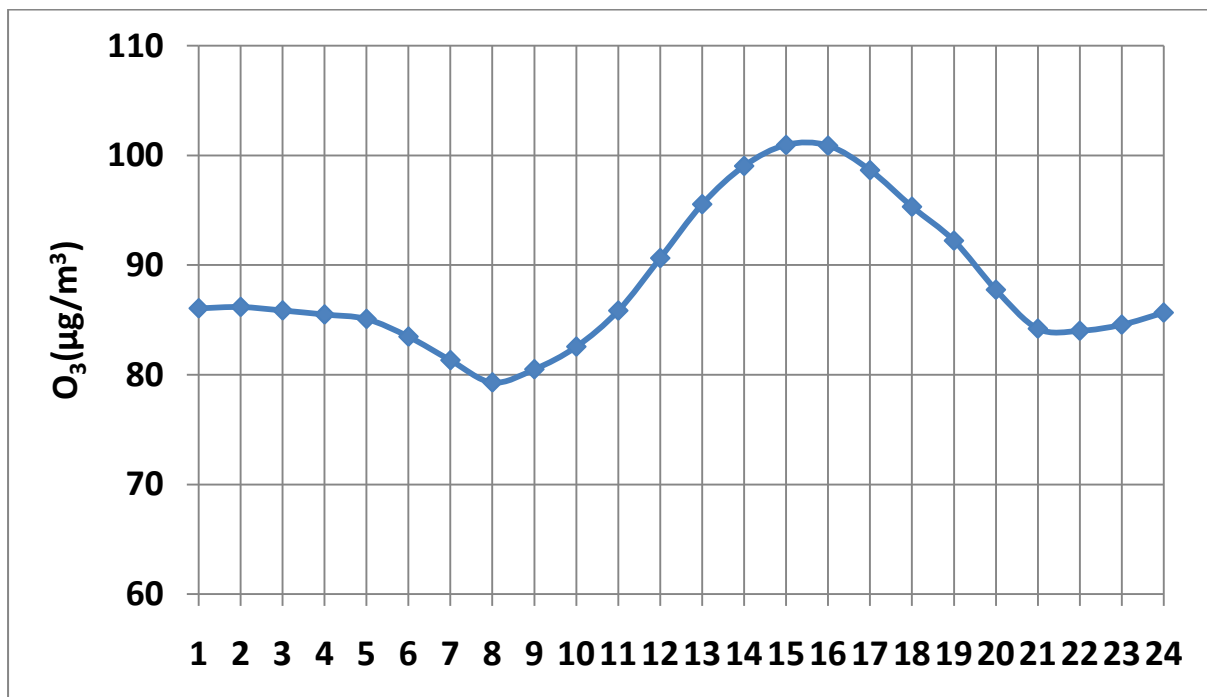
Διάγραμμα 5.12.6 CVDs cases στο σταθμό Ελευσίνας



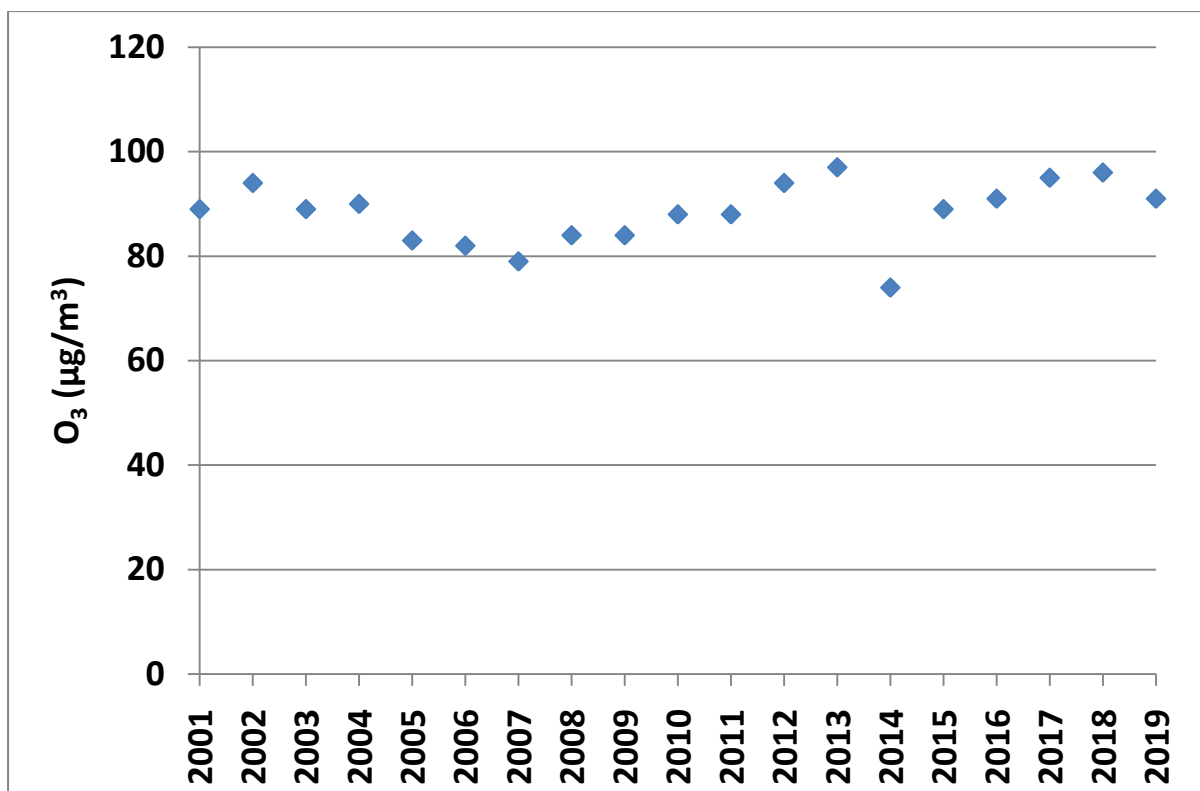
Διάγραμμα 5.12.7 Respiratory cases στο σταθμό Ελευσίνας

Ο σταθμός μέτρησης της Ελευσίνας χαρακτηρίζεται ως περιαστικός – βιομηχανικός και στο εξάωρο 13:00-18:00, οι καταγεγραμμένες τιμές ξεπερνούν τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και στις 16:00 σημειώνεται η μέγιστη ωριαία τιμή των 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ο σταθμός βρίσκεται σε ένα μεγάλο σχολικό συγκρότημα που αποτελείται από το 1^ο & 3^ο Γυμνάσιο Ελευσίνας, το Εσπερινό Γυμνάσιο Ελευσίνας με Λυκειακές τάξεις, το 1^ο ενιαίο Λύκειο Ελευσίνας και το 1^ο Λύκειο Ελευσίνας (Αριστοτέλειο), καθώς επίσης είναι κοντά και σε δύο πάρκα και έναν αθλητικό πολυχώρο. Έτσι εξηγούνται και οι υψηλές ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος λόγω των οχημάτων και των σχολικών εγκαταστάσεων. Οι μέσες ετήσιες τιμές δεν εμφανίζουν κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο, άλλοτε εμφανίζονται μέγιστα και άλλοτε ελάχιστα για το χρονικό διάστημα 2001-2019. Το 2012 σημειώνεται η υψηλότερη τιμή των 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Κατά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, οι συγκεντρώσεις του ρύπου ευνοούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες και τον Αύγουστο ξεπερνάει τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα Σαββατοκύριακα, οι μέσες ημερήσιες τιμές μειοποιούνται εξαιτίας των οικογενειών και των παιδιών που παρευρίσκονται στα πάρκα και στον αθλητικό πολυχώρο καθώς και της πληθώρας των οχημάτων. Την Κυριακή, εντοπίζεται η μεγαλύτερη τιμή που αντιστοιχεί σε 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις υπάρχουν σε όλα τα έτη εκτός του 2014 και μάλιστα το 2003, σημειώθηκαν οι περισσότερες. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι συγκριτικά με τις άλλες περιοχές οι υπερβάσεις δεν είναι τόσο ψηλές. Αντίστοιχα, παρατηρείται ότι τα CVDs και τα Respiratory mortality επεισόδια κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα.

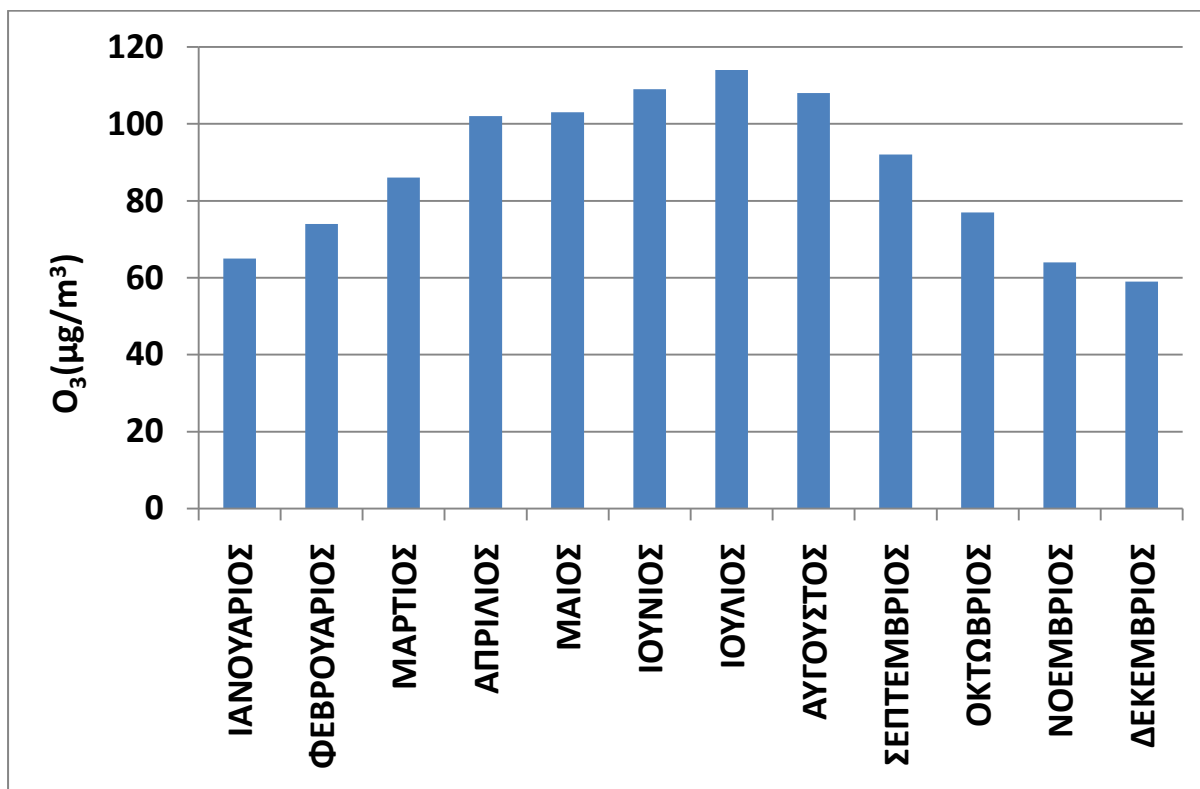
5.13 Σταθμός Θρακομακεδόνων



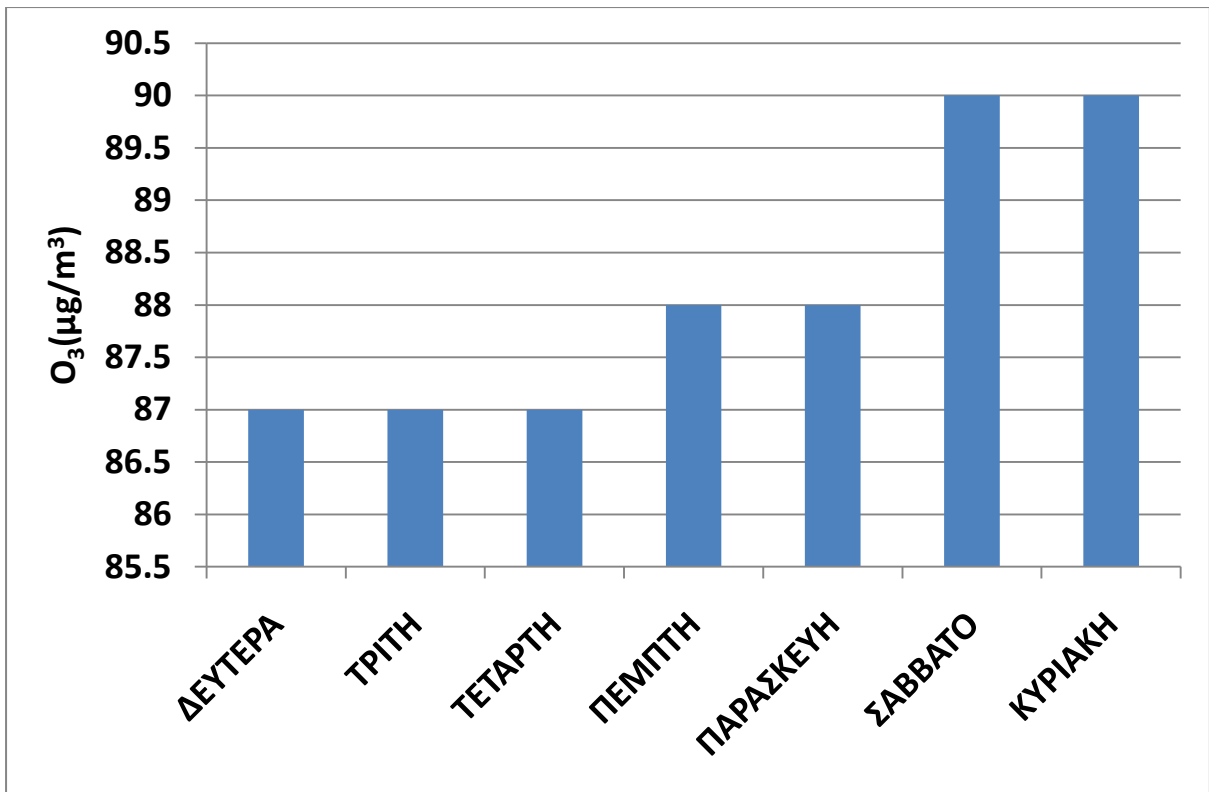
Διάγραμμα 5.13.1 Τυπικό 24ωρο στο σταθμό Θρακομακεδόνων



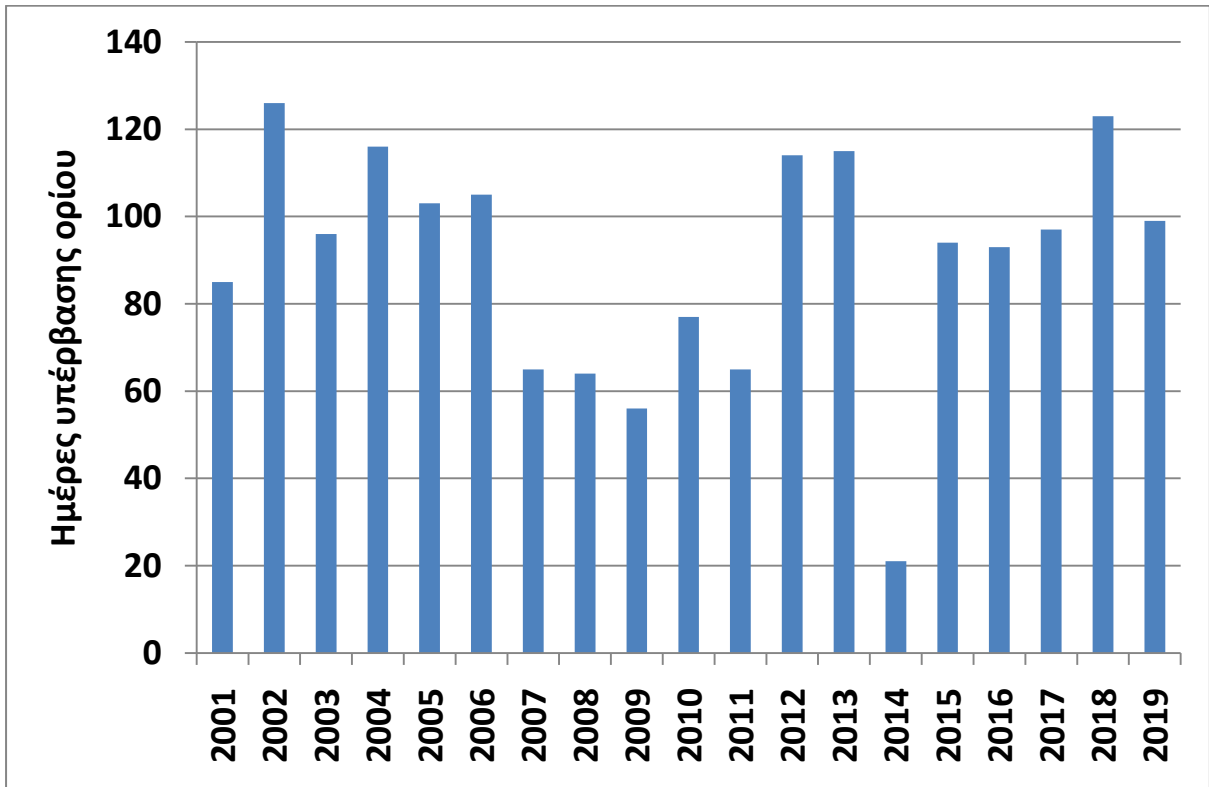
Διάγραμμα 5.13.2 Μέσες ετήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων



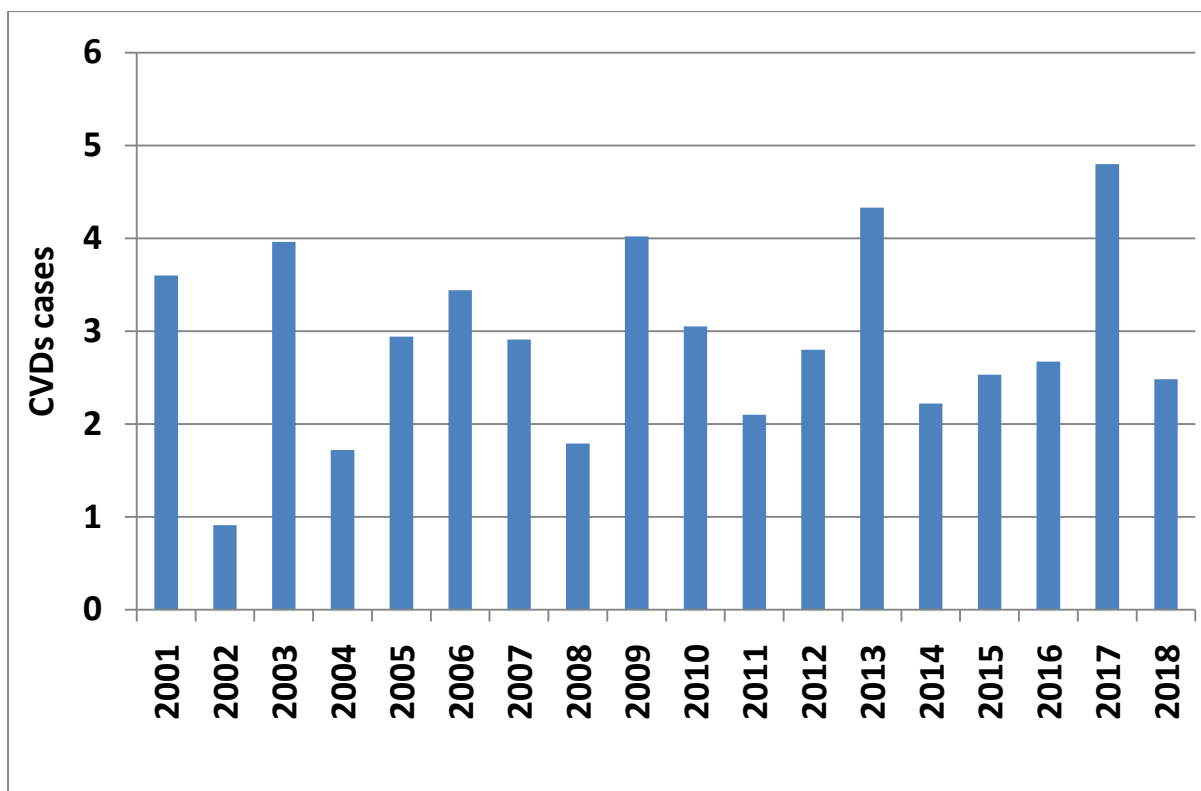
Διάγραμμα 5.13.3 Μέσες μηνιαίες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων



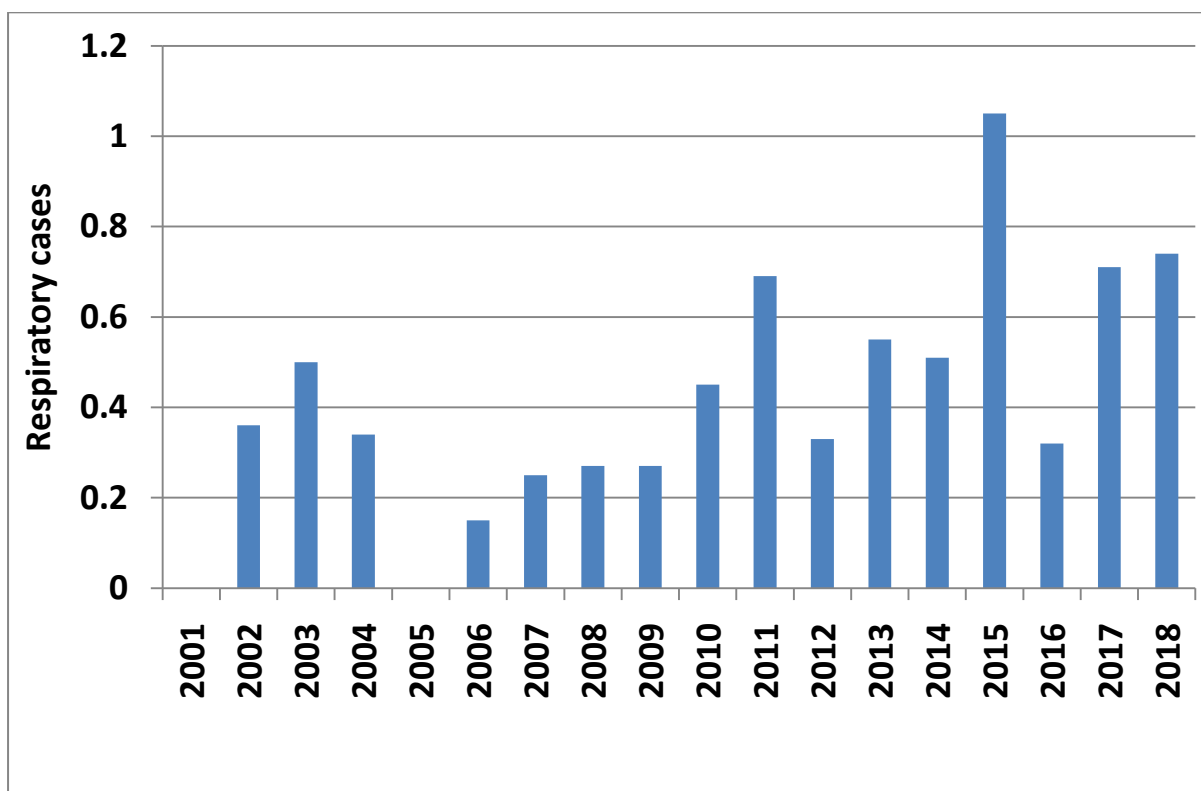
Διάγραμμα 5.13.4 Μέσες ημερήσιες τιμές όζοντος στο σταθμό Θρακομακεδόνων



Διάγραμμα 5.13.5 Υπερβάσεις στο σταθμό Θρακομακεδόνων



Διάγραμμα 5.13.6 CVDs cases στο σταθμό Θρακομακεδόνων



Διάγραμμα 5.13.7 Respiratory cases στο σταθμό Θρακομακεδόνων

Ο σταθμός μέτρησης των Θρακομακεδόνων είναι περιαστικός – υποβάθρου και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς περικλείεται και από τα πέντε όρη της Αττικής όπως αυτά έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, με αποτέλεσμα το όζον να «εγκλωβίζεται» και να μην έχει δίοδο διαφυγής. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το τυπικό 24ωρο καθώς στο επτάωρο 13:00-19:00, οι τιμές ξεπερνούν τα $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στο δίωρο 15:00-16:00 οι τιμές υπερβαίνουν τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι Θρακομακεδόνες εμφανίζουν τις υψηλότερες μετρήσεις του όζοντος από τους 13 σταθμούς που εξετάζονται. Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται κοντά στο Δασόκτημα Τάτσιου – Σαλονίκης Λοιμικού – Συν ιδιόκτητο Δάσος Γκούρα – Πάρνηθας και στο πυροφυλάκιο Μακεδόνων. Οι μέσες ετήσιες τιμές για το διάστημα 2001-2019 κυμαίνονται μεταξύ $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2013 η μέγιστη μετρηθείσα τιμή άγγιξε τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες μηνιαίες τιμές ευνοούνται τους θερινούς μήνες και ο Ιούλιος πλησίασε τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι μέσες ημερήσιες τιμές εμφανίζουν υψηλές τιμές μετρήσεων καθόλη την εβδομάδα και το Σαββατοκύριακο σημειώνονται τιμές της τάξεως των $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Υπερβάσεις για το εξεταζόμενο διάστημα υπήρχαν σε όλα τα έτη και είναι πάρα πολλές. Γεγονός που επιβεβαιώνει ότι ο ρύπος εγκλωβίζεται στις παρυφές του όρου Πάρνηθας και η παρουσία του ενισχύεται από τους νότιους ανέμους που φυσούν από την πλευρά του Σαρωνικού. Όμως, παρατηρείται ότι τα CVDs και τα Respiratory mortality επεισόδια κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή είναι αραιοκατοικημένη.

6. Συμπεράσματα και σχόλια των αποτελεσμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος στο Λεκανοπέδιο Αττικής για το χρονικό διάστημα 1987-2019. Οι συγκεντρώσεις των ρύπων ελήφθησαν από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, περιλαμβάνοντας δεδομένα από σταθμούς παρακολούθησης ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.

Το Λεκανοπέδιο Αττικής λόγω του αυξημένου πληθυσμού που παρουσιάζει, των μορφολογικών του χαρακτηριστικών και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή εμφανίζει συχνά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το όζον χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 13 σταθμούς, αστικούς και περιαστικούς, διάσπαρτους σε όλο το λεκανοπέδιο.

Μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις ενός τυπικού 24ωρου, οι μέσες ετήσιες, ημερήσιες και ημερήσιες συγκεντρώσεις κυλιόμενου 8ωρου καθώς και οι υπερβάσεις ανά έτος και έγινε συσχετισμός τους με τις μετεωρολογικές, μορφολογικές και λοιπές συνθήκες που ευνόησαν τον σχηματισμό φωτοχημικού νέφους. Η εικόνα που παρουσιάζει ο κάθε σταθμός από χρονιά σε χρονιά, για το χρονικό διάστημα 1987-2019, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες μεταβολές. Η συγκέντρωση του ρύπου παραμένει σε κάθε σταθμό περίπου για όλη την εξεταζόμενη περίοδο σταθερή. Αντίθετα διαφορετική εικόνα παρουσιάζουν οι σταθμοί μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ο μετρητικός σταθμός των Θρακομακεδόνων εμφανίζει κάθε χρόνο σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ ο σταθμός των Πατησίων παρουσιάζει χαμηλότερες.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις που εντοπίστηκαν, συνέβησαν κατά τη περίοδο που παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή ακτινοβολία, συνδυασμένες με ήπιους ανέμους, δηλαδή τους μήνες από Απρίλιο μέχρι και Οκτώβριο στο πλείστο των περιπτώσεων.

Οι συγκεντρώσεις του όζοντος εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις των NO_x και των VOCs (πρόδρομες ενώσεις), χωρίς όμως να είναι ευθέως ανάλογες. Στις αγροτικές περιοχές, τις οποίες μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ημι-ρυπασμένες σε σχέση με τις αστικές περιοχές, και τα προάστια πόλεων ο λόγος VOCs/NO_x είναι μεγαλύτερος απ' ότι στα αστικά κέντρα. Σε αυτές τις περιοχές ο καθαρός ρυθμός παραγωγής όζοντος εξαρτάται μόνο από τα NO_x ενώ πολύ μικρή ευαισθησία δείχνει στις αλλαγές των συγκεντρώσεων των VOCs. Από την άλλη, στις αστικές και περιαστικές περιοχές όπου ο λόγος VOCs/NO_x είναι μικρός, ο ρυθμός παραγωγής όζοντος αυξάνεται αυξανόμενης της συγκέντρωσης των VOCs αλλά μένει αμετάβλητος ή μειώνεται αυξανόμενης της συγκέντρωσης των NO_x. Αυτό συμβαίνει επειδή στη ρυπασμένη αστική ατμόσφαιρα όταν ο λόγος των συγκεντρώσεων NO_x προς VOCs είναι πολύ υψηλός, η ελεύθερη ρίζα OH οξειδώνει κατά προτίμηση περισσότερο NO₂ προς HNO₃ σύμφωνα με την αντίδραση $\text{NO}_2 + \text{OH} \rightarrow \text{HNO}_3$ (αντίδραση τερματισμού) από ότι VOCs, οδηγώντας στην απενεργοποίηση του συστήματος και κατά συνέπεια στην καταστολή της παραγωγής όζοντος μέχρις ότου μειωθεί ουσιαστικά η συγκέντρωση των NO_x [31].

Οι ρύποι αυτοί, συγκεντρώνονται στο αστικό κέντρο του λεκανοπεδίου με την εκπομπή τους να είναι συνεχόμενη, βοηθώντας έτσι την παραγωγή του όζοντος, ενώ τις βραδινές ώρες η μείωση των ρύπων προκαλεί ελάττωση στις συγκεντρώσεις όζοντος. Ακόμη, παρατηρείται ότι ο σχηματισμός φωτοχημικού νέφους στο αστικό κέντρο της Αθήνας είναι λιγότερο έντονος, παρόλο που στο κέντρο είναι λογικό να έχει περισσότερη ρύπανση.

Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μεταφορά πρωτογενών ρύπων που ευθύνονται για τον σχηματισμό όζοντος στις περιαστικές περιοχές, με αποτέλεσμα την αυξημένη συγκέντρωση σε αυτές τις περιοχές. Ένας από τους τρόπους απομάκρυνσης το συσσωρευμένου όζοντος είναι οι βροχοπτώσεις, για αυτό το 2014 που η θερινή περίοδος χαρακτηρίστηκε από έντονες υγρές κατακρημνίσεις οι συγκεντρώσεις όζοντος ήταν αισθητά μειωμένες, ενώ το 2017 οι συγκεντρώσεις, σε όλους τους σταθμούς, αυξήθηκαν λόγω των καιρικών συνθηκών. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις όζοντος τους χειμερινούς μήνες πέφτουν κατακόρυφα σε σχέση με την άνοιξη και το καλοκαίρι. Τον Δεκέμβριο συνήθως εμφανίζονται οι χαμηλότερες τιμές, ενώ αρχίζουν να αυξάνουν από τον Απρίλιο και Ιούλιο με Αύγουστο παρουσιάζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις. Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η διαφορά στις συγκεντρώσεις όζοντος κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, καθώς η αναστροφή θερμοκρασίας τη νύχτα, η μεταφορά και η διάσπασή του όζοντος η ευνοούν την απομάκρυνση του [32].

Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος AirQ+ στους σταθμούς Αθηνάς, Αμαρουσίου και Θρακομακεδόνων, σημειώθηκαν 54, 5 και 0 περιπτώσεις θανάτων αντίστοιχα από νοσήματα του καρδιοκυκλοφορικού συστήματος. Υπάρχει διαφορά με τις απλές περιπτώσεις, σε σχέση με τα αποτελέσματα ανά 100.000 κατοίκους. Αυτό συμβαίνει γιατί οι Θρακομακεδόνες έχουν πολύ μικρό πληθυσμό (6200 άτομα) και έτσι το πρόγραμμα δεν έχει αρκετό δείγμα ώστε να εμφανίσει τα αντίστοιχα ποσοστά θνησιμότητας και κατ' επέκταση τους θανάτους. Σύμφωνα όμως με το AirQ+ ανά 100.000 κατοίκους ο σταθμός Αθηνάς εμφανίζει 71 περιπτώσεις θανάτων, ο σταθμός Αμαρουσίου 120 και ο σταθμός Θρακομακεδόνων 53 περιπτώσεις θανάτων λόγω νοσημάτων του καρδιοκυκλοφορικού, οι οποίοι οφείλονται στην υπερβολική έκθεση στο όζον.

Τέλος, στην παρούσα διπλωματική αξιοποιήθηκαν μετρήσεις εικοσαετίας και είναι αντιπροσωπευτική για την εξέλιξη της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από το O₃ στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Σαν μελλοντική δουλειά θα μπορούσαν αυτά τα αποτελέσματα να μελετηθούν συνδυαστικά, δηλαδή να παρουσιαστεί συγκριτικά η διακύμανση του όζοντος στους σταθμούς, καθώς και οι ημέρες υπερβάσεις σε σχέση με τους θανάτους. Επίσης, θα μπορούσε να μελετηθεί, η διαφορετική εικόνα διακύμανσης των CVDs και των Respiratory mortality επεισοδίων που παρατηρήθηκε σε κάποιους σταθμούς.

Βιβλιογραφία

1. STRENG, A.G. Tables of Ozone Properties. *J. Chem. Eng. Data* 1961, 6, 431–436, doi:10.1021/je00103a031.
2. Sweet, F.; Kao, M.-S.; Lee, S.-C.; Hagar, W.L.; Sweet, W.E. Ozone Selectively Inhibits Growth of Human Cancer Cells. *Science* 1980, 209, 931–933, doi:10.1126/science.7403859.
3. Silva, L.M. da; Santana, M.H.P.; Boodts, J.F.C. Electrochemistry and Green Chemical Processes: Electrochemical Ozone Production. *Quím. Nova* 2003, 26, 880–888, doi:10.1590/S0100-40422003000600017.
4. Garcia, Y. *Ozone and Health* 2016.
5. Jerrett, M.; Burnett, R.T.; Pope, C.A.; Ito, K.; Thurston, G.; Krewski, D.; Shi, Y.; Calle, E.; Thun, M. Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *N Engl J Med* 2009, 360, 1085–1095, doi:10.1056/NEJMoa0803894.
6. Zhao, N.; Pinault, L.; Toyib, O.; Vanos, J.; Tjepkema, M.; Cakmak, S. Long-Term Ozone Exposure and Mortality from Neurological Diseases in Canada. *Environment International* 2021, 157, 106817, doi:10.1016/j.envint.2021.106817.
7. Souza, A.; Kofanovski, A. Asthma and Environmental Indicators: A Time-Series Study. *Journal of Allergy & Therapy* 2015, 07, doi:10.4172/2155-6121.1000232.
8. Zemp, E.; ELSASSER, S.; Schindler, C.; Künzli, N.; PERRUCHOUD, A.P.; Domenighetti, G.; MEDICI, T.; Ackermann-Liebrich, U.; LEUENBERGER, P.; Monn, C.; et al. Long-Term Ambient Air Pollution and Respiratory Symptoms in Adults (SAPALDIA Study). *American journal of respiratory and critical care medicine* 1999, 159, 1257–1266, doi:10.1164/ajrccm.159.4.9807052.
9. Salonen, H.; Salthammer, T.; Morawska, L. Human Exposure to Ozone in School and Office Indoor Environments. *Environment International* 2018, 119, 503–514, doi:10.1016/j.envint.2018.07.012.
10. Simoni, M.; Scognamiglio, A.; Carrozzi, L.; Baldacci, S.; Angino, A.; Pistelli, F.; Pede, F.; Viegi, G. Indoor Exposures and Acute Respiratory Effects in Two General Population Samples from a Rural and an Urban Area in Italy. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology* 2004, 14 Suppl 1, S144-52, doi:10.1038/sj.jea.7500368.
11. EEA Web Team How Can I Protect My Health? European Environment Agency 2017.
12. Kong, D.; Liang, J.; Liu, C. Invisible Enemy: The Health Impact of Ozone. *China Economic Review* 2022, 72, 101760, doi:10.1016/j.chieco.2022.101760.
13. McDonnell, W.F.; Raub, J.A.; Spencer, D.C.; Stone, S.L.; Brown, J.; Wildermann, E. What Is Ozone? EPA 2022.
14. Castner, J. Ozone Alerts and Respiratory Emergencies: The Environmental Protection Agency's Potential Biological Pathways for Respiratory Effects. *J Emerg Nurs* 2020, 46, 413-419.e2, doi:10.1016/j.jen.2020.05.008.
15. Regan, M.S. *Health Effects of Ozone Pollution* 2022.
16. Bell, M.; Kim, J.; Dominici, F. Potential Confounding of Particulate Matter on the Short-Term Association Between Ozone and Mortality in Multi-Site Time-Series Studies. *Environmental health perspectives* 2007, 115, 1591–1595, doi:10.1289/ehp.10108.
17. Filippidou, E.C.; Koukoulia, A. *Ozone Effects on the Respiratory System*. Progress in Health Sciences 2011.
18. Weschler, C. Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry. *Indoor air* 2001, 10, 269–288, doi:10.1034/j.1600-0668.2000.010004269.x.
19. Héroux, M.-E.; Anderson, H.R.; Atkinson, R.; Brunekreef, B.; Cohen, A.; Forastiere, F.; Hurley, F.; Katsouyanni, K.; Krewski, D.; Krzyzanowski, M.; et al. Quantifying the Health Impacts of Ambient Air Pollutants: Recommendations of a WHO/Europe Project. *Int J Public Health* 2015, 60, 619–627, doi:10.1007/s00038-015-0690-y.

20. WHO Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE Project; World Health Organization, Regional Office for Europe, 2013; p. 60;
21. World Health Organization WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide; World Health Organization: Geneva, 2021; ISBN 978-92-4-003422-8.
22. Καρύδας, Φ.; Καπέλλας, Κ. Νομός Αττικής 2022.
23. Αντισυμβατικός Το Κλίμα Της Αττικής. Athens Astrography and Storm Chasing Team 2022.
24. ΥΠΕΝ Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2022.
25. ΥΠΕΝ Χαρτογράφηση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2022.
26. ΥΠΕΝ Εκθέσεις 2022.
27. ΥΠΕΝ Δελτία Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2022.
28. World Health Organization Tools for Health Impact Assessment of Air Quality: AirQ+ Software Available online: <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution> (accessed on 20 September 2021).
29. HSA Hellenic Statistical Authority Available online: <https://www.statistics.gr/en/home/> (accessed on 20 June 2021).
30. EUR-Lex Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe.
31. Eleftheratos, K.; Kouklaki, D.; Zerefos, C. Sixteen Years of Measurements of Ozone over Athens, Greece with a Brewer Spectrophotometer. *Oxygen* 2021, 1, 32–45, doi:10.3390/oxygen1010005.
32. Raptis, I.-P.; Eleftheratos, K.; Kazadzis, S.; Kosmopoulos, P.; Papachristopoulou, K.; Solomos, S. The Combined Effect of Ozone and Aerosols on Erythral Irradiance in an Extremely Low Ozone Event during May 2020. *Atmosphere* 2021, 12, 145, doi:10.3390/atmos12020145.