

ΔΙΑΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ**

ΚΡΗΤΙΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΑΔΑΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	6
1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	7
1.1 Τι είναι η ατμόσφαιρα.....	7
1.2 Εξέλιξη της σύστασης της ατμόσφαιρας.....	8
1.3 Η χρήση της ατμόσφαιρας	9
2 ΡΥΠΟΙ & ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	10
2.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση	10
2.2 Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	10
2.2.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	10
2.2.2 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα	11
2.3 Είδη Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	11
2.4 Πηγές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων	12
2.4.1 Φυσικές Πηγές.....	12
2.4.2 Ανθρωπογενείς Πηγές.....	12
2.5 Χρόνοι παραμονής των ατμοσφαιρικών ρύπων.....	13
2.6 Παράγοντες σχηματισμού ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	13
2.6.1 Επίδραση της τοπογραφίας	13
2.6.2 Μετεωρολογικές συνθήκες	13
2.6.3 Φύση του ρύπου	14
2.6.4 Χρονική διακύμανση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	14
2.7 Πρόελευση Ρύπων.....	14
2.7.1 Πρωτογενείς Ρύποι.....	14
2.7.2 Δευτερογενείς Ρύποι.....	15
2.8 Οι σημαντικότεροι ρύποι	15
2.8.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	16
2.8.2 Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	16
2.8.3 Οξείδια του αζώτου (NO _x)	17
2.8.4 Όζον (O ₃).....	18

2.8.5	Μόλυβδος και άλλα βαρέα μέταλλα	18
2.8.6	Αιωρούμενα σωματίδια	19
3	ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.....	21
3.1	Αυτόματοι εγκατεστημένοι σταθμοί στην Ελλάδα	21
3.2	Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης τους	23
3.2.1	Μέτρηση μονοξειδίου του άνθρακα (CO).....	23
3.2.2	Μέτρηση του όζοντος (O ₃)	25
3.2.3	Μέτρηση οξειδίων του αζώτου (NO _x).....	25
3.2.4	Μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων (PM ₁₀ - PM _{2,5})	26
3.3	Βαθμονόμηση αυτομάτων αναλυτών στους σταθμούς	27
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	28
4.1	Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό.....	28
4.1.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	28
4.1.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	29
4.1.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	30
4.1.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	32
4.1.5	Όζον (O ₃).....	34
4.2	Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά κατηγορία σταθμών.....	36
4.2.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	36
4.2.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	36
4.2.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	37
4.2.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	38
4.2.5	Όζον (O ₃).....	38
4.3	Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό	39
4.3.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	39
4.3.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	40
4.3.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	42
4.3.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	44
4.3.5	Όζον (O ₃).....	45
4.3.6	Αιωρούμενα σωματίδια	47
4.4	Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης σταθμών ανά κατηγορία σταθμών.....	50
4.4.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	50
4.4.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	50
4.4.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	51

4.4.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	52
4.4.5	Όζον (O ₃).....	52
4.4.6	Αιωρούμενα σωματίδια PM ₁₀	53
4.5	Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό.....	54
4.5.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	54
4.5.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	55
4.5.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂).....	57
4.5.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	58
4.5.5	Όζον (O ₃).....	60
4.5.6	Αιωρούμενα σωματίδια.....	62
4.6	Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης σταθμών ανά κατηγορία σταθμών.....	65
4.6.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	65
4.6.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	66
4.6.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂).....	66
4.6.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	67
4.6.5	Όζον (O ₃).....	68
4.6.6	Αιωρούμενα σωματίδια.....	68
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
5.1	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	70
5.2	Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	70
5.3	Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂).....	70
5.4	Μονοξείδιο του αζώτου (NO).....	71
5.5	Όζον (O ₃).....	71
5.6	Αιωρούμενα σωματίδια (PM _{2.5} , PM ₁₀).....	72
5.6.1	PM _{2.5}	72
5.6.2	PM ₁₀	72
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73
6.1	Ελληνική βιβλιογραφία.....	73
6.2	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	74
6.3	Πηγές διαδικτύου.....	75

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην Αθήνα, βασισμένη σε μετρήσεις του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) που λειτουργεί το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των συγκεντρώσεων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, της μηνιαίας μεταβολής και της ωριαίας μεταβολής αυτών. Στόχος της εργασίας είναι να αναδείξει ποιοτικά και ποσοτικά τις διαφορές ανάμεσα σε σταθμούς κυκλοφορίας, αστικού υποβάθρου και περιαστικού υποβάθρου στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.

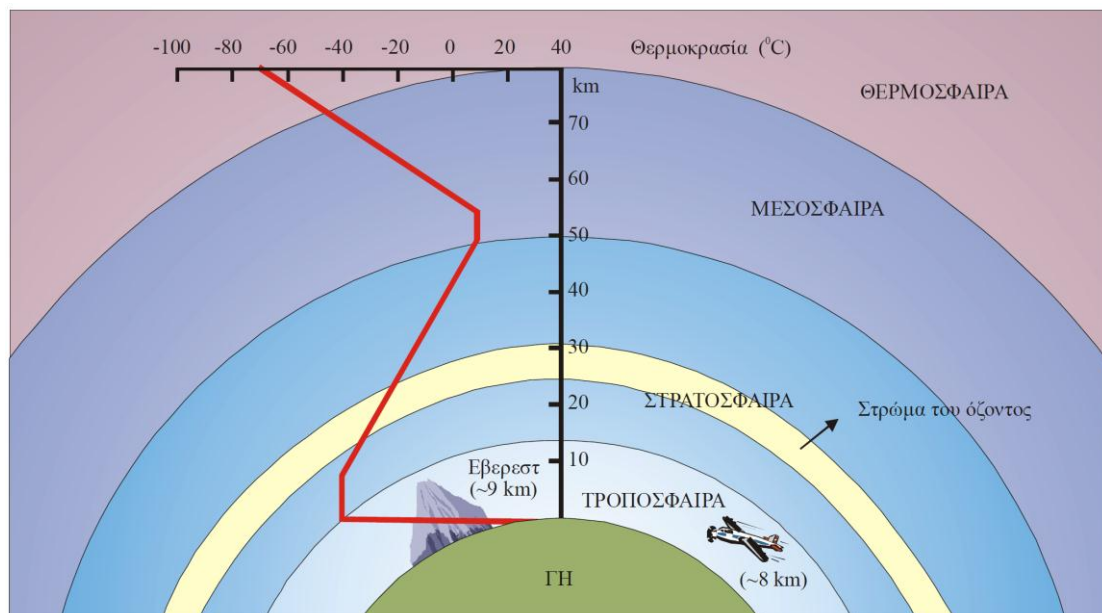
ABSTRACT

This study aims at the assessment of air quality in Athens based on measurements of the National Air Pollution Monitoring Network performed by the Ministry of the Environment & Energy. More specifically, the work aims at the study of annual trend of the concentrations of main atmospheric pollutants, their monthly and hourly variation. The purpose of the study focuses on the qualitative and quantitative differences among traffic, urban and suburban background stations.

1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

1.1 Τι είναι η ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται από στρώματα αερίων και στρώματα αέριων μιγμάτων. Επίσης περιλαμβάνει υδρατμούς και υγρά ή στερεά αιωρήματα. Η σύσταση και οι ιδιότητες της διαφέρουν από το ένα σύνορό της στο άλλο. Δηλαδή, ενώ κοντά στην επιφάνεια της γης η ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από άζωτο (N_2), οξυγόνο (O_2), αργό (Ar) και υδρατμούς, στο άλλο όριο, η σύστασή της αποτελείται κυρίως από πρωτόνια (H^+), ηλεκτρόνια (e^-) και ιόντα ηλίου (He^+). Υποδιαιρείται σε τέσσερις στοιβάδες (Σχήμα 1.1.1), τη τροπόσφαιρα, όπου το ύψος κυμαίνεται από την επιφάνεια της γης έως και 12χλμ, την στρατοσφαιρα (ύψος από 12χλμ έως 50χλμ από το έδαφος) όπου περιέχει το προστατευτικό στρώμα του όζοντος, τη μεσόσφαιρα (ύψος από 50χλμ έως 80χλμ από το έδαφος) όπου είναι η πιο ψυχρή περιοχή της γήινης ατμόσφαιρας και τέλος η θερμόσφαιρα (ύψος από 80χλμ έως 400χλμ) όπου χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη αραιώση του αέρα. Οι στοιβάδες αυτές διακρίνονται με βάση τη κατακόρυφη κατατομή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 1.1.1 Στιβάδες ατμόσφαιρας σύμφωνα με τη κατακόρυφη κατατομή της θερμοκρασίας (Ατμοσφαιρική Ρύπανση - Οδηγός Εκπαιδευτικών, 2000)

Ενώ εξαπλώνεται προς το διάστημα για εκατοντάδες χιλιόμετρα, το 99% του όγκου της βρίσκεται σε απόσταση 30 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης. Η ατμόσφαιρα συγκρατείται κοντά στην επιφάνεια της γης λόγω της βαρύτητάς της και της θερμικής κίνησης των μορίων των αερίων και αποτελεί ένα σώμα με τη γη, οπότε μετέχει σε όλες τις κινήσεις της (Αμπελιώτης, 2008). Η ύπαρξη της ατμόσφαιρας είχε καθοριστικό ρόλο για την ύπαρξη της ζωής στη γη. Ο λεπτός της αέριος μανδύας προστατεύει τους οργανισμούς από την υπεριώδη ακτινοβολία ενέργεια του ήλιου, καθώς και από φυσικές καταπτώσεις διαστημικών υλικών, όπως μετεωρίτες.

Οι βιομηχανικοί κύκλοι και τα οικοσυστήματα επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από τα φυσικοχημικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Οι καιρικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν το κλίμα και την διαβίωση των ζωντανών οργανισμών, έχουν άμεση

επιρροή από τη δυναμική της ατμόσφαιρας. Στη πραγματικότητα είναι ένα δυναμικό σύστημα που συνεχώς αλλάζει εξαιτίας των χημικών και φυσικών μετασχηματισμών που συμβαίνουν. Οι διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας, προκαλεί τη φυσική κίνηση των αερίων μαζών. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, δημιουργούνται οι καιρικές συνθήκες και το διαφορετικό κλίμα σε κάθε επιφάνεια της γης. Επιπροσθέτως, ως κινητήρια δύναμη της ηλιακής ακτινοβολίας, η χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται συνεχώς. Οι χημικές ενώσεις που εκπέμπονται ως ρύποι από τις ανθρώπινες δραστηριότητες συμμετέχουν ενεργά και μεταβάλλουν τη χημική σύσταση της ατμόσφαιρας (Αμπελιώτης 2008).

1.2 Εξέλιξη της σύστασης της ατμόσφαιρας

Η γήινη ατμόσφαιρα χρονολογείται περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η σύστασή της διέφερε σημαντικά από τη σημερινή και πιθανότητα τοξική για τους σημερινούς ζωικού και φυτικού οργανισμούς. Πριν περίπου από 0,5 δισεκατομμύρια χρόνια, η ατμόσφαιρα, μετά από τη δράση βιολογικών, χημικών και γεωλογικών μηχανισμών, δεν διέφερε πού από τη σημερινή μορφή της. Διαφοροποιήσεις στη σύσταση εμφανίστηκαν μετά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, κυρίως στις συγκεντρώσεις αερίων με ελάχιστη συμμετοχή στη σύσταση της ατμόσφαιρας.

Η σύνθεση της ατμόσφαιρας δημιουργείται από στοιχεία που πηγάζουν από φυσικές ή ανθρωπογενείς διεργασίες στην επιφάνεια της γης ή από στοιχεία που εξέρχονται από το εσωτερικό της γης. Παρακάτω, (Πίνακας 1.2.1), παρουσιάζεται η ανάλυση του μίγματος των αερίων σε έναν όγκο ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης.

Αέρια	Σύμβολο	Περιεκτικότητα		Πυκνότητα σε g/m ³	Μοριακό βάρος	Κρίσιμη θερμοκρ.
		Κατ' όγκο	Κατά βάρος			
Άζωτο	N	78.08	75.51	1250	28.016	-147.2
Οξυγόνο	O	20.95	23.14	1429	32.000	-118.9
Αργό	Ar	0.93	1.3	1786	39.944	-122.0
Διοξ. άνθρακος	CO ₂	0.03	~0.5	1977	44.010	31.0
Νέο	Ne	(18.18)×10 ⁻⁴	120×10 ⁻⁵	900	20.183	-228.0
Ήλιο	He	(5.24)×10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁵	178	4.003	-258.0
Μεθάνιο	CH ₄	~2.2×10 ⁻⁴	—	717	16.04	—
Κρυπτό	Kr	(1.14)×10 ⁻⁴	29.10 ⁻⁵	3736	83.7	-63.0
Οξείδ. Αζώτου	N ₂ O	(0.5±0.1)×10 ⁻⁴	—	1978	44.016	—
Υδρογόνο	H ₂	~0.5×10 ⁻⁴	0.35×10 ⁻⁵	90	2.016	-239.0
Ξένο	Xe	(0.087)×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵	5891	131.3	16.6
Όζο	O ₃	(0-0.07)×10 ⁻⁴ έως (1-3)×10 ⁻⁴	~0.17×10 ⁻⁵	2140	48.0	5.0

Πίνακας 1.2.1 Σύνθεση ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα.

(<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/1000/synthesi.html>)

1.3 Η χρήση της ατμόσφαιρας

Η εμφάνιση της ατμόσφαιρας στη γη, είχε καθοριστικό ρόλο για τη δημιουργία και την εξέλιξη ζωικών και φυτικών οργανισμών. Ο πλανήτης γη, χωρίς την ατμόσφαιρα, θα ήταν έρημος, με ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές την ημέρα και τη νύχτα, καθώς και υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Δεν θα υπήρχαν λίμνες και ωκεανοί καθώς και ήχοι και χρώματα. Η γήινη ατμόσφαιρα λειτουργεί ως μια ασπίδα που περιβάλλει το πλανήτη και τον προστατεύει από τις απρόσμενες και αφιλόξενες συνθήκες του σύμπαντος. Αν και άγευστος, άοσμος, άχρωμος και σχεδόν πάντα, αόρατος, ο ατμοσφαιρικός αέρας προστατεύει την επιφάνεια της γης από τις επικίνδυνες ακτινοβολίες του ήλιου και παρέχει μίγμα αερίων συστατικών για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής. Μερικά ατμοσφαιρικά αέρια της γης από το μείγμα αερίων συστατικών είναι το οξυγόνο (O_2) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) τα οποία είναι απαραίτητα για τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς καθώς διενεργούν στη διαδικασία δημιουργίας της ζωής. Άλλα αέρια “παγιδεύουν” την ηλιακή θερμότητα, διατηρώντας τη θερμοκρασία του πλανήτη σε επιθυμητά επίπεδα, ενώ το όζον (O_3), προστατεύει από την επιβλαβή ηλιακή ακτινοβολία τους οργανισμούς. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στην ατμόσφαιρα από τη καύση ορυκτών καυσίμων, από τις βιομηχανίες κ.α., προσθέτουν επιπλέον αέρια (ρύπους) στην ατμόσφαιρα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι οι ουσίες που βρίσκονται σε αφύσικα μεγάλες ποσότητες σε διάφορες περιοχές της ατμόσφαιρας (Desonie, 2007). Το διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο είναι τα βασικά αέρια για τους ζωντανούς οργανισμούς. Το CO_2 είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση, την οποία τα φυτά την χρησιμοποιούν για να λαμβάνουν τις ποικίλες πρώτες ύλες που υπάρχουν στο περιβάλλον για να τις μετατρέψουν σε τροφή. Το διοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από την αποσύνθεση της βλάστησης, αλλά και από ηφαιστειακές εκρήξεις, την εκπνοή των έμβιων όντων, την καύση των ορυκτών καυσίμων (όπως άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), καθώς και από την αποψίλωση των δασών (Ahrens, 2009). Οι υδρατμοί επίσης, είναι ένα σημαντικό αέριο στο περιβάλλον. Η συγκέντρωση των υδρατμών του (H_2O), ωστόσο, διαφέρει σημαντικά από τόπο σε τόπο, και από καιρό σε καιρό. Κοντά στην επιφάνεια της γης σε περιοχές θερμές, και τροπικές, οι υδρατμοί μπορεί να φθάνουν έως και 4% των ατμοσφαιρικών αερίων, ενώ σε ψυχρότερες αρκτικές περιοχές, μπορεί να μειωθεί ακόμη και σε ένα μικρό κλάσμα του 1% (Ahrens, 2009). Τα μόρια των υδρατμών είναι συνήθως αόρατα. Γίνονται ορατά όταν μεταμορφώνονται σε σταγονίδια νεφών και κρυστάλλων πάγου, που όταν αυξηθούν σε μέγεθος, πέφτουν στην επιφάνεια της γης με τη μορφή βροχής ή χιονιού. Στη κατώτερη ατμόσφαιρα, το νερό λαμβάνει χώρο σχεδόν το 70% της επιφάνειας της γης. Είναι η μόνη ουσία που υπάρχει ως αέριο, ως υγρό και ως στερεό, σε αυτές τις θερμοκρασίες και πιέσεις που συνήθως επικρατούν κοντά στην επιφάνεια της γης (Ahrens, 2009). Επίσης, οι υδρατμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο της γης διότι απορροφούν έντονα τμήμα της εξερχόμενης ενέργειας ακτινοβολίας της γης.

2 ΡΥΠΟΙ & ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

2.1 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ρύπανση της γήινης ατμόσφαιρας και πιο συγκεκριμένα, η ρύπανση της ατμόσφαιρας στα αστικά κέντρα, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς επηρεάζει την ποιότητα ζωής και την υγεία των ανθρώπων.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να θεωρηθεί ως μια κατάσταση στην οποία χημικά στοιχεία ή χημικές ενώσεις ή ουσίες από φυσικές ή ανθρώπινες δραστηριότητες, εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή, σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα επιτρεπτά για το περιβάλλον επίπεδα, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι φυτικοί και οι ζωικοί οργανισμοί. Εμπεριέχει ένα εκτεταμένο φάσμα τοξικών αερίων και αιρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται από διάφορες πηγές, καθώς και από ανθρωπογενής εκπομπές στο στρώμα της ατμόσφαιρας.

Οι εκπομπές ορισμένων αέριων ρύπων από φυσικούς παράγοντες - διεργασίες, όπως θάλασσα, πυρκαγιές δασών, ηφαιστειακές εκρήξεις, είναι σφοδρότερες από τις ανθρωπογενής εκπομπές που προκαλούνται είτε από αστικές δραστηριότητες, είτε από βιομηχανικές. Επειδή όμως οι συγκεντρώσεις των ρύπων είναι μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά περιβαλλοντικά όρια στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, οι ρύποι αυτοί θεωρούνται επικίνδυνοι και κρίσιμη για τον ίδιο τον άνθρωπο.

Λόγω του ότι η καθαρή ατμόσφαιρα διοχετεύεται στην ρυπογόνο ατμόσφαιρα, δημιουργούνται χημικές αντιδράσεις. Ως εκ τούτου, νέοι ρύποι εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι. Οι αρχικοί ρύποι ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι.

2.2 Επιπτώσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

2.2.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Πολλές από τις καθημερινές αδιαθεσίες, αλλεργίες και αναπνευστικές δυσφορίες προκαλούνται από την επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δηλαδή της ποιότητας του αέρα. Τα ανθρώπινα μέρη του σώματος που διατηρούν τις εισερχόμενες ουσίες στον οργανισμό είναι το αίμα, τα δόντια, τα μαλλιά, οι μαλακοί ιστοί, η ουρία και τα οστά. Σε σύγκριση με το αίμα και την ουρία, όλα τα υπόλοιπα δεν αποβάλλουν άμεσα τις ουσίες αυτές. Οι περιττές-ξένες ουσίες αποβάλλονται από το ανθρώπινο σώμα σε διάστημα λίγων ωρών έως και μερικών χρόνων. Όταν οι ουσίες αυτές είναι περισσότερες από αυτές που μπορεί να αποβάλλει ο ανθρώπινος οργανισμός, τότε προκύπτει συσσώρευση ουσιών.

Οι αέριοι ρύποι εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό διαμέσου της αναπνοής. Οι παρενέργειες των εισπνεόμενων ρύπων στην υγεία επηρεάζονται από το μέγεθος των σωματιδίων, δηλαδή τη περιοχή του αναπνευστικού που μπορούν να φθάσουν. Ανάλογα με τη σύστασή του, τα σωματίδια μπορεί να περιέχουν χημικές ουσίες ή στοιχεία όπως πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες οι οποίοι θεωρούνται καρκινογόνοι. Επίσης, μπορεί να περιέχουν ουσίες που επηρεάζουν τις απολήξεις των νεύρων στα

τοιχώματα του αναπνευστικού, με συνέπεια να δημιουργούνται αντιδράσεις όπως φτέρνισμα, αναπνευστικές δυσφορίες και βήχας.

2.2.2 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Η επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη χλωρίδα και στη πανίδα δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα αφού η εμφάνιση φαινομένων, όπως η όξινη βροχή και οι απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές, μεταβάλλουν και καταστρέφουν το φυσικό περιβάλλον. Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι πολύ ευάλωτοι ακόμα και στις μικρότερες μεταβολές. Στα φυτικά είδη των οικοσυστημάτων, οι επιπτώσεις γίνονται άμεσα αντιληπτές εξαιτίας της ασθενικής όψης των φύλλων έως και την ολική νέκρωση του φυτού.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις της όξινης απόθεσης μπορούν να καταστρέψουν τους υδάτινους πόρους. Τα υδάτινα οικοσυστήματα δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας. Αυτό προκαλεί κυρίως πρόβλημα σε περιοχές όπου οι αντιδράσεις, με αλκαλικό έδαφος, δεν μπορούν να εξουδετερώσουν τις όξινες εισροές. Σωματίδια φυσικού αλκαλικού εδάφους, όταν σαρώνονται από τον αέρα, εξουδετερώνουν τα οξέα (π.χ. η Κίνα και οι Δυτικές ΗΠΑ θα είχαν πολύ μεγαλύτερο πρόβλημα όξινης βροχής αν δεν είχαν αερομεταφερόμενη αλκαλική σκόνη) (Μελάς, 2000). Το σοβαρότερο πρόβλημα εμφανίζεται όμως στην τροφική αλυσίδα. Όταν τα χορτοφάγα ζώα καταναλώσουν ρυπασμένα φυτά, η ρύπανση αυτή μεταδίδεται στα σαρκοβόρους οργανισμούς και στη συνέχεια πίσω στην επιφάνεια της γης.

2.3 Είδη Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο, με ποικίλες προεκτάσεις πρόβλημα. Η ταξινόμησή της μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια με βάση τις χημικές και φυσικές ιδιότητες, τις επιπτώσεις κ.α.. Μια ενδεικτική ταξινόμηση παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.3.1).

A. Περιβάλλον	1. Εσωτερικών χώρων 2. Εξωτερική	
B. Πηγές	1. Φυσική 2. Ανθρωπογενής	α. Γεωχημική β. Βιολογική α. Κοινωνική β. Επαγγελματική γ. Προσωπική ρύπανση
Γ. Φυσικές Ιδιότητες	1. Αέρια 2. Σωματίδια 3. Οσμές	α. Λεπτά β. Μεγάλα
Δ. Χρόνος Παραμονής	1. Μόνιμα αέρια 2. Μεταβλητά αέρια	α. Μικροί χρόνοι ζωής β. Ημιμόνιμα
Ε. Χημική δράση	1. Χημικά ενεργά αέρια 2. Χημικά αδρανή αέρια 3. Ελεύθερες ρίζες	
ΣΤ. Προέλευση	1. Πρωτογενείς 2. Δευτερογενείς	α. Πρόδρομοι
Ζ. Κλίμακα	1. Τοπική-αστική 2. Περιφερειακή 3. Παγκόσμια κλίμακα	
Η. Δραστηκότητα	1. Ρύποι υψηλής τοξικότητας 2. Συνηθισμένοι ρύποι	

Πίνακας 2.3.1 Κριτήρια ταξινόμησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Μελάς, 2007)

Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα αέριων ρύπων που βρίσκονται γενικά στο περιβάλλον. Περιέχει πολλούς τύπους στερεών σωματιδίων, μόλυβδο και άλλα βαρέα μέταλλα, οξειδία του θείου, τοξικές ενώσεις, οξειδία του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, όζον και άλλα φωτοχημικά οξειδωτικά και ένα μεγάλο αριθμό από πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Λόγω των ποικιλόμορφων πηγών εκπομπής των αέριων ρύπων, είναι προτιμότερο να εξετάζονται χωριστά. Ο τρόπος ταξινόμησής τους, βασίζεται κυρίως από τις φυσικές ιδιότητες και τη χημική σύνθεσή τους.

2.4 Πηγές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι πηγές των αέριων ρύπων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες. Τις ανθρωπογενείς πηγές και τις φυσικές πηγές. Το μεγαλύτερο ποσοστό των αέριων ρύπων παράγεται καθαρά από φυσικές πηγές.

2.4.1 Φυσικές Πηγές

Οι κυριότερες φυσικές εκπομπές ρύπων είναι η σκόνη από την αιολική διάβρωση των εδαφών, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO), από δασικές πυρκαγιές.

Οι εκπομπές σκόνης προκαλούνται από μεγάλες εδαφικές εκτάσεις με ελάχιστη ή χωρίς βλάστηση. Η Ελλάδα αλλά και οι χώρες που τοποθετούνται στην ευρύτερη ατμόσφαιρα της Μεσογείου, επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, από την αρχαιότητα έως και σήμερα, εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες από τέφρες και αερολύματα. Επειδή οι εκπομπές αυτές γίνονται σε πολύ μεγάλα υψόμετρα από την επιφάνεια της γης, διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα να είναι μακρύς.

Οι δασικές πυρκαγιές, επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων. Εμφανίζονται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες όπου ευνοούνται από τη ζέση και τη ξηρότητα της ατμόσφαιρας.

2.4.2 Ανθρωπογενείς Πηγές

Οι ανθρωπογενείς πηγές συνδέονται άμεσα με τη καύση διαφόρων ειδών καυσίμων και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες. Στις σταθερές και στις κινητές πηγές.

Σταθερές πηγές θεωρούνται κυρίως οι εκπομπές που προέρχονται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση κτιρίων και τη βιομηχανία. Η εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων οδήγησε στη παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του αζώτου (NOx) και διοξειδίων του θείου (SO₂).

Κινητές πηγές θεωρούνται τα τροχοφόρα, τα αεροπλάνα καθώς και τα πλοία. Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για τη ταχύτερη και ευκολότερη μετακίνηση του ανθρώπου και του εμπορίου μεταξύ πόλεων και ηπείρων, κατέστησε αναγκαία τη χρήση των παραπάνω

μέσων. Ως εκ τούτου, η ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνεται και συσσωρεύεται κυρίως σε μεγαλουπόλεις.

2.5 Χρόνοι παραμονής των ατμοσφαιρικών ρύπων

Όπως οι ζωντανοί οργανισμοί, έτσι οι αέριοι ρύποι έχουν αρχή και τέλος. Ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα ή η ημιπερίοδος ζωής τους, επηρεάζεται από το ρυθμό παραγωγής ή καταστροφής τους και από τη συνολική, κατά μέσο όρο, μάζα τους στην ατμόσφαιρα.

Ρύπος	Χρόνος Παραμονής
O ₃	0,4-90 ημέρες
NO	4-5 ημέρες
NO ₂	2-8 ημέρες
NO ₃	4-20 ημέρες
NH ₄	7-19 ημέρες
H ₂ S	0,08-2 ημέρες
SO ₂	0,01-7 ημέρες
SO ₄	3-5 ημέρες
Hg	11-2080 ημέρες
CO	0,9-2,7 έτη
CH ₄	1,5-2 έτη
Freon	16 έτη
CO ₂	2-10 έτη

Πίνακας 2.5.1 Μέσοι χρόνοι παραμονής των κυριότερων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Ζιώμας, 2007) https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG134/Atmosfaira_Atmosfairikh%20kai%20rypansh.pdf

2.6 Παράγοντες σχηματισμού ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι διαφορετική σε κάθε επιφάνεια και ύψος της Γης. Επηρεάζεται από το είδος των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε αυτήν, από τις μετεωρολογικές συνθήκες, την τοπογραφική διάταξη κ.α.. Αναλυτικότερα, οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσής είναι οι εξής:

2.6.1 Επίδραση της τοπογραφίας

Οι συνθήκες μεταβολής του αέρα προσδιορίζονται από της γεωμορφολογικής διαμόρφωσης της κάθε περιοχής. Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται συνθήκες προϋπόθεσης αραίωσης ή συσσώρευσης των ρύπων. Μια περιοχή που περιέχει ψηλά κτίρια και περικλείεται από βουνά, έχει πολλά σημεία στασιμότητας του αέρα σε σύγκριση με μια πεδιάδα, άρα συσσώρευση ρύπων.

2.6.2 Μετεωρολογικές συνθήκες

Ο μετεωρολογικός παράγοντας που επηρεάζει τη κίνηση των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι ο άνεμος. Η ταχύτητα και η διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων σε μια περιοχή, επιδρούν στο τρόπο που ανανεώνεται ο αέρας. Εκτός από τις παραπάνω μετεωρολογικές

συνθήκες, επιπλέον παράμετροι που παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι η ευστάθεια της ατμόσφαιρας, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η διάρκεια της ηλιοφάνειας, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας.

2.6.3 Φύση του ρύπου

Αν οι ρύποι είναι χημικά αδρανείς ή δραστικοί, καθορίζεται η ικανότητά τους να διαχέονται και να διατηρούν την χημική τους σταθερότητα. Από την πηγή εκπομπής τους, οι ρύποι έχουν την ικανότητα να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω της κυκλοφορίας των αέριων μαζών της ατμόσφαιρας.

2.6.4 Χρονική διακύμανση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μιας περιοχής παρουσιάζει ορισμένους κύκλους που αντανακλούν τις μεταβολές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των μετεωρολογικών παραγόντων. Διακρίνονται δε σε: (Υ.Π.Ε.Κ.Α. 2006-2013)

Ημερήσιος κύκλος

Οι αστικές και βιομηχανικές (ανθρωπογενείς) δραστηριότητες εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια της ημέρα σε σύγκριση με τη νύχτα, με δύο ενδιάμεσες αιχμές, μία το πρωί και μία το απόγευμα. Παρόμοια διακύμανση παρουσιάζει η ατμοσφαιρική ρύπανση με εντονότερη, ίσως, τη πρωινή αιχμή λόγω ανάλογων, μετεωρολογικών συνθηκών.

Εβδομαδιαίος κύκλος

Κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου, εμφανίζεται μείωση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων με αποτέλεσμα τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Εποχιακός Κύκλος

Ο εποχιακός κύκλος συνδέεται συνήθως με την τυχόν εποχιακή αύξηση ή μείωση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και με τις επαναλαμβανόμενες μετεωρολογικές αλλαγές.

2.7 Προέλευση Ρύπων

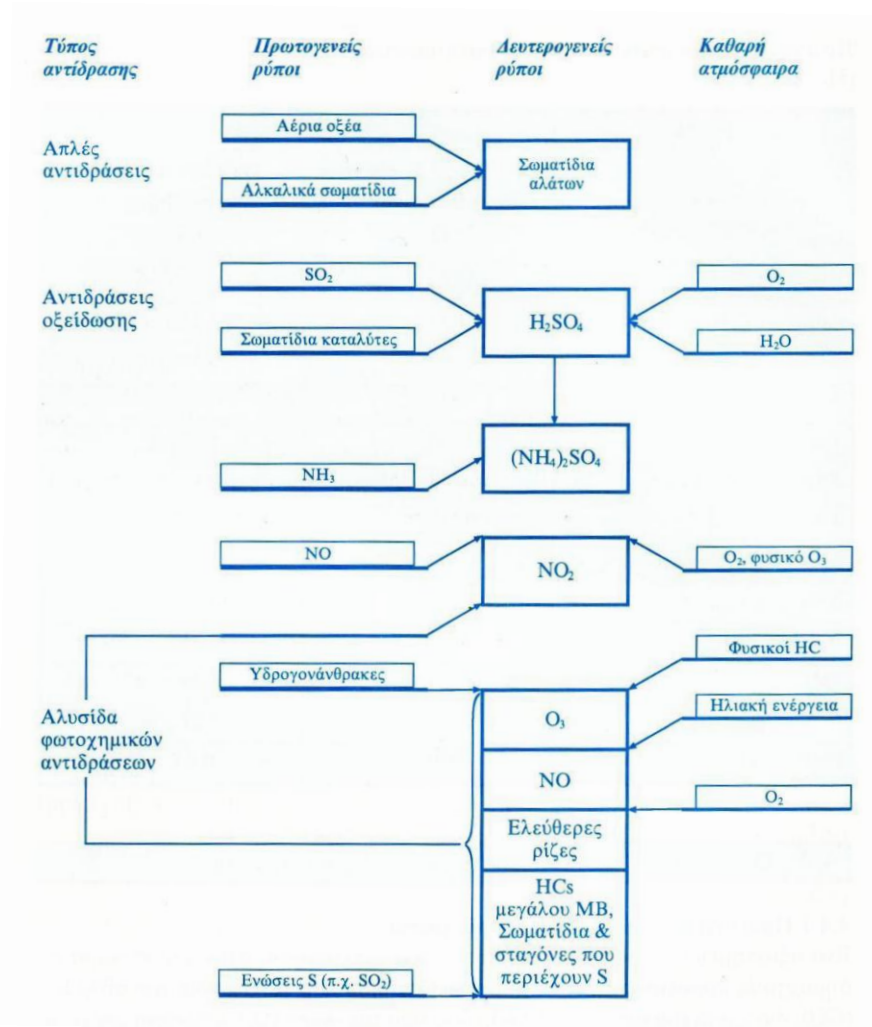
Στην ατμόσφαιρα, το μεγαλύτερο ποσοστό των αέριων ρύπων που εκπέμπονται, είναι απλά μόρια όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO, NO₂ και N₂O), υδρόθειο (H₂S), αμμωνία (NH₃), υδροχλώριο (HCl), υδροφθόριο (HF) κ.α., καθώς και υδρογονάνθρακες όπως αλκάνια, αλκίνια και αρωματικοί υδρογονάνθρακες με απλή δομή.

2.7.1 Πρωτογενείς Ρύποι

Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που εκπέμπονται κατευθείαν από τη πηγή στη ατμόσφαιρα. Οι κυριότεροι πρωτογενείς ρύποι, που παρακολουθούνται συστηματικά από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οι υδρογονάνθρακες (HC) και τα σωματίδια (μπορεί να είναι και δευτερογενή).

2.7.2 Δευτερογενείς Ρύποι

Μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα με τους πρωτογενείς ρύπους, σχηματίζονται οι δευτερογενείς ρύποι (Σχήμα 2.7.1). Δευτερογενείς ρύποι είναι διάφορες οργανικές ενώσεις όπως κετόνες, προϊόντα οξείδωσης που περιέχουν θείο, αλδεΐδες κ.α.. Οι κυριότεροι τέτοιοι ρύποι, που επίσης παρακολουθούνται συστηματικά από τους αρμόδιους κρατικούς φορείς, είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το όζον (O_3).



Σχήμα 2.7.1 Πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύποι. (<http://mde-didaktiki.biol.uoa.gr/mde9/boulgari/airpollution.pdf>)

2.8 Οι σημαντικότεροι ρύποι

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) υπάρχουν ορισμένοι ρύποι των οποίων η παρουσία στην ατμόσφαιρα παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα. Για το λόγο αυτό έχουν χαρακτηριστεί ως «ρύποι κριτήρια» και είναι συνοπτικά οι ακόλουθοι (www.epa.gov):

2.8.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

2.8.1.1 Πηγές

Το μονοξείδιο του άνθρακα υπάρχει σε μεγαλύτερη ποσότητα στην ατμόσφαιρα συγκριτικά με τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους και είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο, ελάχιστα ελαφρύτερο από τον αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Παράγεται κατά την ατελή καύση προϊόντων που περιέχουν υδρογονάνθρακες (οργανικές ουσίες) και επηρεάζεται από τη τροφοδοσία της καύσης σε οξυγόνο, από τη θερμοκρασία της φλόγας, από το χρόνο παραμονής των αερίων σε υψηλή θερμοκρασία και από τη τυρβώδη ροή στο χώρο της καύσης. Η πλήρης καύση των υδρογονανθράκων οδηγεί στο σχηματισμό του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ενώ όταν είναι ατελής σχηματίζεται το μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Η οριακή τιμή για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας είναι τα 10mg/m³ (μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκταώρου). Ως εκ τούτου, οι κυριότερες αιτίες εκπομπής του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) είναι οι πάσης φύσεως εξατμίσεις μηχανών όπου συντελείται ατελής καύση. Οι ωριαίες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα σε μια αστική περιοχή αντανakλούν συχνά τις περιόδους αιχμής της κυκλοφορίας (Τσέζος και Ρεμουντάκη, 2010). Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου κατά 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα 25% περίπου (Μελάς, 2007).

2.8.1.2 Επιπτώσεις

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) επηρεάζει την ικανότητα μεταφοράς του οξυγόνου στο αίμα. Όταν εισπνέεται, αντικαθιστά το οξυγόνο (O₂) από την αιμογλοβίνη του αίματος και σχηματίζει καρβοξυαιμογλοβίνη (COHb). Αυτό συμβαίνει επειδή το μονοξείδιο του άνθρακα έχει πολύ μεγαλύτερη χημική συγγένεια με την αιμογλοβίνη από αυτήν που έχει το οξυγόνο (Οδηγός για το περιβάλλον, WWF). Επομένως, το μονοξείδιο του άνθρακα ακόμα και σε μικρές ποσότητες στον αέρα, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις του μεταφερόμενου οξυγόνου στο αίμα. Με τη μείωση του οξυγόνου στο αίμα, επηρεάζονται οι διανοητικές λειτουργίες και οι καρδιακοί ρυθμοί στη προσπάθεια της αναζήτησης του οργανισμού για οξυγόνο.

2.8.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

2.8.2.1 Πηγές

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι αέριο άχρωμο, με μεγάλη διαλυτότητα στο νερό, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις και με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις. Στην ατμόσφαιρα το SO₂ αντιδρά και σχηματίζει το SO₃, φαινόμενο που προκαλεί τη ρυπογόνα όξινη βροχή. Οι κυριότερες εκπομπές του SO₂ σχηματίζονται από τις ανθρωπογενείς πηγές όπως οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου κ.α.. Σε πολλά μέρη της γης, όπου πραγματοποιείται καύση ορυκτών καυσίμων, το SO₂ είναι ένα από τα κυριότερα συστατικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Έχει ωριαία οριακή τιμή τα 350 μg/m³. Τα πιο σοβαρά προβλήματα έχουν παρατηρηθεί σε μεγάλες αστικές περιοχές, λόγω της κακώς ελεγχόμενης καύσης σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και λόγω της χρήσης του άνθρακα στην οικιακή θέρμανση (Haryanto, 2012). Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο συνήθως σε ποσότητες

0-6% κ.β.. Το επεξεργασμένο πετρέλαιο και βενζίνες περιέχουν λιγότερο από 0,05% θείο (Ζάνης, 2008).

2.8.2.2 Επιπτώσεις

Το διοξείδιο του θείου μπορεί να μπορεί να προκαλέσει σοβαρές αλλοιώσεις στη βλάστηση και τα μέταλλα αλλά και σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων του SO₂ στην ατμόσφαιρα προκαλούν τη μείωση της ορατότητας της και την αύξηση της οξύτητας των επιφανειακών υδάτων. Τέλος, επιδρά στα δομικά υλικά και προκαλεί σημαντικές φθορές στη πολιτιστική κληρονομιά καθώς το H₂SO₄ προσβάλλει το ανθρακικό ασβέστιο των μαρμάρων και το μετατρέπει σε γύψο (Μελάς, 2007).

2.8.3 Οξείδια του αζώτου (NOx)

2.8.3.1 Πηγές

Τα οξείδια του αζώτου που κατέχουν σπουδαίο ρόλο στη δημιουργία και στη συμμετοχή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Παράγονται από τη χρήση καυσίμων, κυρίως από αυτοκίνητα, βιομηχανικούς και οικιακούς καυστήρες αλλά και από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) είναι ένα άοσμο, άχρωμο και άγευστο αέριο που σχηματίζεται άμεσα με την αντίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες. Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), σχηματίζεται από τη φωτοχημική αντίδραση του NO με το οξυγόνο αλλά και το όζον (O₃) και για αυτό θεωρείται δευτερογενής ρύπος. Είναι διαλυτό στο νερό με οξεία ερεθιστική οσμή και ισχυρό οξειδωτικό αέριο με καφεκίτρινο χρώμα. Θεωρείται τοξικό στις συνήθεις συγκεντρώσεις και σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του ουρανού. Σχηματίζει εξαιρετικά διαβρωτικό νιτρικό οξύ όταν εκτεθεί σε υγρασία, είτε από τον αέρα είτε από τον άνθρωπο. Τα οξείδια του αζώτου NO και NO₂ εμπλέκονται και ενεργοποιούν τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και επομένως το σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης και παίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο του τροποσφαιρικού όζοντος (Ζάνης, 2008). Η καύση των ορυκτών καυσίμων και τα αυτοκίνητα συμβάλουν κατά περίπου 50% στις ανθρωπογενείς πηγές του NO, το οποίο με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται από τη παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και του όζοντος, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO₂), (Ζάνης, 2008). Η ωριαία οριακή τιμή είναι 200 μg/m³.

2.8.3.2 Επιπτώσεις

Σε υψηλές συγκεντρώσεις, το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε ευπαθείς ομάδες που ταλαιπωρούνται από άσθμα και σε παιδιά. Συνδράμει επίσης στη δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα και της όξινης βροχής (κατά δεύτερο ρόλο μετά τις ενώσεις του θείου), επηρεάζοντας έτσι αρνητικά και τη βλάστηση (Ζάνης, 2008).

2.8.4 Όζον (O₃)

2.8.4.1 Πηγές

Το όζον (O₃) ένα είναι άχρωμο αέριο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή και οξειδωτική δράση. Είναι ένα από τα πιο βασικά αέρια που προκαλούν την ατμοσφαιρική ρύπανση στο αστικό περιβάλλον (αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος, φωτοχημικό νέφος) και στο παγκόσμιο περιβάλλον (μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου). Το τροποσφαιρικό όζον είναι δευτερογενής ρύπος, αποτέλεσμα φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ οξειδίων του αζώτου (NO_x) και πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOC), λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Φυσικής). Οι κυριότερες πηγές των προδρόμων ενώσεων (NO_x και VOC), είναι διάφορες βιομηχανίες και οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, οι εξατμίσεις των οχημάτων, οι ατμοί της βενζίνης καθώς και διάφοροι διαλύτες. (Πανεπιστήμιο Πατρών, Φυσική). Επίσης, το όζον είναι ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο π.χ. για το σχηματισμό της όξινης βροχής (οξειδώνει το SO₂ προς H₂SO₄) (Ζάνης, 2008).

Ο ρύπος αυτός παρουσιάζει μέγιστο τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες, όπου το ηλιακό φως βρίσκεται στην ακμή του. Αντίθετα, χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει το βράδυ εξαιτίας της απουσίας του φωτός, άρα της αδυναμίας παραγωγής όζοντος. Αντίστοιχα, οι εποχές επηρεάζουν τα επίπεδα συγκεντρώσεων του όζοντος με αποτέλεσμα, του θερινούς μήνες, να παρουσιάζονται μέγιστες συγκεντρώσεις όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερες.

2.8.4.2 Επιπτώσεις

Το όζον (O₃) επηρεάζει τους ιστούς των πνευμόνων, τους ευαισθητοποιεί σε άλλες ερεθιστικές ουσίες, μειώνει την απόδοσή τους και την αντίσταση του οργανισμού και μπορεί να επιταχύνει τη γήρανση των ιστών λόγω της μεγάλης οξειδωτικής του δράση. Επίσης προκαλεί ερεθισμό στα μάτια και στους βλεννογόνους. Στο δομημένο περιβάλλον, επιταχύνει τη γήρανση και τη φθορά των υλικών ενώ στο φυσικό καταστρέφει τους ιστούς των δέντρων.

2.8.5 Μόλυβδος και άλλα βαρέα μέταλλα

2.8.5.1 Πηγές

Στον αέρα υπάρχουν αρκετά μέταλλα που για την ανθρώπινη υγεία αποτελούν αιτία πραγματικών ή δυνητικών κινδύνων. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι το κάδμιο, ο μόλυβδος, το αρσενικό, ο υδράργυρος και το νικέλιο. Ο σημαντικότερος από τους παραπάνω ατμοσφαιρικούς ρύπους σε παγκόσμια κλίμακα, που μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, είναι ο μόλυβδος. Η οριακή τιμή του μόλυβδου είναι η χαμηλότερη από όλους τους ρύπους με 0,5 μg/m³. Η κυρίως πηγή του μόλυβδου στον αέρα, από το παρελθόν, ήταν η καύση της βενζίνης με μόλυβδο. Την δεκαετία του 90', η χρήση του μόλυβδου εντός της βενζίνης απαγορεύτηκε, με αποτέλεσμα τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα να μειωθούν σημαντικά. Οι κύριες πηγές σήμερα προέρχονται από χυτήρια, από μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων και από μονάδες κατασκευής ηλεκτρικών συσσωρευτών.

2.8.5.2 Επιπτώσεις

Ο μόλυβδος, αναλόγως του βαθμού εκθέσεως, επιδράει στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ιδιαίτερα των παιδιών και των ενηλίκων. Επίσης, επηρεάζει τη νεφρική λειτουργία, το ανοσοποιητικό σύστημα, τα όργανα αναπαραγωγής, το σύστημα ανάπτυξης του οργανισμού, καθώς επίσης το καρδιαγγειακό σύστημα. Οι επιπτώσεις του μόλυβδου, είτε εισέρχεται από την διατροφή, είτε από την αναπνοή, αποτελεί κίνδυνο για τους οργανισμούς.

2.8.6 Αιωρούμενα σωματίδια

2.8.6.1 Πηγές

Τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter - PM) είναι μείγμα από μικρά τεμάχια στερεής και υγρής ύλης, διαφόρων ενώσεων όπως οξέων, οργανικών ενώσεων, μετάλλων, χρώματος και σκόνης. Ανάλογα με την προέλευση τους μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, το μέγεθος και τη χημική σύσταση. Για το λόγο αυτό, χαρακτηρίζεται από την «αεροδυναμική της διάμετρο» που είναι η διάμετρος αντίστοιχης σφαίρας, η οποία έχει τα ίδια αεροδυναμικά με τα πραγματικά σωματίδια (Οδηγός για το περιβάλλον, WWF). Η αεροδυναμική της διάμετρος εκφράζεται σε εκατομμυριοστά του μέτρου (μm).

Στις περιβαλλοντικές εφαρμογές, τα αιωρούμενα σωματίδια που παρακολουθούνται είναι τα σωματίδια με διάμετρο $10\mu\text{m}$ ή και μικρότερα, για το λόγο ότι επηρεάζουν αρνητικά τον ανθρώπινο οργανισμό. Συνεπώς, κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, στα PM_{10} , όπου η διάμετρος του είναι μικρότερη των $10\mu\text{m}$ και στα $\text{PM}_{2.5}$, όπου η διάμετρος είναι μικρότερη των $2,5\mu\text{m}$. Η συγκέντρωση PM_{10} είναι σημαντική στους δρόμους και σε περιοχές όπου υπάρχουν δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγεται σκόνη. Αντίθετα, η κατηγορία $\text{PM}_{2.5}$, περιλαμβάνει τα σωματίδια που σχηματίζουν χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα από εκπομπές θερμοηλεκτρικών σταθμών, βιομηχανιών και οχημάτων καθώς και από δασικές ή άλλες πυρκαγιές. Το θεσμοθετημένο όριο για τα PM_{10} είναι τα $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ωριαία βάση και $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ετήσια ενώ για τα $\text{PM}_{2.5}$ είναι τα $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ετήσιο).

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς.

Ως φυσικές πηγές μπορούν να θεωρηθούν οι:

- Επιφάνεια των ωκεανών (σταγονίδια που παρέχουν διάφορα άλατα)
- Επιφάνεια των εδαφών (εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών)
- Ηφαιστειακές εκρήξεις (πρωτογενείς και δευτερογενείς αερολύματα, πλούσια σε θειικά)
- Βιογενής ύλη (πρωτογενή και δευτερογενή σωματίδια)
- Καύση βιογενής ύλης (αιθάλη)
- Προϊόντα φυσικής μετατροπής αερίου σε σωματίδια

Ως ανθρωπογενείς πηγές μπορούν να θεωρηθούν οι:

- Εκπομπές πρωτογενούς σωματιδιακής ύλης από ανθρώπινες δραστηριότητες
- Καύσεις, κυρίως, ορυκτών καυσίμων και παραγωγή δευτερογενών αερολυμάτων

2.8.6.2 Επιπτώσεις

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν νόσους στη καρδιά, στους πνεύμονες και στο αναπνευστικό σύστημα. Ανάλογα με το μέγεθος τους, εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα μέσω ρινικής κοιλότητας. Συγκεκριμένα (οδηγός για το περιβάλλον, WFF):

- Μεγαλύτερα από 11 μm : δεν εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα
- 7,00 - 11,00 μm : εισχωρούν στη ρινική κοιλότητα
- 4,70 - 7,00 μm : εισχωρούν στο φάρυγγα
- 3,30 - 4,70 μm : εισχωρούν στη τραχεία και στην αρχή των βρόγχων
- 2,10 - 3,30 μm : εισχωρούν στο μέσο των βρόγχων
- 1,10 - 2,10 μm : εισχωρούν στα τελευταία τμήματα των βρόγχων
- 0,65 - 1,10 μm : εισχωρούν στα βρογχιόλα
- 0,43 - 0,65 μm : εισχωρούν στις κυψελίδες των πνευμόνων

Συμπερασματικά, όσο μικρότερη είναι η αεροδυναμική τους διάμετρο, τόσο είναι η ικανότητα διείσδυσης τους στο αναπνευστικό σύστημα και τόσο πιο επιβλαβές είναι οι επιπτώσεις τους στην υγεία.

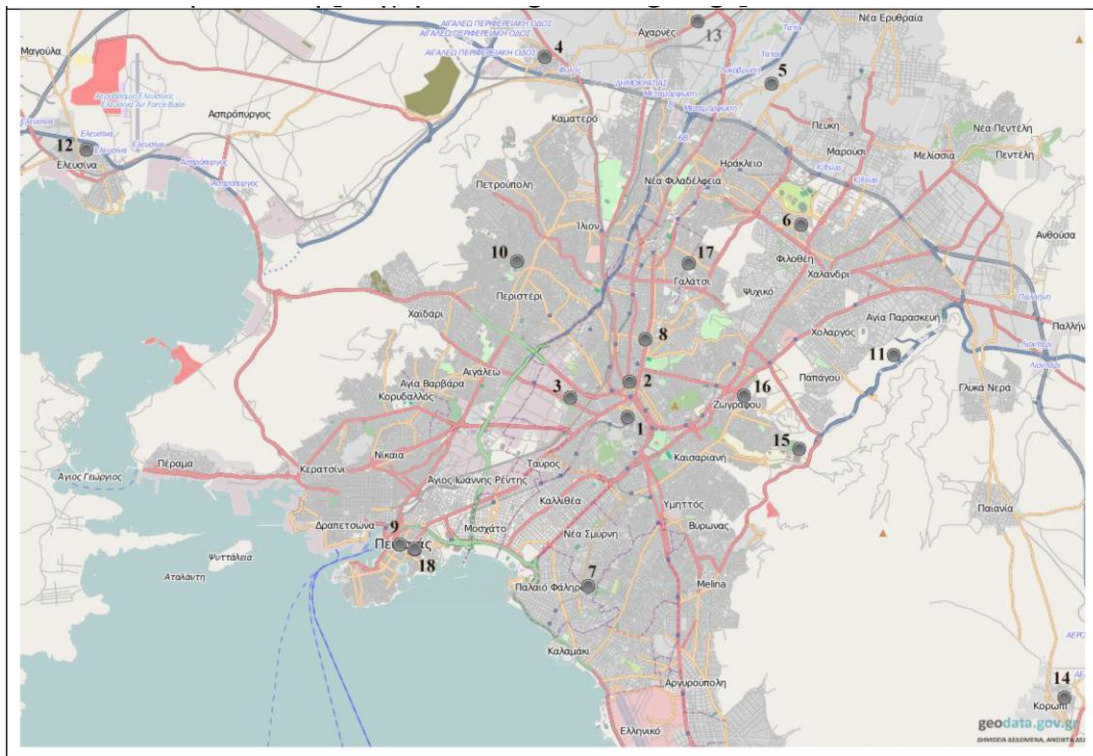
Εκτός από τις επιπτώσεις τους στην υγεία, δημιουργούν και περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η μείωση της ορατότητας. Επίσης με την εναπόθεσή τους στο έδαφος ή σε επιφανειακά ύδατα, επηρεάζει τα οικοσυστήματα με καταστροφή ευαίσθητων καλλιεργειών και δασών καθώς και οξίνιση των υδάτων.

3 ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

3.1 Αυτόματοι εγκατεστημένοι σταθμοί στην Ελλάδα

Οι αυτόματοι εγκατεστημένοι σταθμοί περιέχουν συστήματα τηλεμετάδοσης, συνδεδεμένα με τους κεντρικούς σταθμούς, εγκατεστημένοι στην έδρα κάθε περιφερειακής αρχής. Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με σύστημα βαθμονόμησης σε συνδυασμό με σύστημα αραιώσης και παροχής καθαρού αέρα, σύστημα τηλεμετάδοσης καθώς και σύστημα αποθήκευσης δεδομένων. Επίσης, κάποιοι σταθμοί περιέχουν και μετεωρολογικό σταθμό. Τα δεδομένα που συλλέγονται, στέλνονται στην περιφερειακή αρχή και στη συνέχεια στη κεντρική έδρα του συστήματος.

Στην Ελλάδα υπάρχουν εγκατεστημένοι 36 αυτόματοι σταθμοί, εκ των οποίων οι 18 βρίσκονται στο λεκανοπέδιο της Αττικής (Χάρτης 3.1.1).



Χάρτης 3.1.1 Χάρτης σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην Αττική [Πηγή: www.geodata.gov.gr]

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.1.1), παρουσιάζονται οι θέσεις των σταθμών αυτών, ο χαρακτηρισμός τους και οι ρύποι που μετρούνται ανά σταθμό.

Όνομα	Σταθμός				Χαρακτηρισμός	Μετρούμενοι ρύποι						
	Θέση					SO ₂	NOx	CO	O ₃	ΑΣ ₁₀	ΑΣ _{2.5}	C ₆ H ₆
	WGS84		ΕΓΣΑ87									
Γεωγρ. Μήκος	Γεωγρ. Πλάτος	X (m)	Υ(m)	Υψόμετρο (m -asl)	SO ₂	NOx	CO	O ₃	ΑΣ ₁₀	ΑΣ _{2.5}	C ₆ H ₆	
Αθηνάς [1]	23° 43' 30",56	37° 58' 32",19	475861,4	4203144,21	75	V	V	V	V			
Αριστοτέλους [2]	23° 43' 33",34	37° 59' 07",67	475932,35	4204237,61	75	V	V	V	V	V		
Γεωπονική [3]	23° 42' 12",44	37° 58' 53",42	473957,7	4203804,36	40	V	V	V	V			
Λιόσια [4]	23° 41' 45",93	38° 04' 26",92	473344,48	4214085,13	165	V	V	V	V			
Λυκόβρυση* [5]	23° 47' 14",24	38° 03' 54",72	481341,08	4213070,48	234	V	V	V	V	V		
Μαρούσι [6]	23° 47' 08",41	38° 01' 41",68	481189,53	4208970,47	170	V	V	V	V			
Νέα Σμύρνη [7]	23° 42' 40",77	37° 55' 45",83	474630,7	4198020,95	50	V	V	V	V	V	V	
Πατησίων [8]	23° 43' 52",87	37° 59' 49",17	476412,51	4205515,17	105	V	V	V	V			V
Πειραιάς I** [9]	23° 38' 36",75	37° 56' 31",40	468679,3	4199445,93	4	V	V	V	V	V	V	V
Περιστερί [10]	23° 41' 12",01	38° 01' 05",56	472497,21	4207882,04	80	V	V	V	V	V		
Αγ. Παρασκευή [11]	23° 49' 03",82	37° 59' 33",05	483995,32	4205000,11	290	V	V	V	V	V	V	
Ελευσίνα [12]	23° 32' 12",27	38° 02' 55",39	459353,92	4211321,8	20	V	V	V	V	V	V	V
Θρακομα- κεδόνες [13]	23° 45' 23",37	38° 08' 27",34	478661,66	4221479,46	550	V	V	V	V	V	V	
Κορωπί [14]	23° 52' 38",40	37° 53' 55",36	489215,4	4194584,06	140	V	V	V	V	V		
Οινόφυτα	23° 38' 14",22	38° 18' 12",85	466286,03	4239559,63	100	V	V	V	V	V		
Αλιάρτος	23° 06' 31",02	38° 22' 21",68	422136,04	4247542,97	110	V	V	V	V	V	V	
Παλαιότεροι σταθμοί												
Ζωγράφου [15]	23° 47' 06",26	37° 58' 01",37	481121,43	4202180,74	245	V	V	V	V	V		
Γουδή [16]	23° 45' 56",41	37° 58' 53",90	479421,17	4203803,65	155	V	V	V	V	V	V	
Γαλάτσι [17]	23° 44' 49",08	38° 01' 11",60	477790,29	4208051,96	154	V	V	V	V			
Πειραιάς II [18]	23° 39' 03",80	37° 56' 21",80	469338,25	4199147,56	25	V	V	V	V			

*Από τον Απρίλιο του 2011 ο σταθμός λειτουργεί σε νέα θέση ** Από το Σεπτέμβριο του 2012 ο σταθμός λειτουργεί σε νέα θέση

Πίνακας 3.1.1. Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ, που την ευθύνη λειτουργίας τους έχει ο ΥΠΕΝ (ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ,2017)

3.2 Μετρούμενοι ρύποι και μέθοδοι μέτρησης τους

Οι μετρήσεις των ρύπων πραγματοποιούνται με δειγματοληπτικές μεθόδους και με ανάλυση στο εργαστήριο και με συνεχείς μετρήσεις επιτόπου. Δύο είναι οι βασικοί στόχοι κατά τη μέτρηση των αέριων ρύπων, η ορθή ταυτοποίηση των ρύπων και ο ποσοτικός τους προσδιορισμός.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται στη μελέτη και στη μέτρηση των αέριων ρύπων είναι οι εξής:

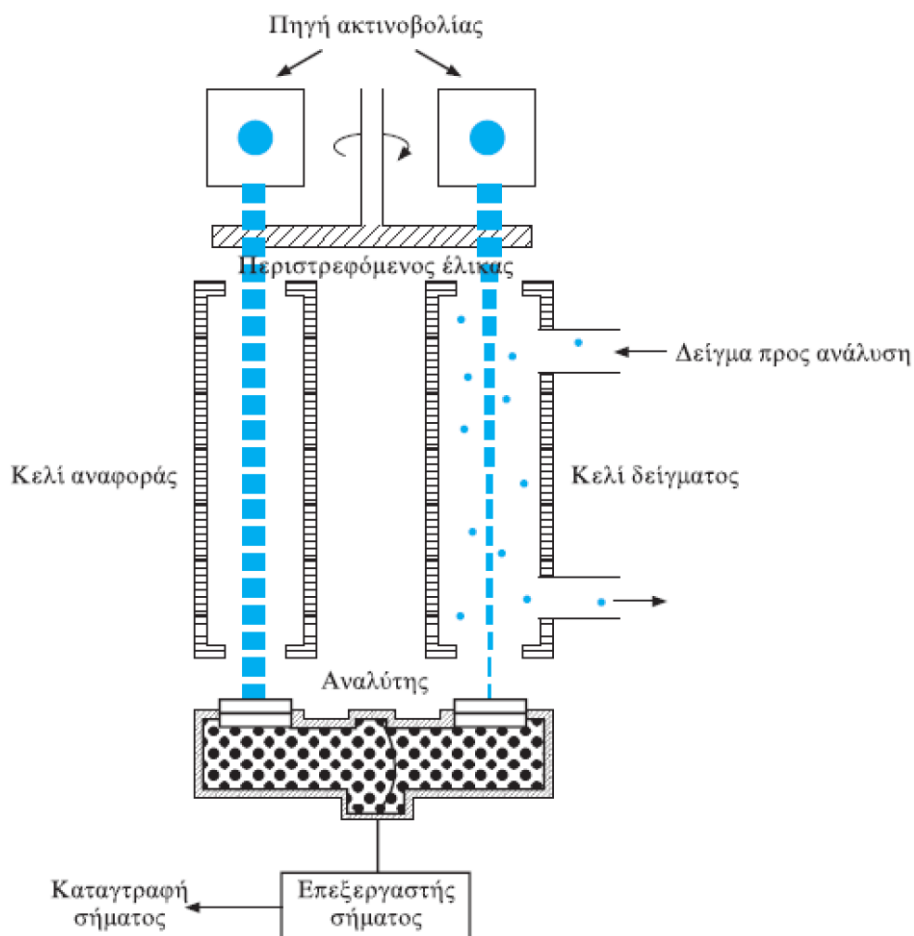
- Χρωματογραφία
- Φωτομετρία
- Υπέρυθρη και υπεριώδη φασματοσκοπία
- Φασματομετρία μάζας
- Φασματοσκοπία με ακτίνες Χ
- Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης
- Ηλεκτροχημικές τεχνικές (Ποτενσιόμετρα, Κουλομετρία, Πολαρογραφία)

Οι μέθοδοι μέτρησης των μετρούμενων ρύπων περιληπτικά είναι οι εξής:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
- Όζον (O₃): απορρόφηση στο υπεριώδες
- Οξείδια του αζώτου (NO, NO₂): χημειοφωταύγεια
- Αιωρούμενα σωματίδια (PM₁₀, PM_{2.5}): απορρόφηση β ακτινοβολίας
- Διοξείδιο του θείου (SO₂): φθορισμομετρία
- Βενζόλιο (C₆H₆): αέρια χρωματογραφία (GC)
- Βαρέα μέταλλα: ατομική απορρόφηση

3.2.1 Μέτρηση μονοξειδίου του άνθρακα (CO)

Η μέτρηση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, επιτυγχάνεται με τη μέθοδο απορρόφησης στο υπέρυθρο (NDIR) που βασίζεται στη μη-σκεδαζόμενη υπέρυθρη φωτομετρία. Η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάτε κατά ένα μέρος από το μονοξείδιο του άνθρακα. Συνεπώς, λόγω απορρόφησης από το CO του δείγματος, η μέτρηση της εξασθένισης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας οδηγεί στη μέτρηση της συγκέντρωσης του CO στο δείγμα. Μέσω των εγκατεστημένων σταθμών, δείγματα λαμβάνονται κάθε λεπτό από ανιχνευτές IR. Τρόπος λειτουργίας και τα δομικά μέρη του ανιχνευτή, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2.1.1).



Σχήμα 3.2.1.1. Αρχή λειτουργίας της μεθόδου απορρόφησης στο υπέρυθρο

Σε κάθε όργανο έχει μια κυψελίδα με ειδική ακτινοβολία που εκπέμπει σε συγκεκριμένο μήκος κύματος για να ανταποκρίνεται στη μέτρηση του CO. Το κελί του δείγματος συμπληρώνεται με ατμοσφαιρικό αέρα με άγνωστη ποσότητα CO όπου αναζητείται η σύστασή του και το κελί αναφοράς γεμίζει με καθαρό αέρα. Ο ανιχνευτής είναι χωρισμένος σε δύο τμήματα μέσω μιας ελαστικής μεμβράνης και γεμισμένος με CO. Η κίνηση της μεμβράνης προκαλεί αλλαγή στην ηλεκτρική χωρητικότητα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ελέγχου, του οποίου το σήμα επεξεργάζεται και καταγράφεται σε ένα σύστημα αποθήκευσης δεδομένων.

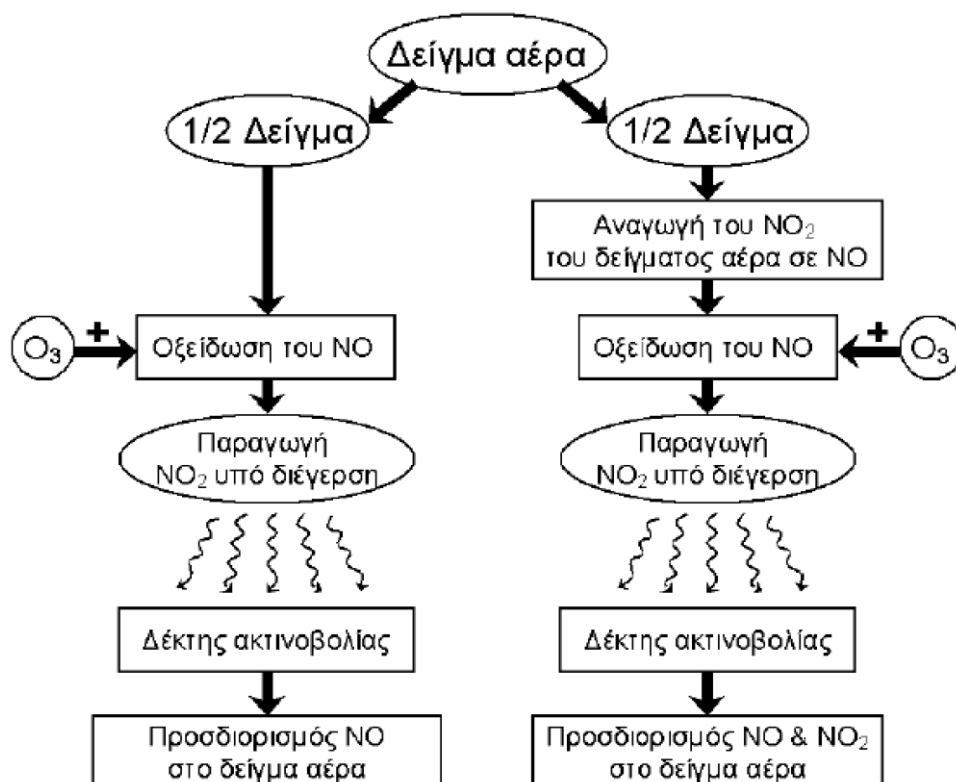
Ο περιστρεφόμενος έλικας εκθέτει περιοδικά τα δύο κελιά του οργάνου σε υπέρυθρη ακτινοβολία. Το κελί που περιέχει το δείγμα του ατμοσφαιρικού αέρα, μεταδίδει στον ανιχνευτή εξασθενημένη ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ το κελί αναφοράς εκτίθεται σε σταθερή ποσότητα. Η ποσότητα αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης του CO στο δείγμα. Οι άνισες ποσότητες που λαμβάνονται από τα δύο τμήματα του ανιχνευτή, παράγουν εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και προκαλούν τη κίνηση της μεμβράνης. Η συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος καθορίζεται από τη ταχύτητα περιστροφής και τη περίοδο του περιστρεφόμενου έλικα.

3.2.2 Μέτρηση του όζοντος (O₃)

Προκειμένου να υπολογιστεί η συγκέντρωση του όζοντος σε ένα αέριο δείγμα, λαμβάνεται υπόψιν ότι το όζον απορροφά συγκεκριμένο μήκος κύματος υπεριώδους ακτινοβολίας, τα 253,7nm. Για τον υπολογισμό των μετρήσεων, χρησιμοποιείται καθαρός αέρας. Η μέτρηση της εξασθένισης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο δείγμα, οδηγεί στη μέτρηση της συγκέντρωσης του O₃.

3.2.3 Μέτρηση οξειδίων του αζώτου (NO_x)

Η κύρια μέθοδος μέτρησης των οξειδίων του αζώτου είναι η χημειοφωταύγεια. Το δείγμα αρχικά εισάγεται σε σημείο όπου υπάρχει παροχή όζοντος. Η αντίδραση του NO με το O₃ παράγει το NO₂ σε διεγερμένη κατάσταση, όπου με την εκπομπή ακτινοβολίας, η κατάσταση επιστρέφει σε κανονική ενέργεια. Η μέτρηση της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου στο δείγμα. Η παραγωγή του φωτός, για να είναι ανάλογη μόνο της συγκέντρωσης NO που περιέχεται στο δείγμα του ατμοσφαιρικού αέρα, πρέπει η συγκέντρωση του O₃ που παρέχεται να είναι σταθερή. Η μέθοδος της χημειοφωταύγειας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2.3.1). Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τους σταθμούς ανά μία ώρα.



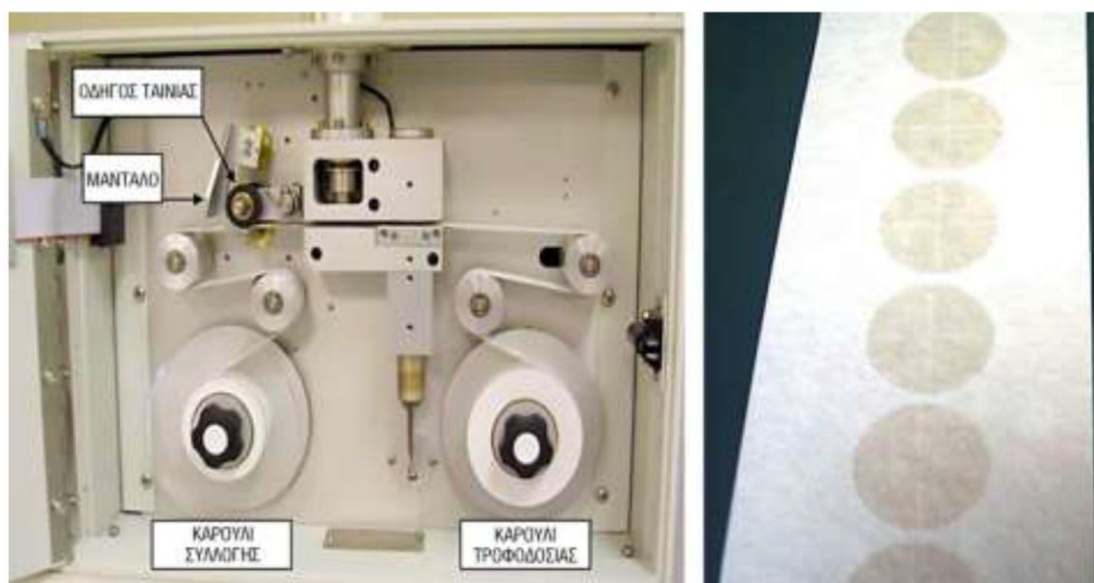
Σχήμα 3.2.3.1. Μέθοδος χημειοφωταύγειας

Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα, παρατηρείται ότι ο εισερχόμενος ατμοσφαιρικός αέρας διοχετεύεται στο όργανο μέτρησης σε δύο κανάλια. Το πρώτο κανάλι μετατρέπει μόνο το μονοξείδιο του αζώτου (NO) ενώ το δεύτερο κανάλι υπολογίζει το σύνολο των οξειδίων του αζώτου (NO και NO₂). Το NO που υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα του δείγματος στο

πρώτο κανάλι, αντιδρά με το όζον και το φως που παράγεται μετριέται από το σωλήνα του φωτοπολλαπλασιαστή και στη συνέχεια μετατρέπεται σε συγκέντρωση NO. Στο δεύτερο κανάλι το NO₂, μέσω ενός μετατροπέα, αλλάζει ποσοτικά σε NO, καθώς ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται σε αυτό. Συνεπώς, με αυτό το τρόπο, η συνολική ποσότητα των NO_x έχει μετατραπεί σε NO το οποίο αντιδρά με το O₃. Το φως που εκπέμπεται υπολογίζεται από το φωτοπολλαπλασιαστή και προκύπτει η συνολική συγκέντρωση των οξειδίων του αζώτου. Η ζητούμενη συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου προκύπτει από τη διαφορά των σημάτων των δύο καναλιών που ακολούθησε ο ατμοσφαιρικός αέρας στο εσωτερικό του οργάνου μέτρησης (NO_x - NO).

3.2.4 Μέτρηση αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ - PM_{2.5})

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων επιτυγχάνεται κυρίως με τη μέθοδο της απορρόφησης της ακτινοβολίας β. Η ακτινοβολία β εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες και είναι σωματιδιακή ακτινοβολία. Τα σωματίδια β φέρουν μικρό σχετικά ηλεκτρικό φορτίο και έχουν μικρή μάζα. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.2.4.1) παρουσιάζεται ο τρόπος που γίνεται ο υπολογισμός της συγκέντρωσης των PM.



Εικόνα 3.2.4.1. Συσσκευή δειγματοληψίας ολικής συγκέντρωσης σωματιδίων με τη μέθοδο β ραδιενεργού ακτινοβολίας. (Πηγή: <https://repository.kallipos.gr/>)

Η παραπάνω εικόνα (Εικόνα 3.2.4.1) περιλαμβάνει ένα αυτόματο μηχανικό σύστημα το οποίο μετακινεί ένα ρολό ταινίας φίλτρου διαμέσου ενός αγωγού με τον οποίο αντλείται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Μετά τη συλλογή του δείγματος στο φίλτρο, αυτό μετακινείται στο σημείο όπου βρίσκεται ραδιενεργό υλικό που εκπέμπει β ακτινοβολία. Πάνω από το ραδιενεργό υλικό, βρίσκεται ένας μετρητής Geiger-Muller. Δύο μετρήσεις πραγματοποιούνται, μία με το φίλτρο καθαρό και μία με το φίλτρο μετά από την εισροή του ατμοσφαιρικού αέρα. Η εξασθένιση στην ένταση της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται είναι ακριβώς ανάλογη της σωματιδιακής μάζας και, συνεπώς, της συγκέντρωσης.

3.3 Βαθμονόμηση αυτομάτων αναλυτών στους σταθμούς

Οι αναλυτές των αερίων ελέγχονται σύμφωνα με τα αντίστοιχα ευρωπαϊκά τεχνικά πρότυπα EN ή και ISO ως προς τη γραμμικότητα, την ολίσθηση μηδενός και κλίμακας και την επαναληψιμότητα (Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ΥΠΕΝ 2017).

Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας των οργάνων και τη ρύθμισή τους. Η βαθμονόμηση βασίζεται στη διαβίβαση μέσω του οργάνου αερίου, με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου. Η παρασκευή αυτή του πρότυπου αερίου, γίνεται με διάταξη δυναμικής αραιώσης, που συνδέεται αφενός με μία πηγή "καθαρού" αέρα και αφετέρου με φιάλη που περιέχει μίγμα του εν λόγω αερίου με άζωτο σε γνωστή πρότυπη συγκέντρωση. Ο "καθαρός αέρας", δηλαδή αέρας απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, παράγεται διαβιβάζοντας αέρα μέσα από ειδικά φίλτρα συγκράτησης των ρύπων. Μεταβάλλοντας την παροχή του "καθαρού" αέρα και του αερίου της φιάλης είναι δυνατή η επίτευξη μιγμάτων αερίων που περιέχουν τον αντίστοιχο ρύπο σε γνωστές συγκεντρώσεις (Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ΥΠΕΝ 2017).

Η βαθμονόμηση των αναλυτών όζοντος πραγματοποιείται με μεταφερόμενο πρότυπο Β' βαθμίδας στους σταθμούς με τη μέθοδο της σύγκρισης (Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ΥΠΕΝ 2017).

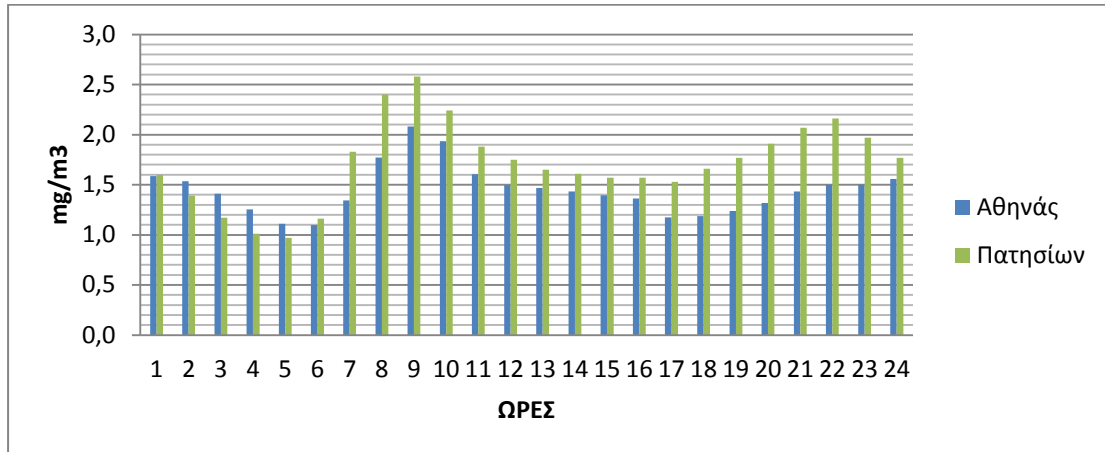
Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται στην απορρόφηση της β-ακτινοβολίας από πρότυπο δείγμα γνωστής συγκέντρωσης (Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ΥΠΕΝ 2017).

Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως αυτά αναφέρονται στα ισχύοντα τεχνικά πρότυπα, ή μετά τη συντήρηση ή επισκευή ενός αναλυτή (Ετήσια Έκθεση Ποιότητας της Ατμόσφαιρας, ΥΠΕΝ 2017).

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

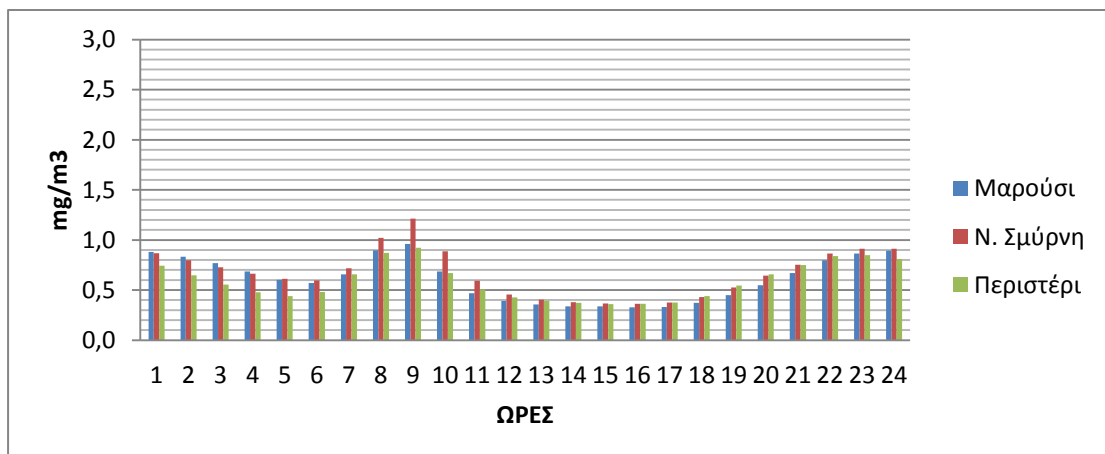
4.1 Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό

4.1.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.1.1.1. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

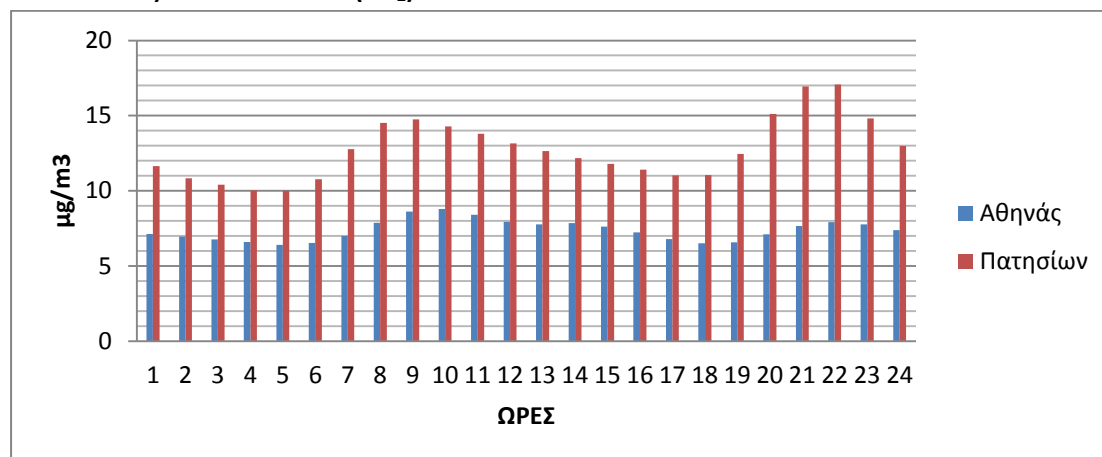
Στο Σχήμα 4.1.1.1 παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης CO στους σταθμούς κυκλοφορίας. Το CO φαίνεται να έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο το πρωί (8-10) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (9-11). Το χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρωινό μέγιστο οφείλεται στο γεγονός ότι τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) ενώ και τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία.



Σχήμα 4.1.1.2. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

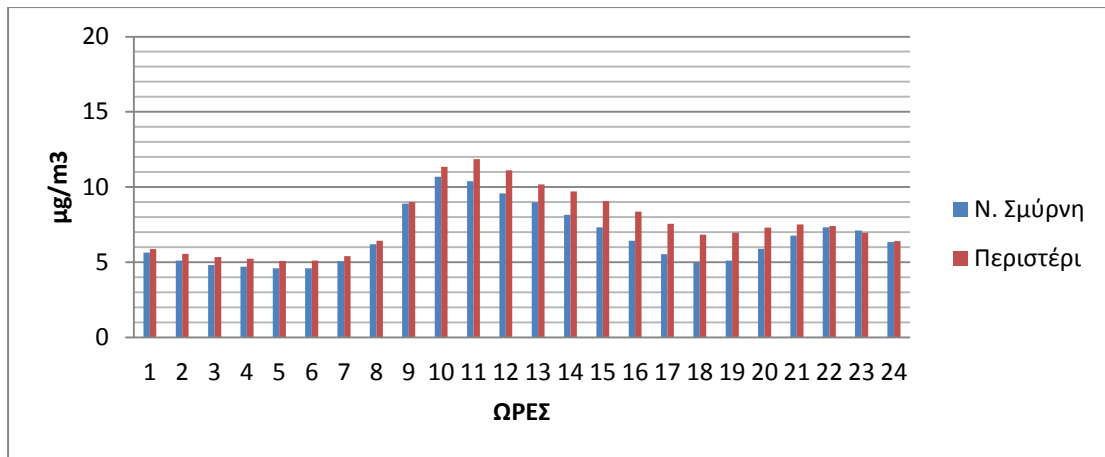
Η ωριαία διακύμανση στους σταθμούς αστικού υποβάθρου (Σχ. 4.1.1.2) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Τα δυο μέγιστα συγκεντρώσεων εμφανίζονται και στους σταθμούς αστικού υποβάθρου κυρίως τις πρωινές ώρες (8-10), αλλά και στο χρονικό διάστημα 10μμ έως 1πμ. Το δευτερεύον αυτό μέγιστο σε αυτή την περίπτωση (σταθμοί αστικού υποβάθρου) παρουσιάζει μεγαλύτερη διάρκεια γεγονός που αποδίδεται στην εντονότερη επίδραση της κεντρικής θέρμανσης αφού υπάρχει χαμηλότερη κυκλοφορία οχημάτων. Τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης αλλά και τις αιχμές κυκλοφορίας. Κατά τη διάρκεια εμφάνισης του πρωινού μεγίστου επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών), παρόλα αυτά οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα είναι μικρότερες σε σχέση με το περιβάλλον στους σταθμούς κυκλοφορίας. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων φαίνεται να συμπίπτει χρονικά και για τους τρεις σταθμούς αστικού υποβάθρου (Μαρούσι, Ν. Σμύρνη, Περιστερί) αλλά και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι παρόμοια, γεγονός που δείχνει ότι οι τρεις σταθμοί έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

4.1.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.1.2.1. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

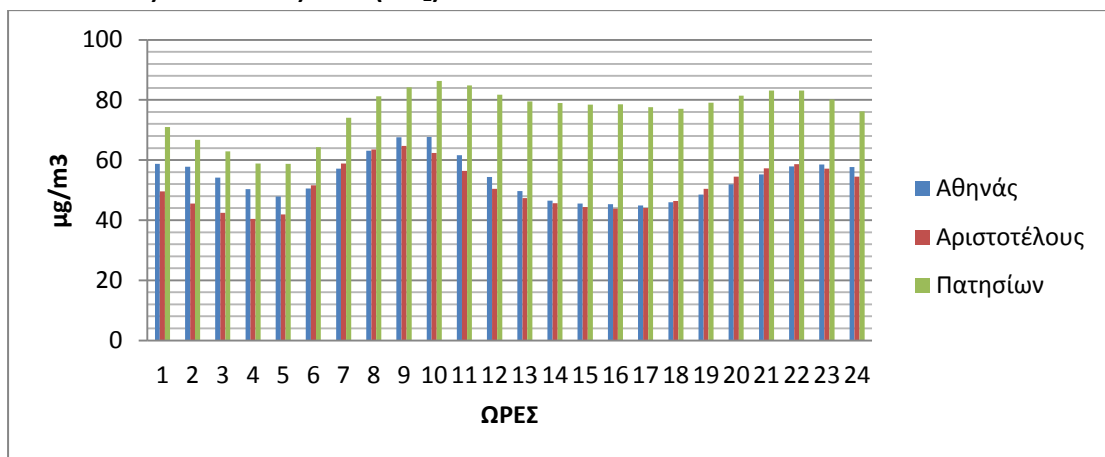
Όπως με το CO (Σχ. 4.1.1.1), η ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης του SO₂ (Σχ. 4.1.2.1) παρουσιάζει σχεδόν ταυτόσημη χρονικά διακύμανση συγκεντρώσεων αφού και οι δύο ρύποι είναι πρωτογενείς. Το SO₂ φαίνεται να έχει μέγιστη συγκέντρωση το πρωί (8-10) καθώς και μια δεύτερη μέγιστη συγκέντρωση το βράδυ (9-10). Το χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρωινό μέγιστο οφείλεται στο γεγονός ότι τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) ενώ και τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Τις βραδινές ώρες παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις λόγω της χρήση συστημάτων θέρμανσης. Στο σταθμό της Πατησίων υπάρχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από το σταθμό Αθηνάς, λόγω της εντονότερης κυκλοφορίας, της στενότητας του δρόμου και των κτηρίων που το περιβάλλουν που βοηθούν στον αερισμό της περιοχής.



Σχήμα 4.1.2.2. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Η ωριαία διακύμανση των συγκεντρώσεων στους σταθμούς αστικού υποβάθρου (Σχ. 4.1.2.2) για το SO₂, εμφανίζει παρόμοια εικόνα με τους σταθμούς κυκλοφορίας αλλά με μικρότερες τιμές συγκεντρώσεων. Το μέγιστο των συγκεντρώσεων παρουσιάζεται τις πρωινές και τις πρώτες μεσημεριανές ώρες (10-13) όπου η κυκλοφορία των οχημάτων είναι εκτεταμένη. Κατά τη διάρκεια της εμφάνισης του πρωινού μεγίστου, επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών), παρόλα αυτά οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα είναι μικρότερες σε σχέση με το περιβάλλον στους σταθμούς κυκλοφορίας.

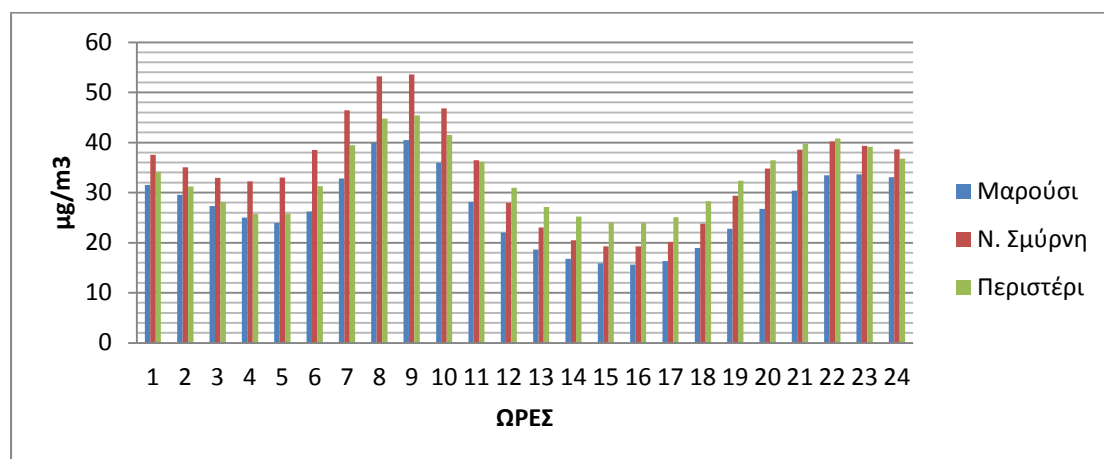
4.1.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)



Σχήμα 4.1.3.1. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

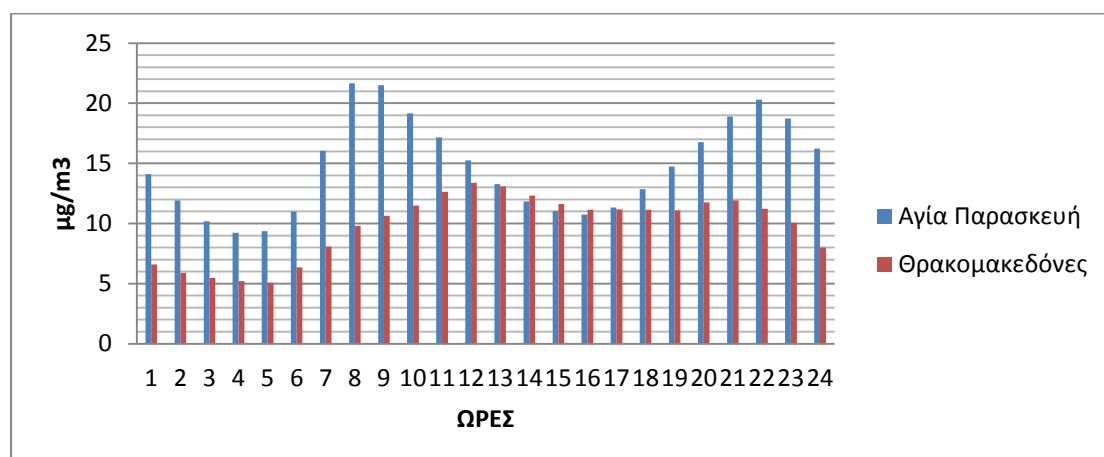
Παρατηρώντας το Σχήμα 4.1.3.1, διαπιστώνεται ότι η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO₂ στους σταθμούς κυκλοφορίας, έχει μέγιστη ωριαία διακύμανση το πρωί (9-11) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (19-21). Το NO₂ είναι κυρίως δευτερογενής ρύπος και παράγεται κυρίως από την αντίδραση του NO με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, στο χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρωινό μέγιστο, παρατηρείται μια χρονική υστέρηση σε σχέση με το NO (Σχ. 4.1.4.1) που είναι απαραίτητο για το σχηματισμό του. Τα

δου μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς και της Αριστοτέλους αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία. Τα επίπεδα σε αυτούς τους δύο σταθμούς είναι ίδια.



Σχήμα 4.1.3.2. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

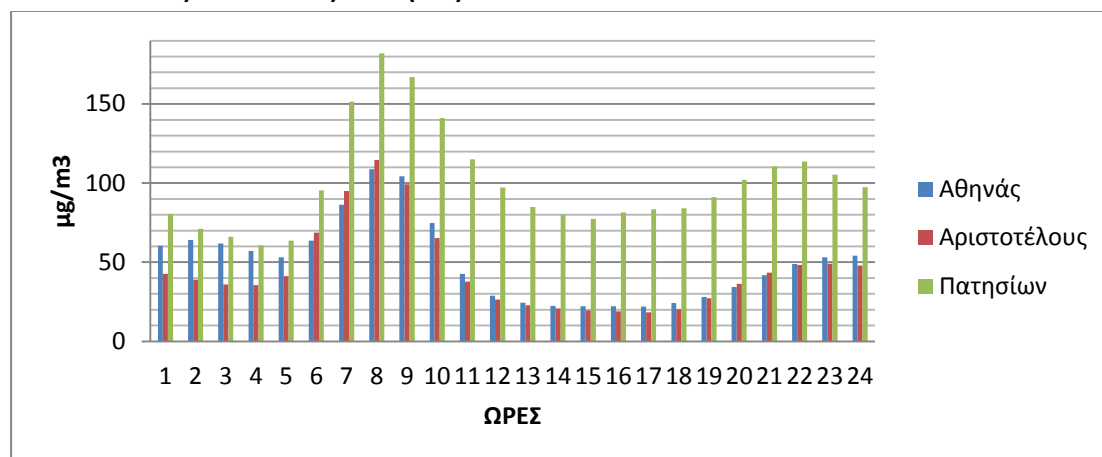
Η ωριαία διακύμανση στους σταθμούς αστικού υποβάθρου (Σχ. 4.1.3.2) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Τα δυο μέγιστα συγκεντρώσεων εμφανίζονται και στους σταθμούς αστικού υποβάθρου κυρίως τις πρωινές ώρες (8-9), αλλά και στο χρονικό διάστημα 9μμ έως 11μμ. Σε αντίθεση με τους σταθμούς κυκλοφορίας, οι σταθμοί αστικού υποβάθρου δεν παρουσιάζουν χρονική υστέρηση σε σχέση με το NO (Σχ.4.2.4.2) Τα μέγιστα επίπεδα των συγκεντρώσεων οφείλονται από τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης αλλά και τις αιχμές κυκλοφορίας.



Σχήμα 4.1.3.3. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

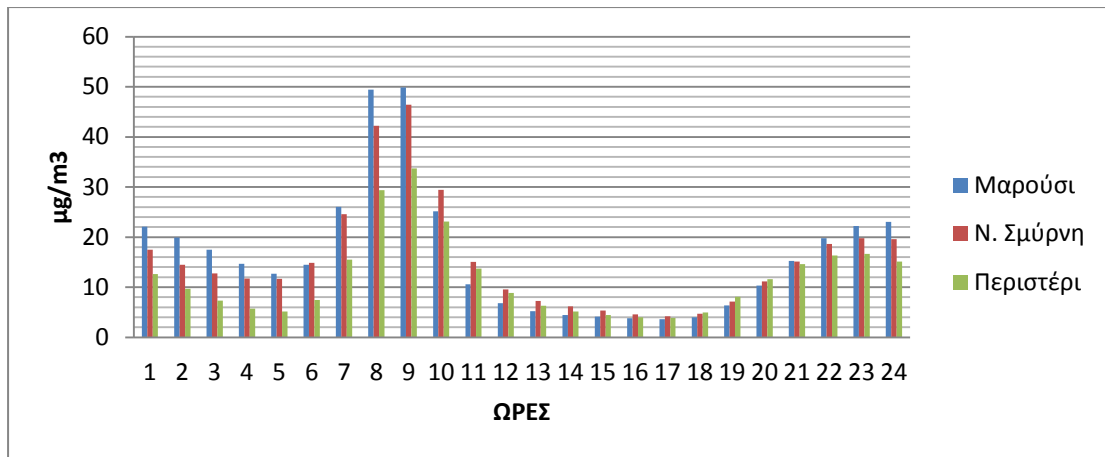
Στο Σχήμα 4.1.3.3. παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Η ωριαία διακύμανση των συγκεντρώσεων μοιάζει αρκετά με την διακύμανση των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται κυρίως τις χρονικές στιγμές (8-9) το πρωί για το σταθμό της Αγίας Παρασκευής ενώ για το σταθμό των Θρακομακεδόνων, η μέγιστη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο χρονικό διάστημα 11πμ έως 13μμ. Επίσης, οι δύο σταθμοί παρουσιάζουν δευτερεύον μέγιστο τις βραδινές ώρες (9-11) και (8-9) αντίστοιχα. Λόγω της μειωμένης κίνησης, των χαμηλών κτηρίων σε ύψος και της τοπογραφικής θέσης των σταθμών, οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι πολύ χαμηλότερες σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς που εξετάζονται. Στο σταθμό της Αγ. Παρασκευής τα επίπεδα είναι πιο αυξημένα λόγω της γειτνίασης με την Αττική οδό.

4.1.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



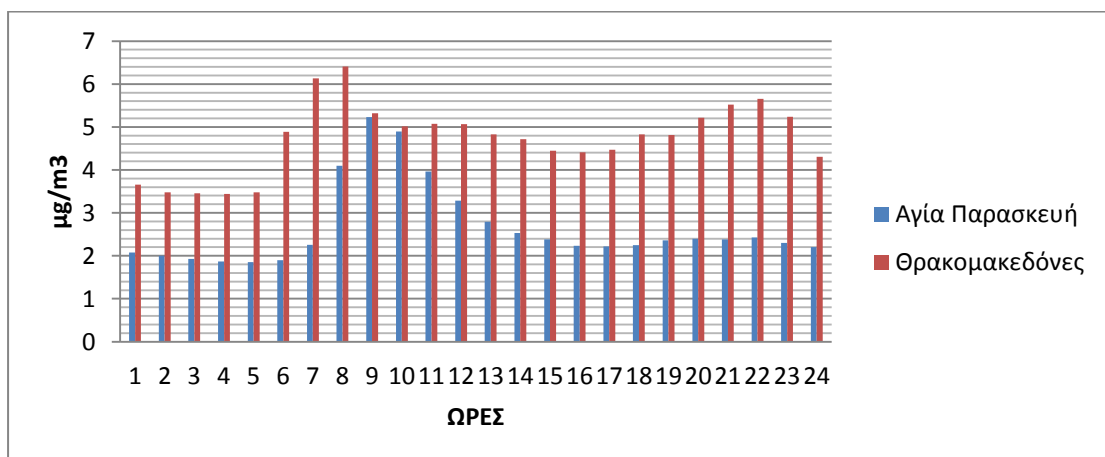
Σχήμα 4.1.4.1. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 4.1.4.1) παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO στους σταθμούς κυκλοφορίας. Το NO έχει μέγιστο το πρωί (7-9) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (9-10). Όπως και με το CO (πρωτογενείς ρύποι), το χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρωινό μέγιστο οφείλεται στο γεγονός ότι τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) ενώ και τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς και Αριστοτέλους για την προαναφερθείσα αιτία. Τα επίπεδα σε αυτούς τους δύο σταθμούς είναι ίδια.



Σχήμα 4.1.4.2. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Ομοίως με το Σχήμα 4.1.4.1, το Σχήμα 4.1.4.2 παρουσιάζει την ίδια ωριαία διακύμανση με μικρότερες τιμές συγκεντρώσεων λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Το χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρώτο ωριαίο μέγιστο είναι στις 8πμ έως τις 9πμ το πρωί ενώ το δεύτερο ωριαίο μέγιστο παρουσιάζεται το βράδυ το χρονικό διάστημα 10μμ με 1πμ. Το δευτερεύον μέγιστο, σε αυτή την περίπτωση (σταθμοί αστικού υποβάθρου), παρουσιάζει μεγαλύτερη διάρκεια γεγονός που αποδίδεται στην εντονότερη επίδραση της κεντρικής θέρμανσης αφού υπάρχει χαμηλότερη κυκλοφορία οχημάτων. Κατά τη διάρκεια εμφάνιση του πρωινού μεγίστου επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών). Τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης αλλά και τις αιχμές κυκλοφορίας.

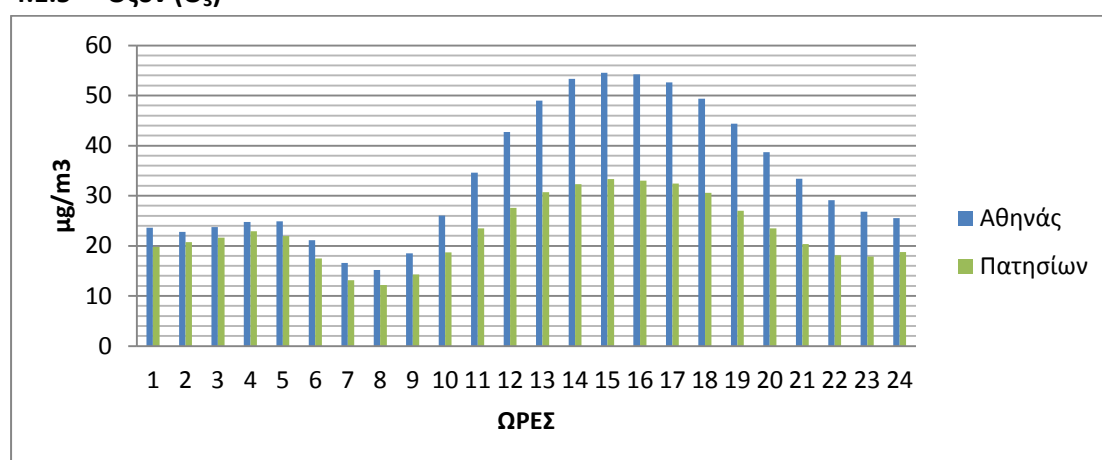


Σχήμα 4.1.4.3. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο Σχήμα 4.1.4.3. παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Η ωριαία διακύμανση των συγκεντρώσεων διαφέρει από την διακύμανση των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου λόγω των πολύ μικρών επιπέδων συγκεντρώσεων.. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται κυρίως τις χρονικές

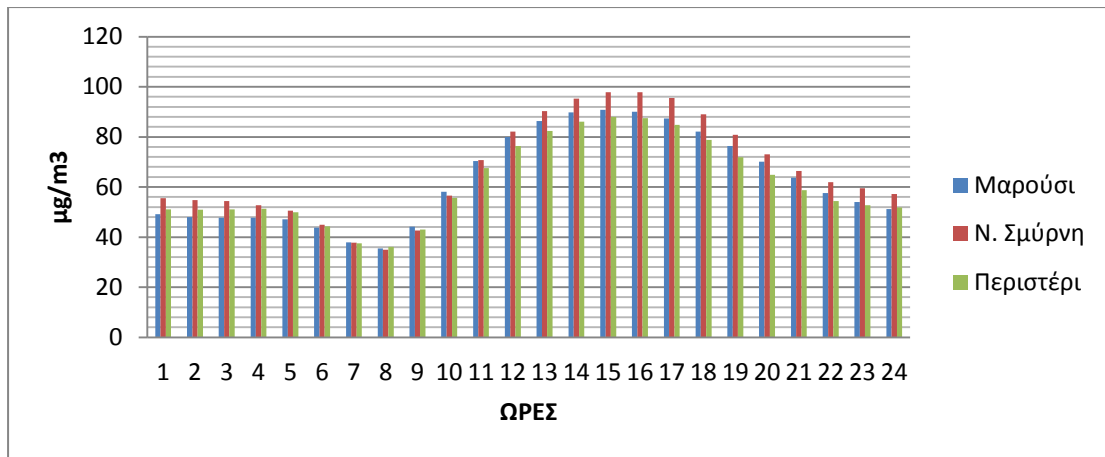
στιγμές (9-10) το πρωί για το σταθμό της Αγίας Παρασκευής ενώ για το σταθμό των Θρακομακεδόνων, η μέγιστη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο χρονικό διάστημα 7πμ έως 8μμ. Επίσης, οι δύο σταθμοί παρουσιάζουν κοινό δευτερεύον μέγιστο τις βραδινές ώρες (8-11). Τις πρωινές ώρες επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τις συγκεκριμένες ώρες τα πρωινά μέγιστα. Τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης αλλά και τις αιχμές κυκλοφορίας. Λόγω της μειωμένης κίνησης, των χαμηλών κτηρίων σε ύψος και της τοπογραφικής θέσης των σταθμών, οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι πολύ χαμηλότερες σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς που εξετάζονται.

4.1.5 Όζον (O₃)



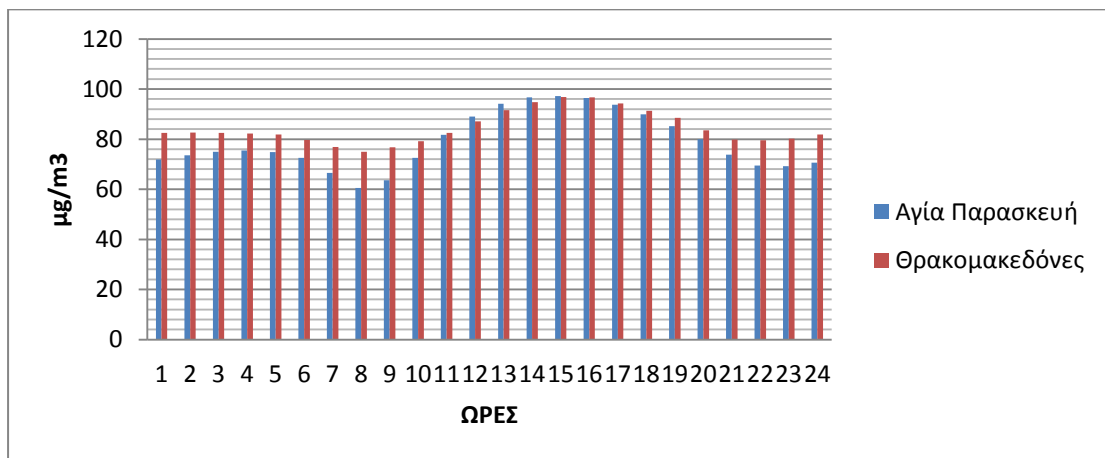
Σχήμα 4.1.5.1. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

Στο Σχήμα 4.1.5.1 παρουσιάζεται η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης O₃ στους σταθμούς κυκλοφορίας. Το O₃ φαίνεται να έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο τις μεταμεσημβρινές ώρες (2-4). Δεδομένου ότι αυτός ο ρύπος σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες, το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία παρουσιάζουν το μέγιστο. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα στους σταθμούς κυκλοφορίας επειδή το όζον καταστρέφεται από το NO. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς λόγω υψηλότερων επιπέδων NO.



Σχήμα 4.1.5.2. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Η ωριαία διακύμανση στους σταθμούς αστικού υποβάθρου (Σχ. 4.1.5.2) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας αλλά τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μεγαλύτερα λόγω χαμηλότερου NO. Το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται τις μεταμεσημβρινές ώρες (2-5) όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία παρουσιάζουν το μέγιστο.

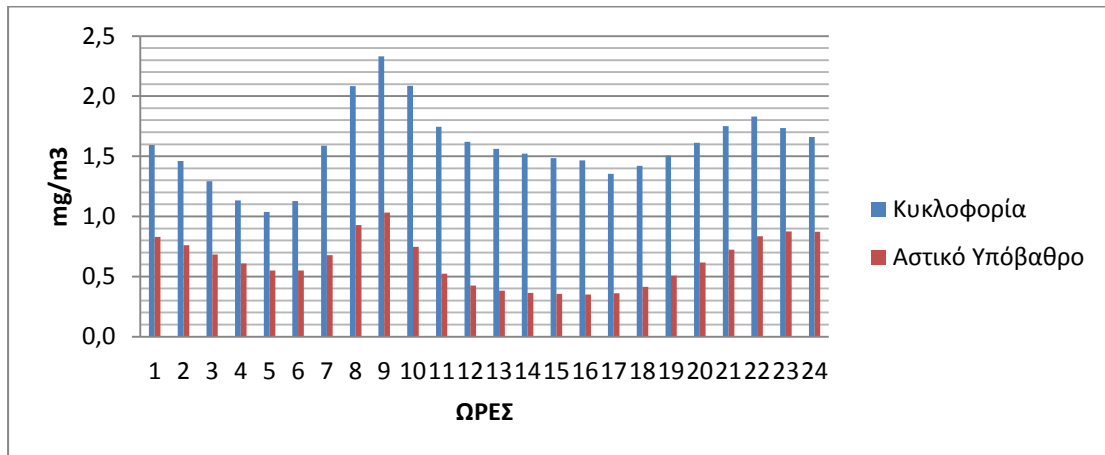


Σχήμα 4.1.5.3. Ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών περαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρόμοια εικόνα εμφανίζει και το Σχήμα 4.1.5.3. με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Η μέγιστη συγκέντρωση παρουσιάζεται κυρίως τις μεταμεσημβρινές ώρες (2-5) λόγω της αυξημένης ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι υψηλότερα από τα αυτά των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Το όζον είναι περιφερειακός ρύπος. Επιπλέον, η αύξηση των επιπέδων συγκεντρώσεων του O₃ και για τις τρεις κατηγορίες σταθμών, ευνοείται από την ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας που προοδευτικά μετά τις 10πμ, πνέει από το νότο προς το βορά, σαρώνοντας προοδευτικά αέριους και σωματιδιακούς ρύπους προς το εσωτερικό του λεκανοπεδίου.

4.2 Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά κατηγορία σταθμών

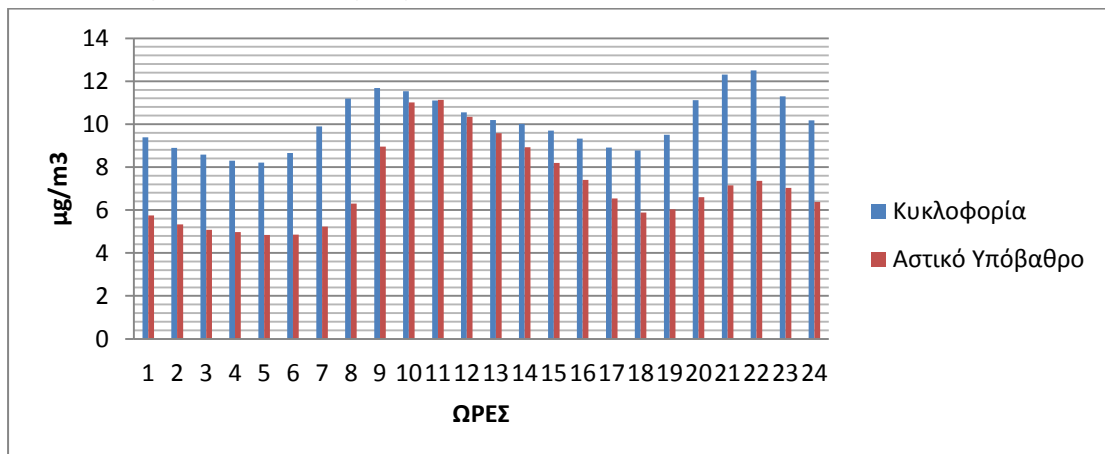
4.2.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.2.1.1. Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης CO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

Στο Σχήμα 4.2.1.1 παρουσιάζεται η μέση ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης CO των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Το CO και για τους δύο σταθμούς, φαίνεται να έχει ένα μεγάλο μέγιστο το πρωί (8-10). Για τους σταθμούς κυκλοφορίας το δεύτερο μέγιστο παρουσιάζεται το βράδυ (9-11) ενώ για τους σταθμούς αστικού υποβάθρου, εμφανίζεται το χρονικό διάστημα 10μμ έως 1πμ. Το πρωτεύον μέγιστο συμπίπτει χρονικά με τις ώρες αιχμής και στο γεγονός ότι τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές, για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων, μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών). Αντίθετα τα δευτερεύοντα μέγιστα συμπίπτουν περισσότερο χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης.

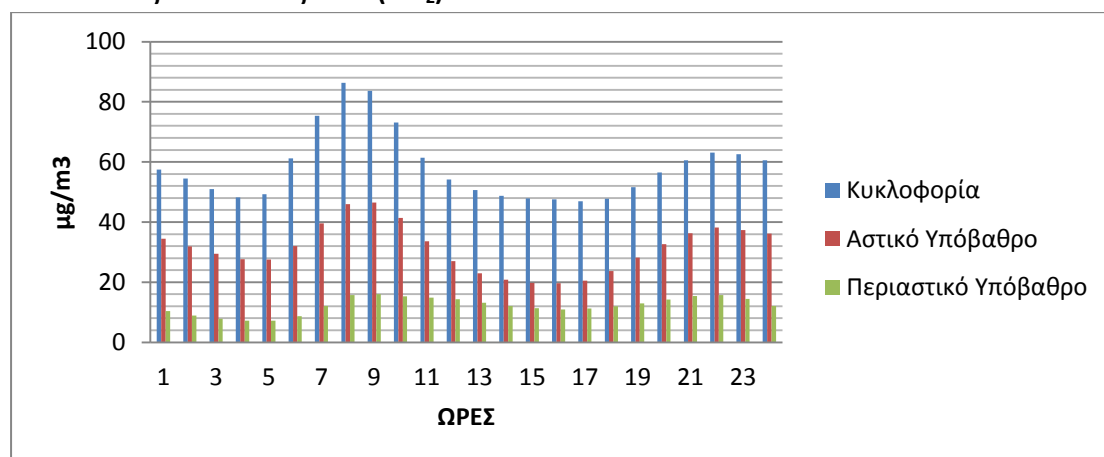
4.2.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.2.2.1. Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu g/m^3$

Η διακύμανση συγκεντρώσεων στους σταθμούς κυκλοφορίας (Σχ. 4.2.2.2), για την μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης του SO₂, εμφανίζει ανόμοια εικόνα με τους σταθμούς αστικού υποβάθρου λόγω των πολύ χαμηλών επιπέδων συγκεντρώσεων. Το πρωτεύον μέγιστο, για τους σταθμούς κυκλοφορίας, παρουσιάζεται τις πρωινές ώρες (8-10) και το δευτερεύον μέγιστο τις βραδινές ώρες (9-10). Περίπου με τον ίδιο τρόπο, οι σταθμοί περαστικού υποβάθρου, εμφανίζουν το πρώτο μέγιστο το χρονικό διάστημα 10πμ έως 11πμ ενώ το δεύτερο μέγιστο παρατηρείτε το χρονικό διάστημα 9μμ έως 10μμ. Το πρωινό μέγιστο ταυτίζεται χρονικά με την εμφάνιση ευνοϊκών μετεωρολογικών συνθηκών (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) που επικρατούν τις πρωινές ώρες. Επιπλέον, το πρωινό και το βραδινό μέγιστο, συμπίπτουν με τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας και τη χρήση κεντρικής θέρμανσης. Οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα του αστικού υποβάθρου είναι μικρότερες σε σχέση με τους σταθμούς κυκλοφορίας.

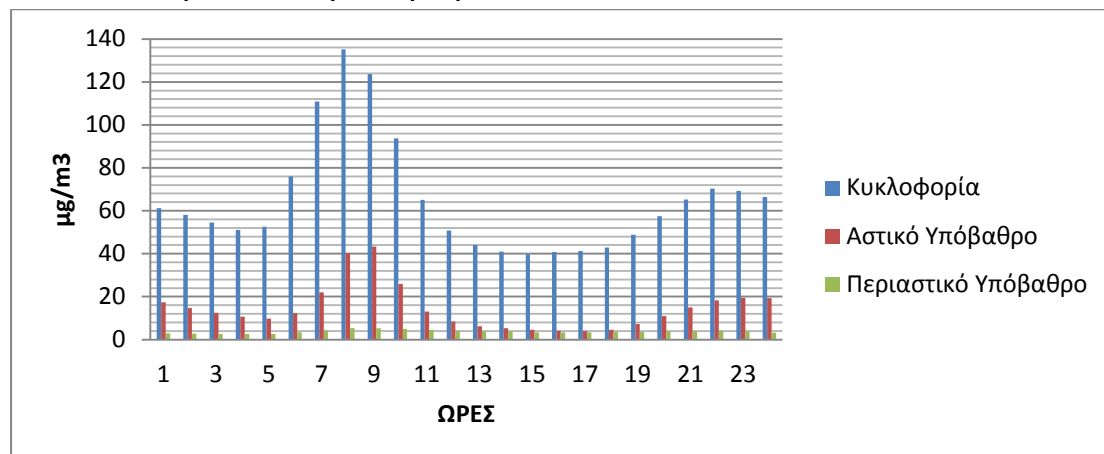
4.2.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)



Σχήμα 4.2.3.1. Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.2.3.1, διαπιστώνεται ότι η μέση ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών, έχει μέγιστη ωριαία διακύμανση το πρωί (8-9) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (9-11). Τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Η διακύμανση είναι παρόμοια και για τις τρεις κατηγορίες των σταθμών με διαφορετικά επίπεδα συγκεντρώσεων. Στους σταθμούς κυκλοφορίας καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με τους σταθμούς αστικού και περιαστικού υποβάθρου, αφού πρόκειται για σχετικούς στενούς αυτοκινητόδρομους με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία. Αντίθετα, οι σταθμοί περιαστικού υποβάθρου παρουσιάζουν μικρότερα επίπεδα συγκεντρώσεων κυρίως λόγω της μειωμένης κίνησης.

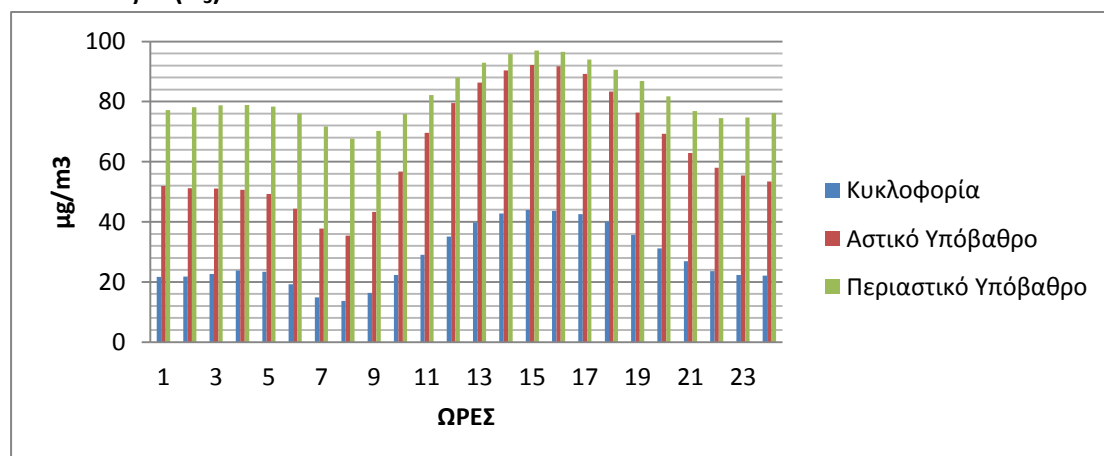
4.2.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



Σχήμα 4.2.4.1. Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης NO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 4.2.4.1) παρουσιάζεται η μέση ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO των σταθμών. Το NO φαίνεται να έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο το πρωί (7-9) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (10-11). Το χρονικό διάστημα που εμφανίζεται το πρωινό μέγιστο, οφείλεται στο γεγονός ότι τις ώρες αυτές επικρατούν ευνοϊκές για τη συσσώρευση των ατμοσφαιρικών ρύπων μετεωρολογικές συνθήκες (εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών) ενώ και τα δυο μέγιστα συμπίπτουν χρονικά με τις ώρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων, για τους σταθμούς κυκλοφορίας, είναι πολύ υψηλότερα σε σχέση με τους σταθμούς αστικού υποβάθρου, ενώ τα επίπεδα στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου είναι μηδαμινά. Οι υψηλότερες τιμές των σταθμών κυκλοφορίας οφείλονται και στην τοπογραφική και πολεοδομική διαρρύθμιση των περιοχών που εξετάζονται επειδή οι στενοί δρόμοι και τα ψηλά κτίρια δεν ευνοούν τον αερισμό.

4.2.5 Όζον (O₃)

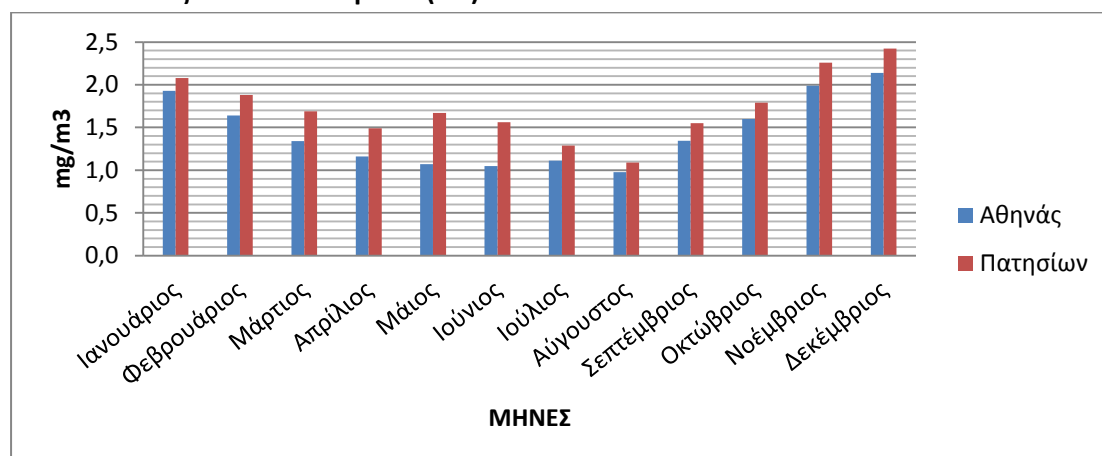


Σχήμα 4.2.5.1. Μέση ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο Σχήμα 4.2.5.1 παρουσιάζεται η μέση ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης O_3 των σταθμών κυκλοφορίας, αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Το O_3 φαίνεται να έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο τις μεταμεσημβρινές ώρες (2-5). Δεδομένου ότι αυτός ο ρύπος σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες, το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία παρουσιάζουν το μέγιστο. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι χαμηλά για τους σταθμούς κυκλοφορίας και υψηλά για τους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου εμφανίζοντας αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις NO το οποίο καταστρέφει το όζον. Επιπλέον, η θαλάσσια αύρα παίζει ρόλο κλειδί σαρώνοντας τους υδρογονάνθρακες προς την περιφέρεια βόρεια του λεκανοπεδίου εκεί όπου το όζον θα σχηματιστεί φωτοχημικά τις μεταμεσημβρινές ώρες.

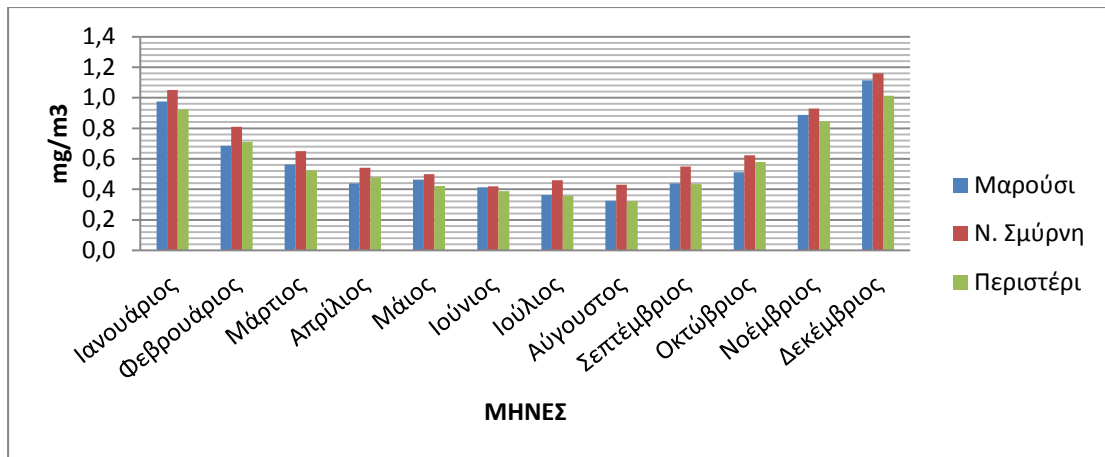
4.3 Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό

4.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.3.1.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

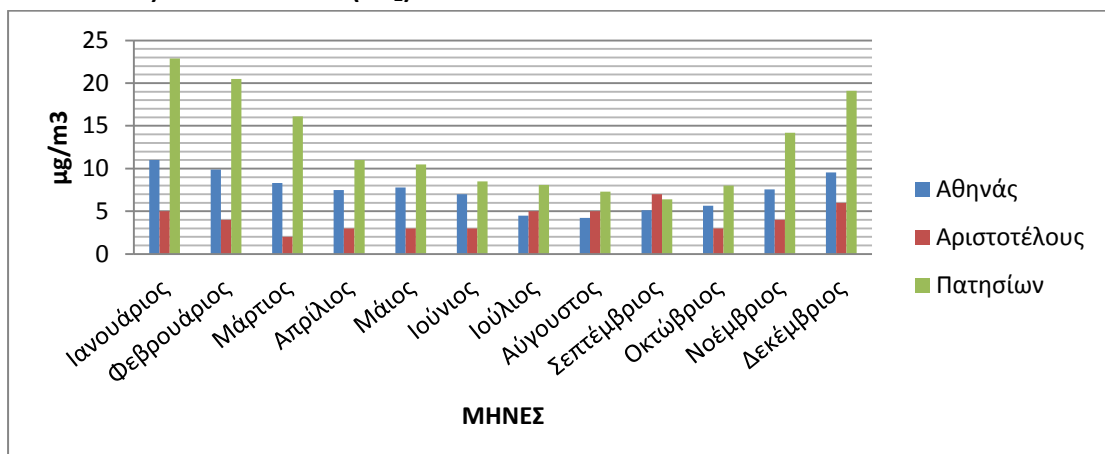
Στο Σχήμα 4.3.1.1 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης CO στους σταθμούς κυκλοφορίας. Το CO φαίνεται να έχει μηνιαίο μέγιστο το μήνα Δεκέμβριο και μηνιαίο ελάχιστο το μήνα Αύγουστο. Είναι φανερό, ότι ο πρωτογενής ρύπος CO, παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τους μήνες του χειμώνα. Αυτό οφείλεται στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή), στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και στη χρήση κεντρικής θέρμανσης. Επιπλέον ο σταθμός Πατησίων στα επίπεδα των συγκεντρώσεων εμφανίζει υψηλότερες συγκεντρώσεις έναντι του σταθμού Αθηνάς, αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία.



Σχήμα 4.3.1.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

Η μηνιαία διακύμανση στους σταθμούς αστικού υποβάθρου (Σχ. 4.3.1.2) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας, αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Τα μηνιαίο μέγιστο των συγκεντρώσεων παρουσιάζεται το μήνα Δεκέμβριο ενώ τον μήνα Αύγουστο εμφανίζεται το μηνιαίο ελάχιστο. Επειδή ο CO είναι πρωτογενής ρύπος, εμφανίζει μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων τους χειμερινούς μήνες. Το μέγιστο προκύπτει από την αυξημένη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες, τη χρήση συστημάτων θέρμανσης και τη λειτουργία των μηχανών των αυτοκινήτων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων φαίνεται να συμπίπτει και για τους τρεις σταθμούς αστικού υποβάθρου (Μαρούσι, Ν. Σμύρνη, Περιστερί) με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων να είναι σχεδόν παρόμοια, γεγονός που δείχνει ότι οι τρεις σταθμοί έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

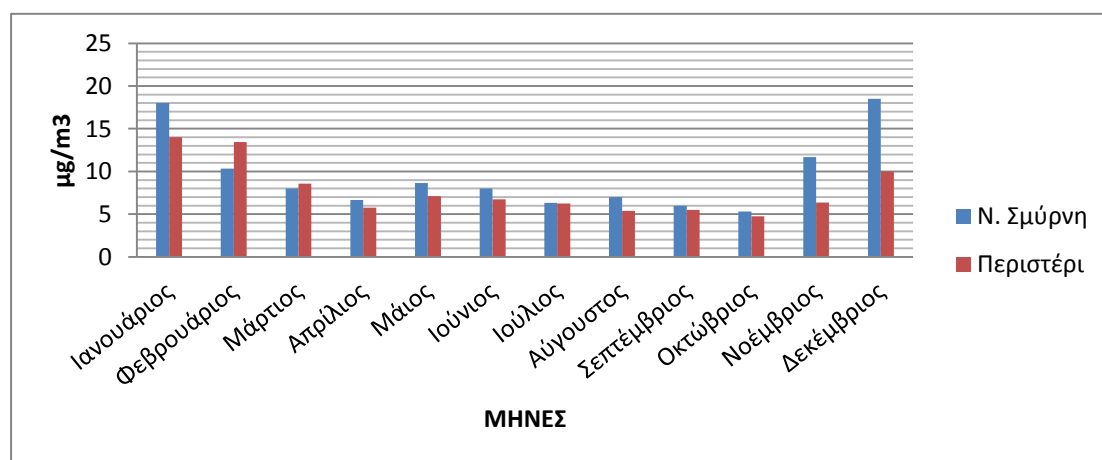
4.3.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.3.2.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $µg/m^3$

Στο Σχήμα 4.3.2.1 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ για τους σταθμούς κυκλοφορίας. Ο ατμοσφαιρικός ρύπος SO₂, για το σταθμό Αριστοτέλους,

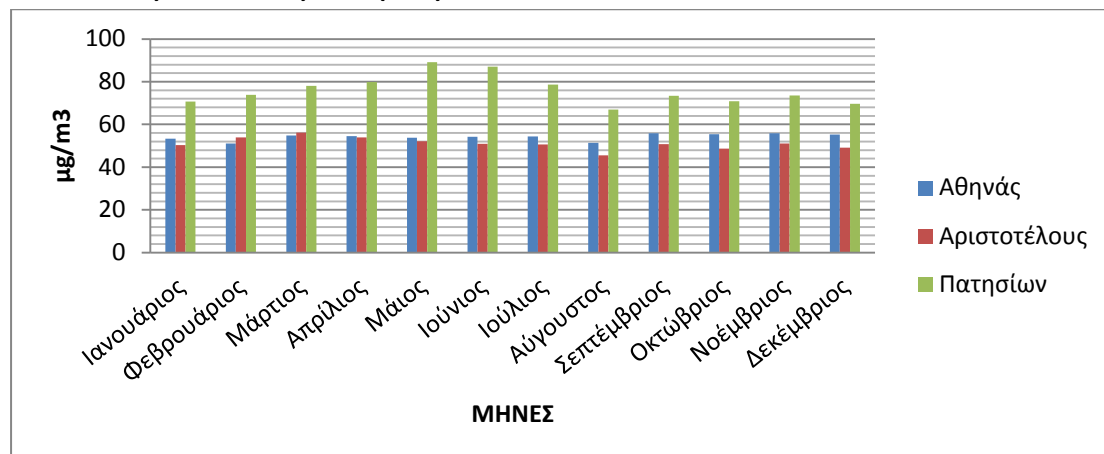
παρουσιάζει μηνιαίο μέγιστο το μήνα Σεπτέμβριο ενώ για τους άλλους δύο σταθμούς το μηνιαίο μέγιστο εμφανίζεται το μήνα Ιανουάριο. Το μηνιαίο ελάχιστο διαφέρει σε κάθε σταθμό, καθώς για το σταθμό Αθηνάς είναι το μήνα Αύγουστο, για το σταθμό Αριστοτέλους είναι το μήνα Μάρτιο και για το σταθμό Πατησίων είναι για το μήνα Σεπτέμβριο ενώ τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά. Ως πρωτογενής ρύπος το SO₂ παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων το χειμώνα και αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Λόγω της πολεοδομικής κατάστασης και της αυξημένης κυκλοφορίας τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στο σταθμό Πατησίων είναι πολύ υψηλότερα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς.



Σχήμα 4.3.2.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

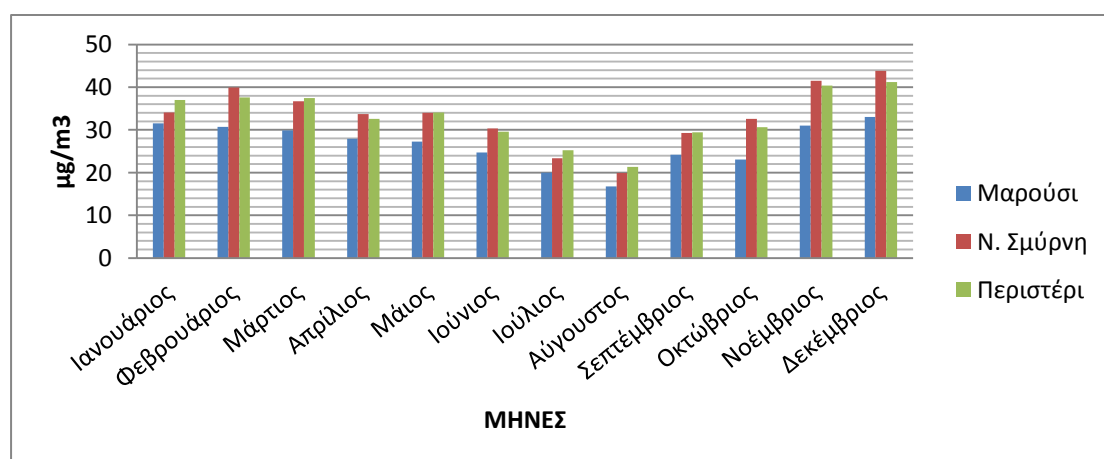
Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα (Σχ. 4.3.2.2), διαπιστώνεται ότι η διακύμανση στους σταθμούς αστικού υποβάθρου, για το SO₂, παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας με παρόμοια επίπεδα συγκεντρώσεων. Το μηνιαίο μέγιστο εμφανίζεται κυρίως το μήνα Δεκέμβριο ενώ το μηνιαίο ελάχιστο παρουσιάζεται το μήνα Οκτώβριο. Όπως προαναφέρθηκε, ο ρύπος SO₂, είναι πρωτογενής ατμοσφαιρικός ρύπος που παράγεται κυρίως από τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Συνεπώς, οι μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων θα εμφανίζονται του χειμερινούς μήνες. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων στους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου είναι σχεδόν όμοια γεγονός που αποδίδεται στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά.

4.3.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)



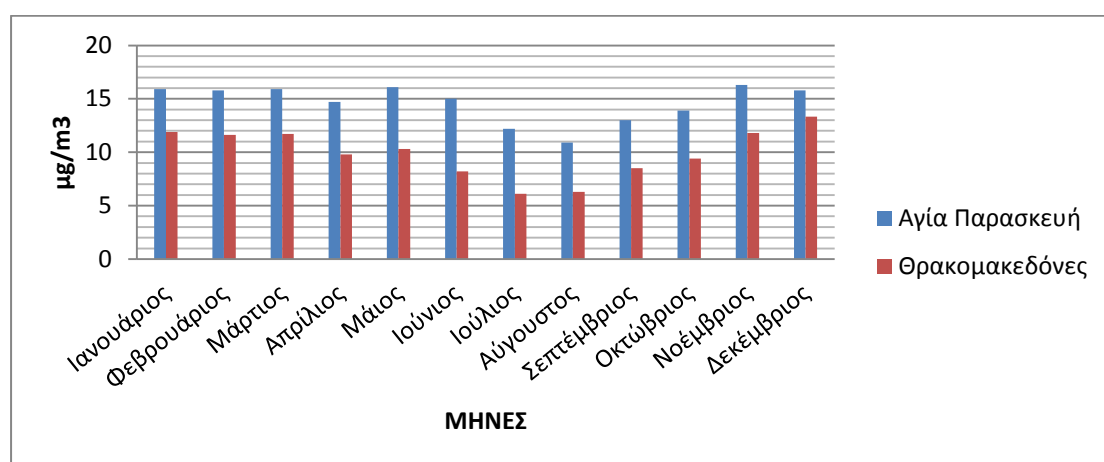
Σχήμα 4.3.3.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ στους σταθμούς κυκλοφορίας. Συγκρίνοντας τις μέσες μηνιαίες τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου NO₂, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τους μήνες Μάρτιο με Ιούλιο ενώ τους υπόλοιπους μήνες παρουσιάζεται ύφεση με χαμηλότερη τιμή τον Αύγουστο λόγω μικρών εκπομπών NO. Τους μήνες Μάιο και Ιούνιο προκύπτουν μέγιστες τιμές επειδή επικρατούν συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας και επίσης μέγιστες σε διάρκεια ημέρες με ηλιοφάνεια και εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία που ευνοούν το σχηματισμό του και μεγάλη συχνότητα ισχυρών θερμοκρασιακών αναστροφών που ευνοούν τη συσσώρευση του NO. Οι σταθμοί Αθηνάς και Αριστοτέλους παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση με τα επίπεδα των συγκεντρώσεων να είναι σχεδόν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς και Αριστοτέλους, αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία.



Σχήμα 4.3.3.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

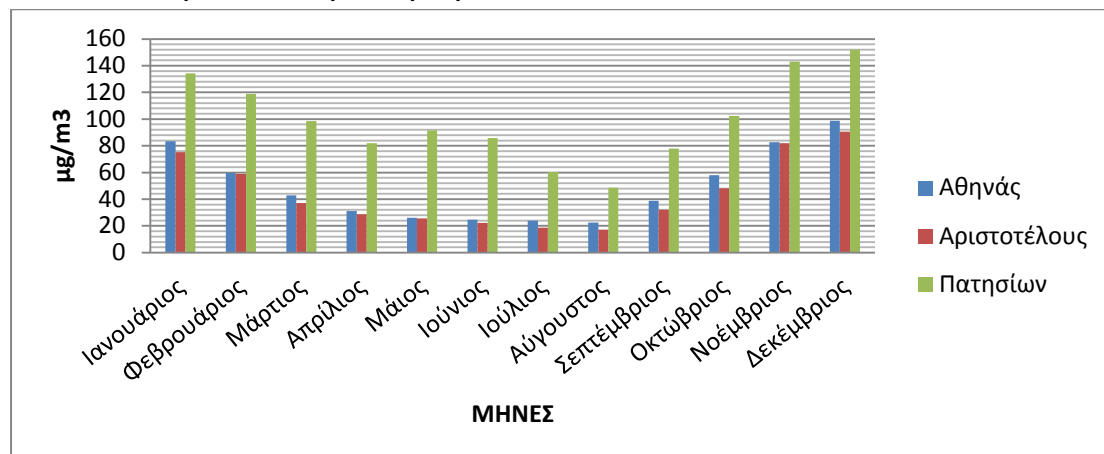
Στο Σχήμα 4.3.3.2 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών αστικού υποβάθρου. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων φαίνεται να είναι παρόμοια και στους τρεις σταθμούς (Μαρούσι, Ν. Σμύρνη, Περιστερί). Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι υψηλότερα από το μήνα Νοέμβριο έως το μήνα Μάρτιο, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους μήνες με έντονη ηλιοφάνεια (Ιούνιο με Σεπτέμβριο) με χαμηλότερη τιμή τον Αύγουστο λόγω μικρών εκπομπών NO. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων, φαίνεται να συμπίπτει χρονικά με τη χρήση τζακιών και άλλων συστημάτων θέρμανσης όπου στην περίπτωση των σταθμών υποβάθρου φαίνεται να παίζει μεγαλύτερο ρόλο λόγω των χαμηλότερων εκπομπών κυκλοφορίας. Σε σύγκριση με τους σταθμούς κυκλοφορίας, παρατηρούνται χαμηλότερες εκπομπές ρύπων που οφείλεται στην ηπιότερη κυκλοφορία.



Σχήμα 4.3.3.3. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

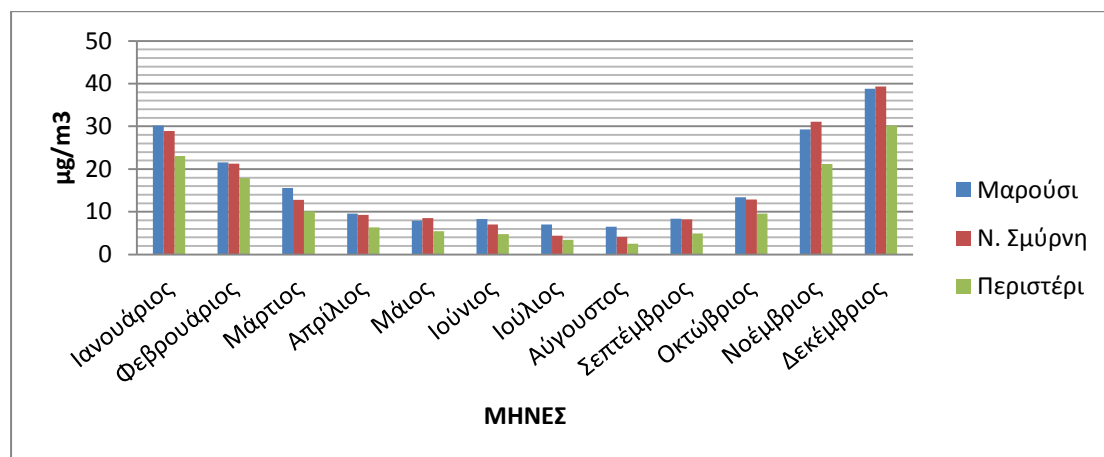
Η διακύμανση των συγκεντρώσεων στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου (Σχ. 4.3.3.3), για την μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης του NO₂, παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με τους σταθμούς αστικού υποβάθρου. Συνεπώς, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων για τους σταθμούς που εξετάζονται, είναι υψηλότερα από το μήνα Νοέμβριο έως το μήνα Μάιο, ενώ χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους μήνες με εντονότερη ηλιοφάνεια με χαμηλότερη τιμή τον Αύγουστο λόγω μικρών εκπομπών NO. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι πολύ χαμηλότερα σε σχέση με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται στην ηπιότερη κυκλοφορία καθώς και στη πολεοδομική διάταξη των περιοχών όπου ευνοείται η διάχυση. Κατά την ψυχρή περίοδο του έτους κύρια πηγή αποτελεί η κεντρική θέρμανση.

4.3.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



Σχήμα 4.3.4.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

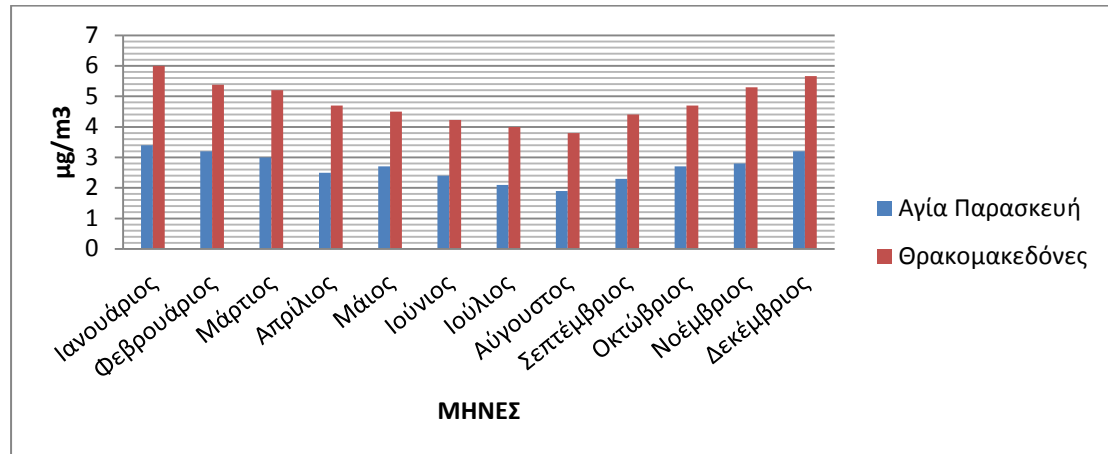
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.4.1, η διακύμανση της μηνιαίας μεταβολής συγκέντρωσης του NO είναι παρόμοια και για τους τρεις σταθμούς. Το μηνιαίο μέγιστο παρουσιάζεται τους χειμερινούς μήνες, με αποκορύφωση τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ το μηνιαίο ελάχιστο τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Αύγουστο. Αυτό οφείλεται στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (έναρξη με κρύα μηχανή), στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και στη χρήση κεντρικής θέρμανσης. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των σταθμών Αθηνάς και Αριστοτέλους, παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα σε σύγκριση με το σταθμό Πατησίων, που δηλώνει ότι αυτοί οι δύο σταθμοί έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.



Σχήμα 4.3.4.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Η ίδια διακύμανση εμφανίζεται και στο Σχήμα 4.3.4.2, δηλαδή στους σταθμούς αστικού υποβάθρου, με μικρότερα επίπεδα συγκεντρώσεων. Το μηνιαίο μέγιστο παρουσιάζεται τους χειμερινούς μήνες, με αποκορύφωση τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ το μηνιαίο ελάχιστο τους θερινούς μήνες. Η παρουσία έντονων συγκεντρώσεων τους ψυχρούς μήνες οφείλεται στην χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών και στη χρήση συστημάτων

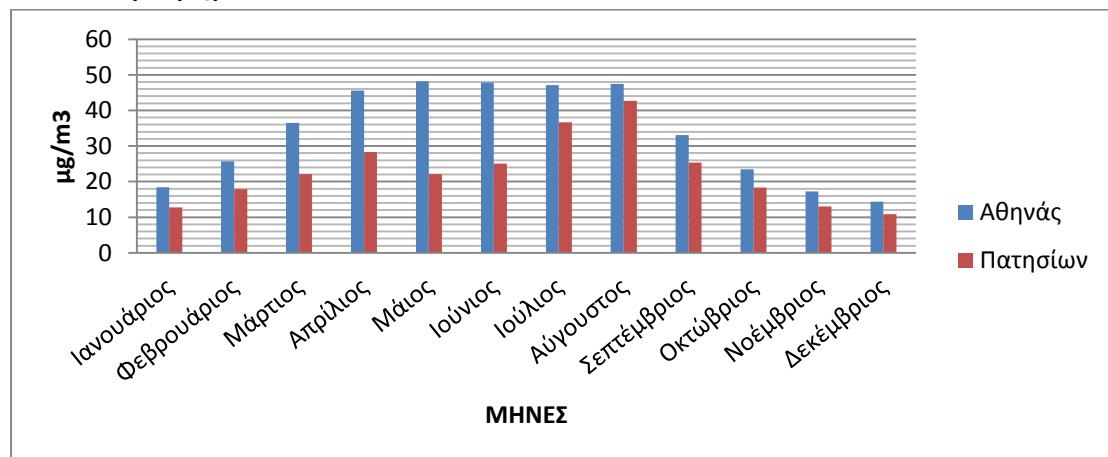
θέρμανσης. Ο ατμοσφαιρικός ρύπος NO εμφανίζει μικρότερα επίπεδα συγκεντρώσεων από τους σταθμούς κυκλοφορίας που οφείλεται στην μειωμένη κυκλοφορία. Οι σταθμοί κυκλοφορίας παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά, αφού οι διακυμάνσεις τους εμφανίζουν σχεδόν την ίδια εικόνα. Τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά.



Σχήμα 4.3.4.3. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

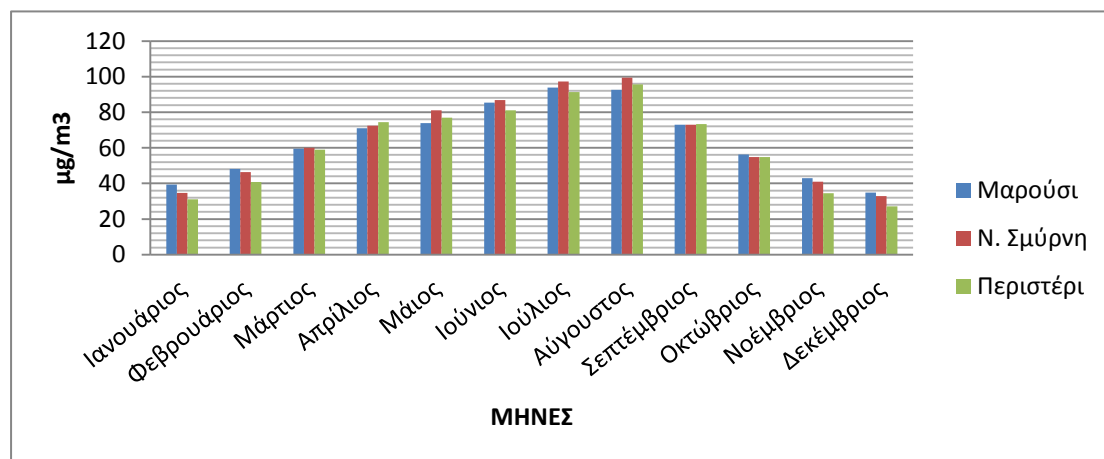
Στο Σχήμα 4.3.4.3 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Συγκρίνοντας τις μέσες μηνιαίες τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου NO, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τους μήνες Νοέμβριο με Ιανουάριο ενώ τους υπόλοιπους μήνες παρουσιάζεται ύφεση. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι πολύ χαμηλότερα σε σύγκριση με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου αν και η διακύμανση των τιμών είναι παρόμοια. Αυτό θεωρείται αναμενόμενο λόγω της μειωμένης κίνησης και της πολεοδομικής διάταξης των περιοχών. Τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά.

4.3.5 Όζον (O₃)



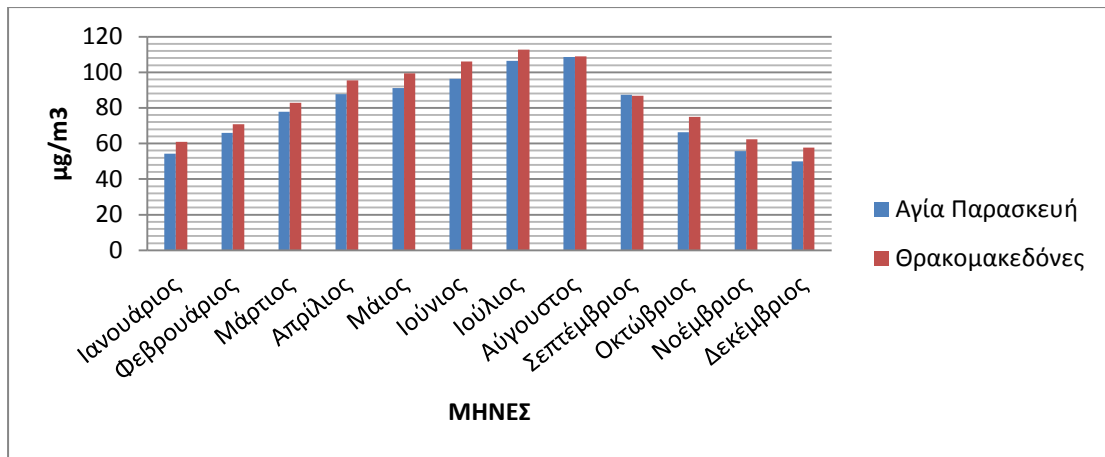
Σχήμα 4.3.5.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 4.3.5.1) παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης του O₃ στους σταθμούς κυκλοφορίας. Δεδομένου ότι ο δευτερογενής ρύπος όζον (O₃), παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τη θερινή περίοδο του έτους λόγω μέγιστης ηλιοφάνειας και μεγάλης συχνότητας ισχυρών θερμοκρασιακών αναστροφών, οι μέγιστες συγκεντρώσεις εμφανίζονται τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο. Στο σταθμό Αθηνάς καταγράφονται μεγαλύτερες μετρήσεις σε σύγκριση με το σταθμό Πατησίων, λόγω χαμηλότερων συγκεντρώσεων NO.



Σχήμα 4.3.5.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Όπως και με το Σχήμα 4.3.5.1, έτσι και το Σχήμα 4.3.5.2 παρουσιάζει την μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών αστικού υποβάθρου. Η διακύμανση των σταθμών αστικού υποβάθρου είναι παρόμοια με των σταθμών κυκλοφορίας αλλά με μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων. Επομένως οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται το μήνα Απρίλιο έως Σεπτέμβριο, ενώ στους υπόλοιπους μήνες παρατηρείται ύφεση, με ελάχιστη συγκέντρωση το μήνα Δεκέμβριο. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων φαίνεται να συμπίπτει μηνιαία και για τους τρεις σταθμούς αστικού υποβάθρου (Μαρούσι, Ν. Σμύρνη, Περιστερί) αλλά και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι παρόμοια, γεγονός που δείχνει ότι οι τρεις σταθμοί έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

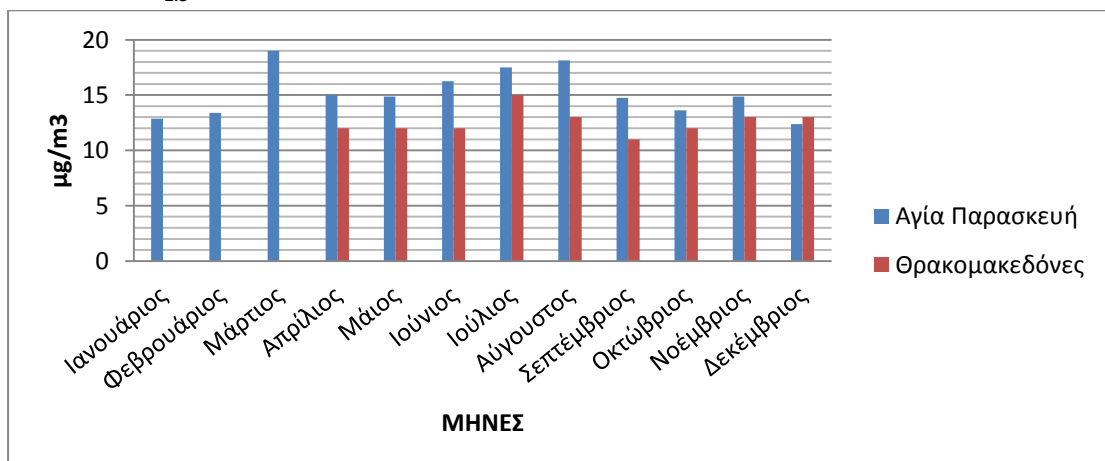


Σχήμα 4.3.5.3. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.3.5.3, διαπιστώνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων για τους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, είναι παρόμοια με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Ο μετρούμενος ατμοσφαιρικός ρύπος εμφανίζει μηνιαίο μέγιστο τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο, ενώ το μηνιαίο ελάχιστο προκύπτει τους μήνες Σεπτέμβριο έως Μάρτιο. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια σε διάρκεια και ένταση των μηνών αυτών, δεδομένου ότι ο ρύπος αυτός σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτή την κατηγορία σταθμών παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αφού το όζον χαρακτηρίζεται ως περιφερειακός ρύπος.

4.3.6 Αιωρούμενα σωματίδια

4.3.6.1 PM_{2.5}

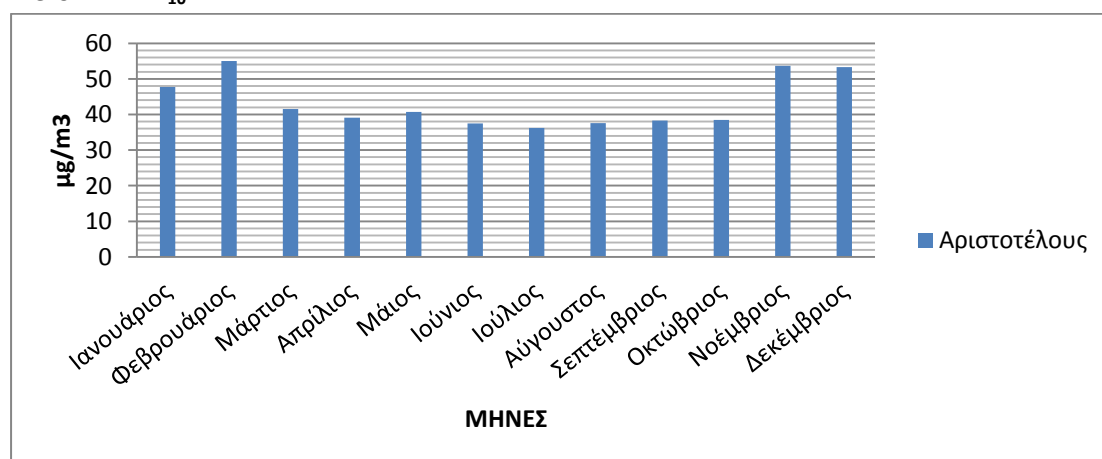


Σχήμα 4.3.6.1.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5} σταθμών περιαστικού υποβάθρου της Αγίας Παρασκευής για τα έτη 2006 – 2015 και για των Θρακομακεδόνων για το έτος 2015, σε µg/m³

Στο σχήμα 4.3.6.1.1. παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5} των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Οι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων

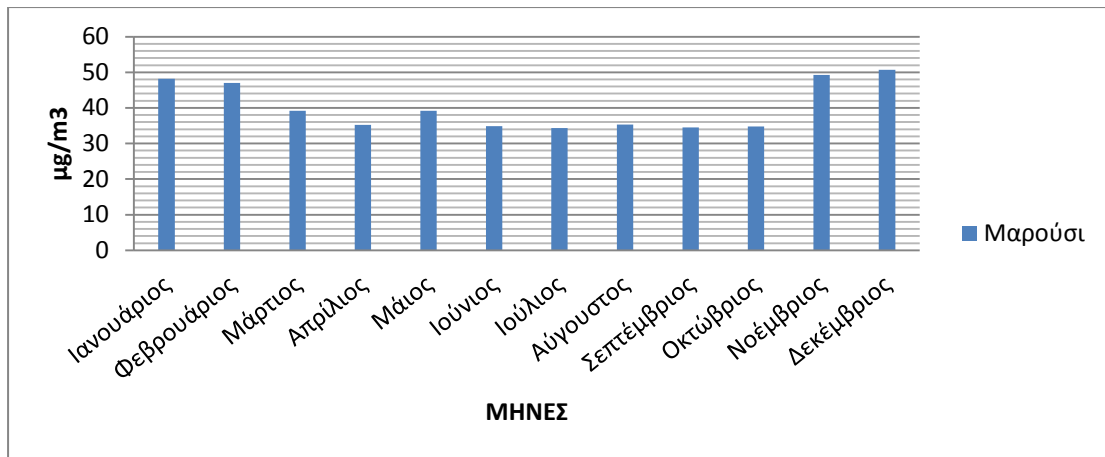
PM_{2.5} στην αρχή της άνοιξης και στο τέλος του καλοκαιριού, οφείλονται στην συνεισφορά από την μεταφορά σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) και στην επαναιώρηση από το έδαφος λόγω ισχυρών ανέμων (Ετησίες) αντίστοιχα. Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων για το σταθμό των Θρακομακεδόνων αφορούν το έτος 2015 και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει στατιστικά σημαντική σύγκριση.

4.3.6.2 PM₁₀



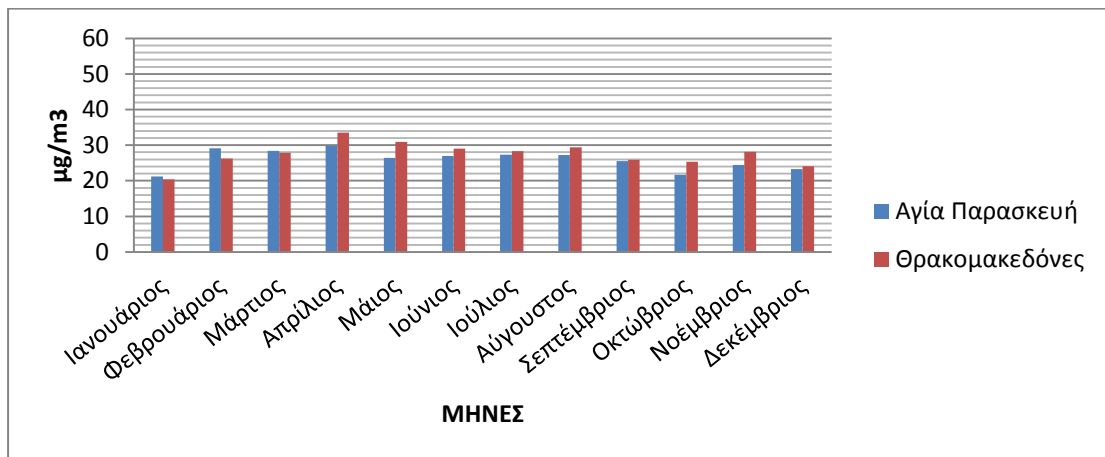
Σχήμα 4.3.6.2.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 4.3.6.2.1) παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών κυκλοφορίας. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν οι μετρήσεις των υπόλοιπων σταθμών κυκλοφορίας (Αθηνάς και Πατησίων), εξετάζονται μόνο οι μετρήσεις του σταθμού Αριστοτέλους. Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα, από το μήνα Ιανουάριο έως το Φεβρουάριο εμφανίζεται μια μικρή άνοδος στις συγκεντρώσεις. Τους επόμενους μήνες, (Μάρτιος έως Οκτώβριος) η τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου μειώνονται και έπειτα μεταβάλλονται ραγδαία ανοδικά από το μήνα Νοέμβριο έως Δεκέμβριο. Τους χειμερινούς μήνες, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι υψηλά εξαιτίας της χρήσης βιομάζας ως θερμαντικού μέσου αλλά και λόγω της κυκλοφορίας (πετρελαιοκίνητα).



Σχήμα 4.3.6.2.2. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.3.6.2.2, η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών αστικού υποβάθρου παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση με τους σταθμούς κυκλοφορίας. Οι τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου PM₁₀ εμφανίζουν μέγιστο τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο με Φεβρουάριο) λόγω κεντρικής θέρμανσης και κυκλοφορίας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σταθμούς αστικού υποβάθρου, αφορούν το σταθμό Αμαρουσίου καθώς δεν υπάρχουν μετρήσεις για τους σταθμούς Περιστερίου και Νέας Σμύρνης.

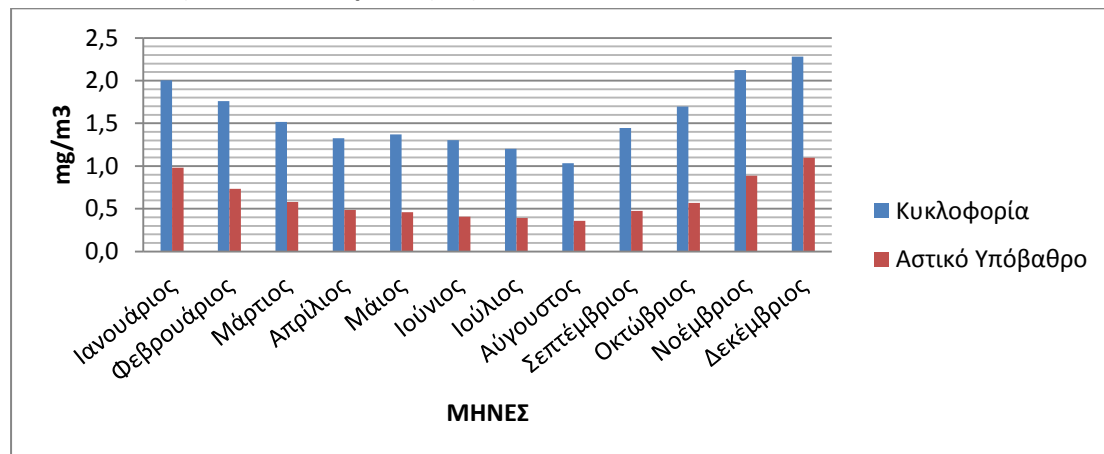


Σχήμα 4.3.6.2.3. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο Σχήμα 4.3.6.2.3 παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή της συγκέντρωσης PM₁₀ των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Από το παραπάνω γράφημα, δεν παρουσιάζεται σαφής μηνιαία μεταβολή επειδή τα αιωρούμενα σωματίδια είναι κυρίως φυσικής προέλευσης λόγω της θέσης των σταθμών δηλαδή οφείλονται στη συνεισφορά από την μεταφορά σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) και στην επαναιώρηση από το έδαφος. Η διακύμανση των σταθμών περιαστικού υποβάθρου διαφέρει από τη διακύμανση των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στη θέση των σταθμών που επηρεάζονται από διαφορετικές πηγές.

4.4 Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης σταθμών ανά κατηγορία σταθμών

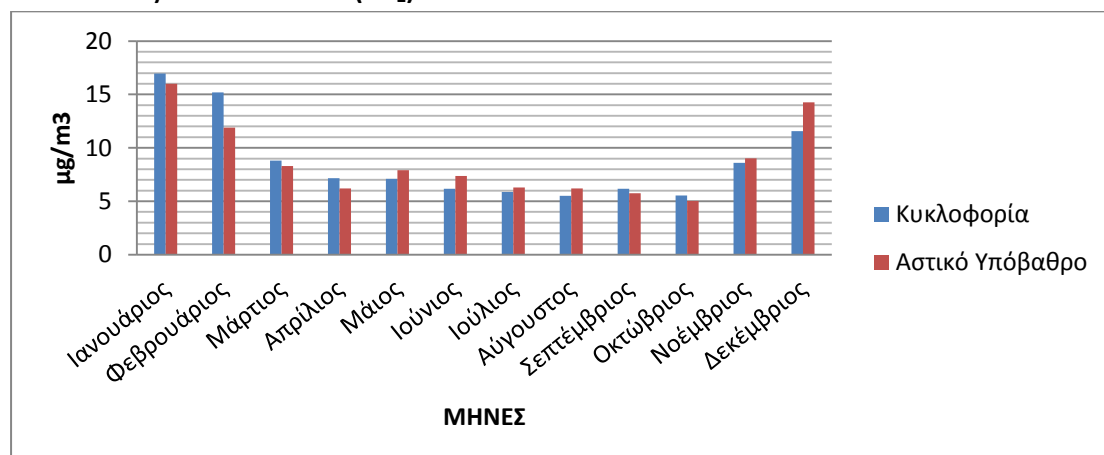
4.4.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.4.1.1. Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης CO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

Η μέση μηνιαία διακύμανση στους σταθμούς κυκλοφορίας (Σχ. 4.4.1.1) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών αστικού υποβάθρου, αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Το μέσο μηνιαίο μέγιστο των συγκεντρώσεων παρουσιάζεται και στους δύο σταθμούς, το μήνα Δεκέμβριο ενώ τον μήνα Αύγουστο εμφανίζεται το μέσο μηνιαίο ελάχιστο. Επειδή ο CO είναι πρωτογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, εμφανίζει μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων τους χειμερινούς μήνες. Το μέγιστο προκύπτει από τη αυξημένη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες, τη χρήση συστημάτων θέρμανσης και τη λειτουργία των μηχανών των αυτοκινήτων σε χαμηλές θερμοκρασίες.

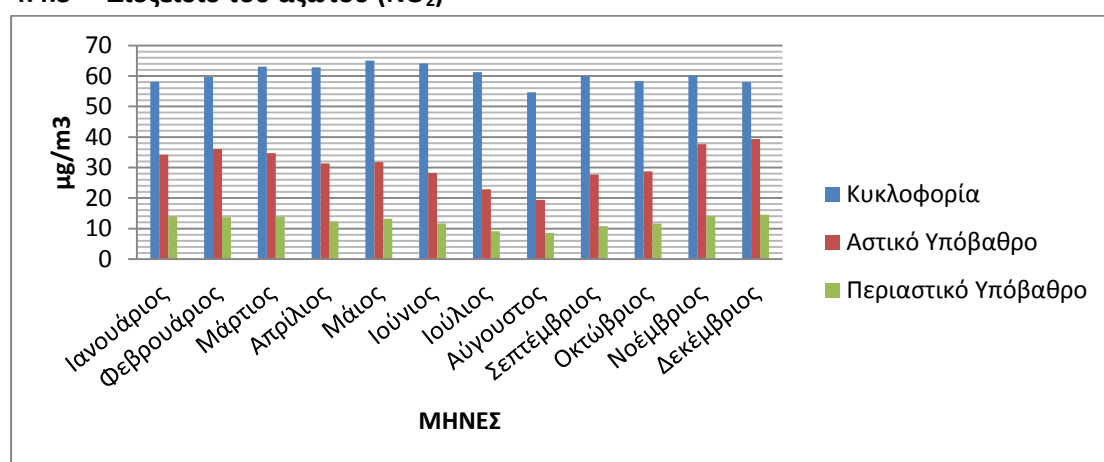
4.4.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.4.2.1. Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $µg/m^3$

Στο Σχήμα 4.4.2.1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Η διακύμανση και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των δύο σταθμών, παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα αν και τα χαρακτηριστικά των σταθμών διαφέρουν. Ο ρύπος SO₂ και για τις δύο κατηγορίες, παρουσιάζει μέσο μηνιαίο μέγιστο τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο) ενώ για τους υπόλοιπους μήνες, τα επίπεδα είναι παρόμοια με εξαίρεση τους μήνες Μάρτιο και Μάιο, όπου οι συγκεντρώσεις είναι ελαφρώς ανοδικές. Ως πρωτογενής ρύπος το SO₂ παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων το χειμώνα και αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά.

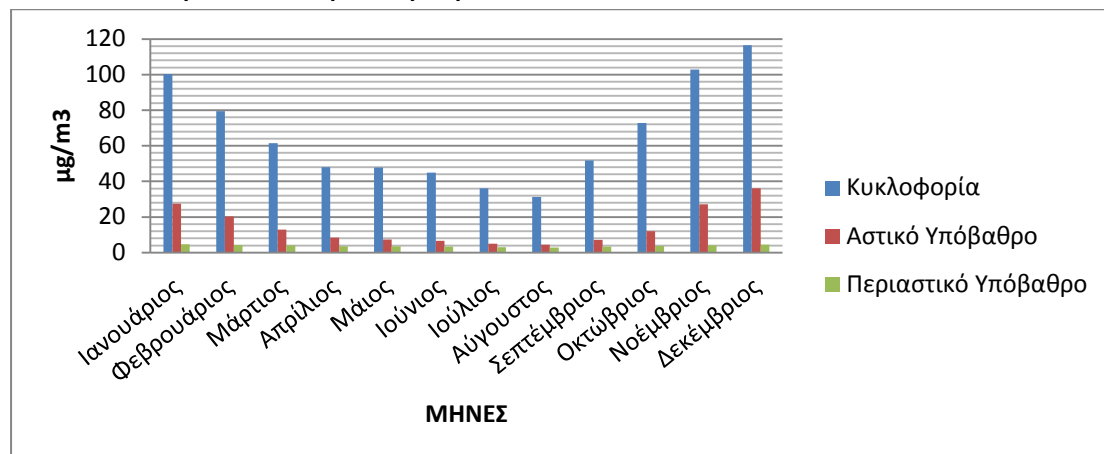
4.4.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)



Σχήμα 4.4.3.1. Μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών κυκλοφορίας, αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Συγκρίνοντας τις μέσες μηνιαίες τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου NO₂, για τους σταθμούς κυκλοφορίας, παρατηρούνται υψηλότερες τιμές τους μήνες Μάρτιο έως Ιούνιο ενώ για τους υπόλοιπους σταθμούς, το μέσο μηνιαίο μέγιστο εμφανίζεται τους μήνες Νοέμβριο με Δεκέμβριο. Αντίθετα, οι τρεις κατηγορίες παρουσιάζουν κοινή ελάχιστη συγκέντρωση το μήνα Αύγουστο λόγω χαμηλών εκπομπών. Οι διακυμάνσεις των σταθμών δεν παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα αφού τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, για τους σταθμούς κυκλοφορίας, οφείλονται κυρίως στην κυκλοφορία και τη μεγάλη συχνότητα ισχυρών θερμοκρασιακών αναστροφών, ενώ για τους σταθμούς αστικού και περιαστικού υποβάθρου, καθοριστικό ρόλο είχε η χρήση των τζακιών και διάφορων άλλων μορφών θέρμανσης. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των σταθμών κυκλοφορίας είναι πολύ υψηλότερα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς, δεδομένου ότι η κυκλοφορία είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε στενούς, με ψηλά κτίρια, αυτοκινητόδρομους με χαμηλή αέρια διάχυση.

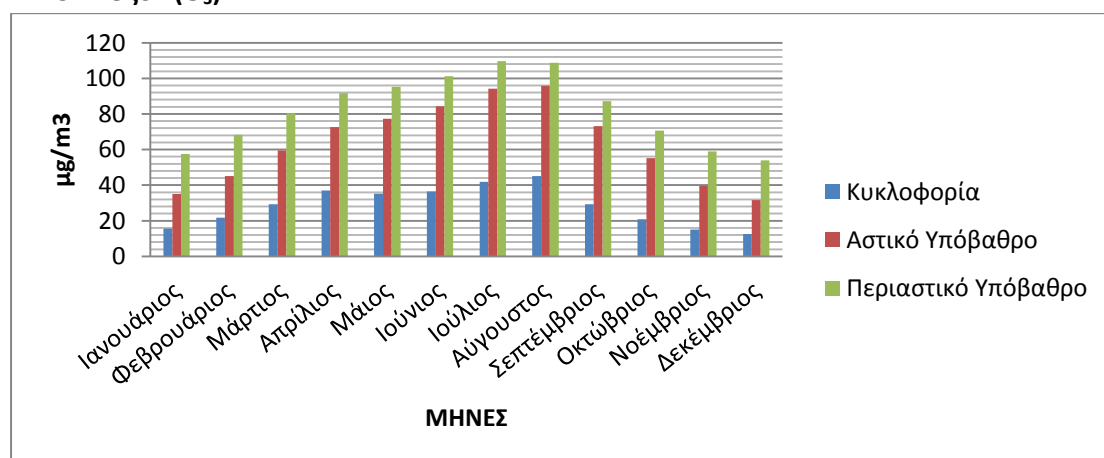
4.4.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



Σχήμα 4.4.4.1. Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.4.1, η διακύμανση της μέσης μηνιαίας μεταβολής συγκέντρωσης του NO είναι παρόμοια και για τις τρεις κατηγορίες σταθμών. Το μέσο μηνιαίο μέγιστο παρουσιάζεται τους χειμερινούς μήνες, με αποκορύφωση τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ το μέσο μηνιαίο ελάχιστο τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Αύγουστο. Αυτό οφείλεται στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή), στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και στη χρήση κεντρικής θέρμανσης. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού ρύπου NO είναι πολύ υψηλότερα (πολλαπλάσια) από τις τιμές των σταθμών αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σταθμοί κυκλοφορίας αποτελούνται από στενούς δρόμους με πυκνή δόμηση και ψηλά κτίρια που έχουν σαν συνέπεια τις πολύ υψηλότερες εκπομπές. Εκτός από τους σταθμούς κυκλοφορίας, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να θεωρηθούν στατιστικά σημαντικά λόγω ιδιαίτερα χαμηλών τιμών.

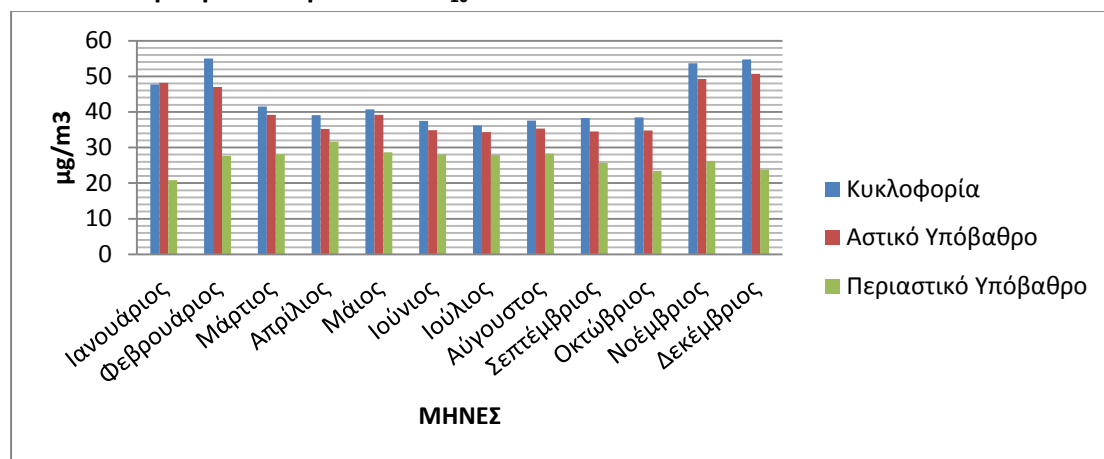
4.4.5 Όζον (O₃)



Σχήμα 4.4.5.1. Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης O₃ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.4.5.1, διαπιστώνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων για τους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, είναι παρόμοια με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Ο μετρούμενος ρύπος εμφανίζει μέσο μηνιαίο μέγιστο τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο, ενώ το μέσο μηνιαίο ελάχιστο προκύπτει τους μήνες Σεπτέμβριο έως Μάρτιο. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια σε διάρκεια και ένταση των μηνών αυτών, δεδομένου ότι ο ρύπος αυτός σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία. Πράγματι, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου με σημαντικό ρόλο να παίζει η θαλάσσια αύρα που μεταφέρει τους υδρογονάνθρακες στην περιφέρεια του λεκανοπεδίου όπου εκεί θα σχηματιστεί το όζον.

4.4.6 Αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀



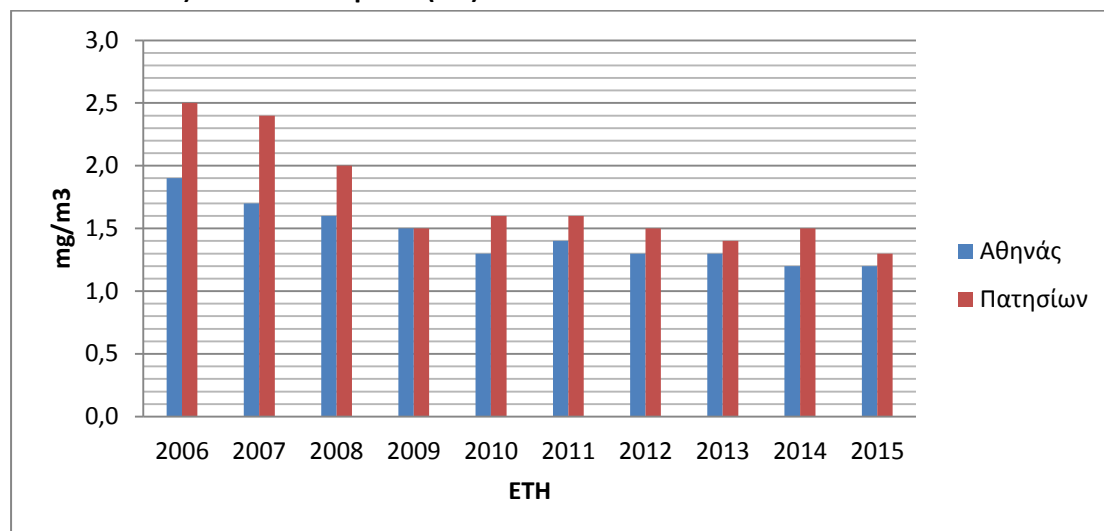
Σχήμα 4.4.6.1. Μέση μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο Σχήμα 4.4.6.1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία μεταβολή της συγκέντρωσης PM₁₀ των σταθμών κυκλοφορίας, αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Αναλύοντας το παραπάνω γράφημα, για τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου, παρατηρείται μια άνοδος των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ από το μήνα Νοέμβριο έως το μήνα Φεβρουάριο και στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή πτώση στις τιμές μέχρι το μήνα Οκτώβριο. Αντίθετα, στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, εμφανίζεται μια ανοδική πορεία από το μήνα Ιανουάριο με αποκορύφωση το μήνα Απρίλιο, στη συνέχεια παρατηρείται μικρή αλλά σταθερή πτώση στις συγκεντρώσεις έως το μήνα Αύγουστο και τέλος μια σταδιακή ύφεση μέχρι το μήνα Δεκέμβριο. Οι δύο αυτές προσωρινές, αυξητικές μεταβολές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ δηλαδή στην αρχή της άνοιξης και στο τέλος του καλοκαιριού, οφείλονται στην συνεισφορά από την μεταφορά σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) και στην επαναιώρηση από το έδαφος λόγω ισχυρών ανέμων (Ετησίες) ενώ για το μήνα Νοέμβριο τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι υψηλά εξαιτίας της χρήσης βιομάζας ως θερμαντικού μέσου. Η διακύμανση των σταθμών περιαστικού υποβάθρου διαφέρει από τη διακύμανση των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στη θέση των

σταθμών (περιαστικό υπόβαθρο), τους πλατύτερους δρόμους τον χαμηλότερο πληθυσμό και στην αραιή δόμηση (χαμηλές εκπομπές).

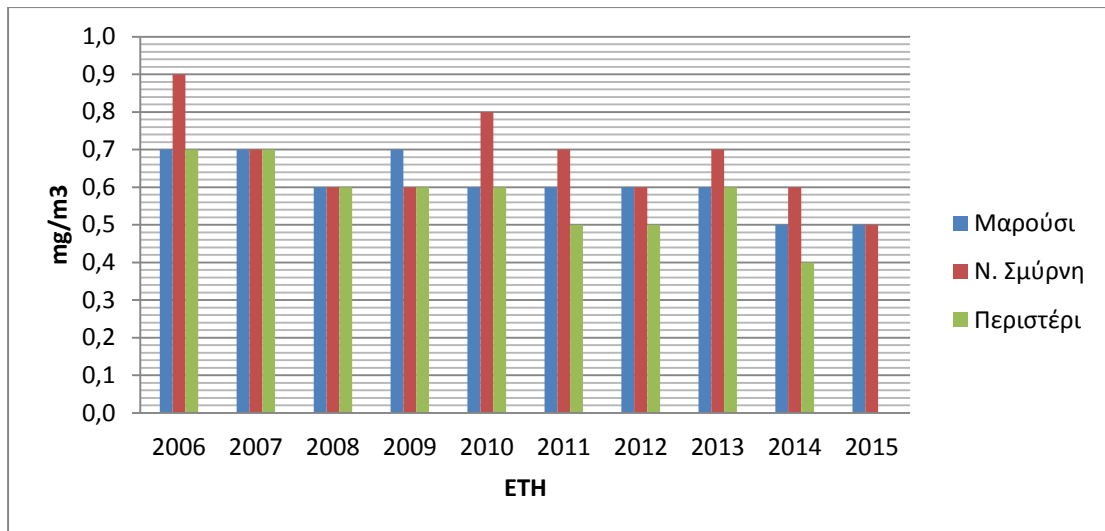
4.5 Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης ρύπων ανά σταθμό

4.5.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.5.1.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

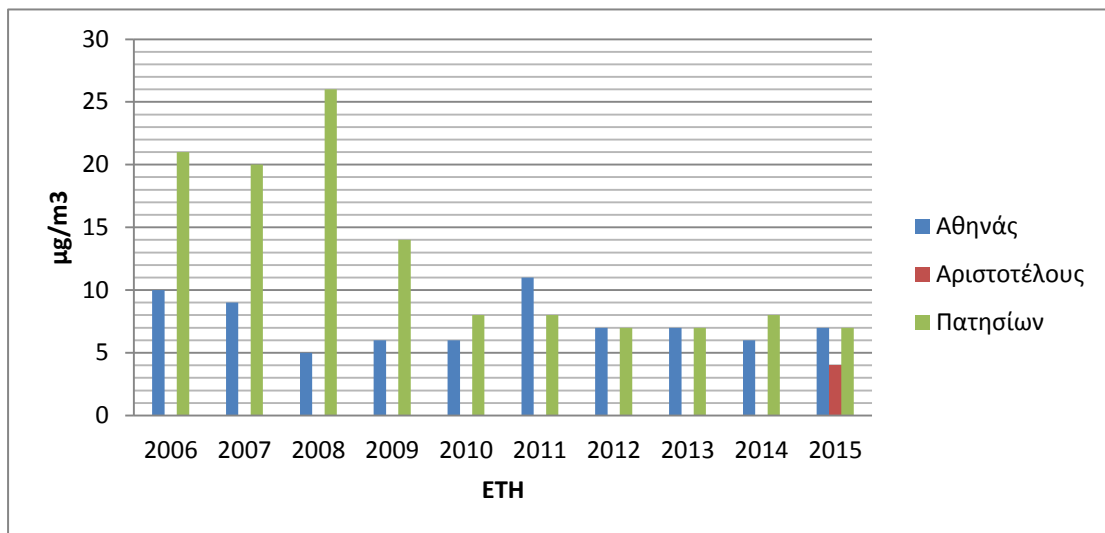
Παρατηρώντας το Σχήμα 4.5.1.1, διαπιστώνεται μια σταδιακή μείωση των ετήσιων συγκεντρώσεων CO των σταθμών κυκλοφορίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μείωση των ρυπογόνων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, την βελτίωση των κινητήρων και στη βελτίωση των καυσίμων. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων των δύο σταθμών, παρουσιάζει παρόμοια εικόνα, αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων στο σταθμό Πατησίων είναι ελαφρώς μεγαλύτερα λόγω εντονότερης κυκλοφορίας.



Σχήμα 4.5.1.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης CO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

Στο Σχήμα 4.5.1.2 παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων του CO των σταθμών αστικού υποβάθρου. Διαπιστώνεται ότι και για τους τρεις εξεταζόμενους σταθμούς, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων μειώνονται σταδιακά, παρόλο που υπάρχουν αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο.

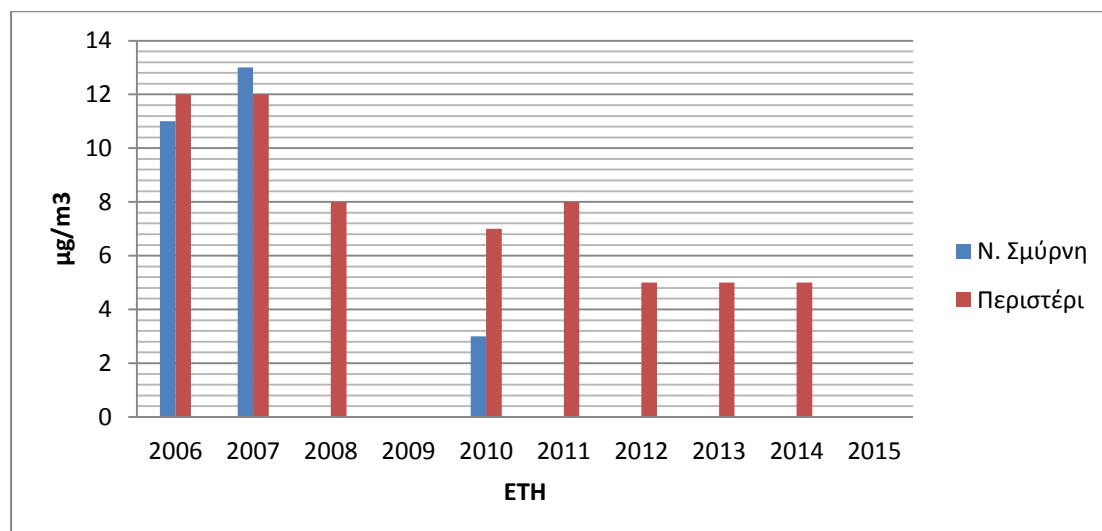
4.5.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.5.2.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu g/m^3$

Στο παραπάνω γράφημα (Σχ. 4.5.2.1) παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ στους σταθμούς κυκλοφορίας. Παρατηρώντας τη διαχρονική εξέλιξη των τιμών του SO₂, αρχικά εμφανίζεται μια απότομη μείωση των συγκεντρώσεων, ενώ στη συνέχεια οι τιμές σταθεροποιούνται. Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων για το σταθμό των Πατησίων αφορούν το έτος 2015 και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει στατιστικά σημαντική σύγκριση. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές

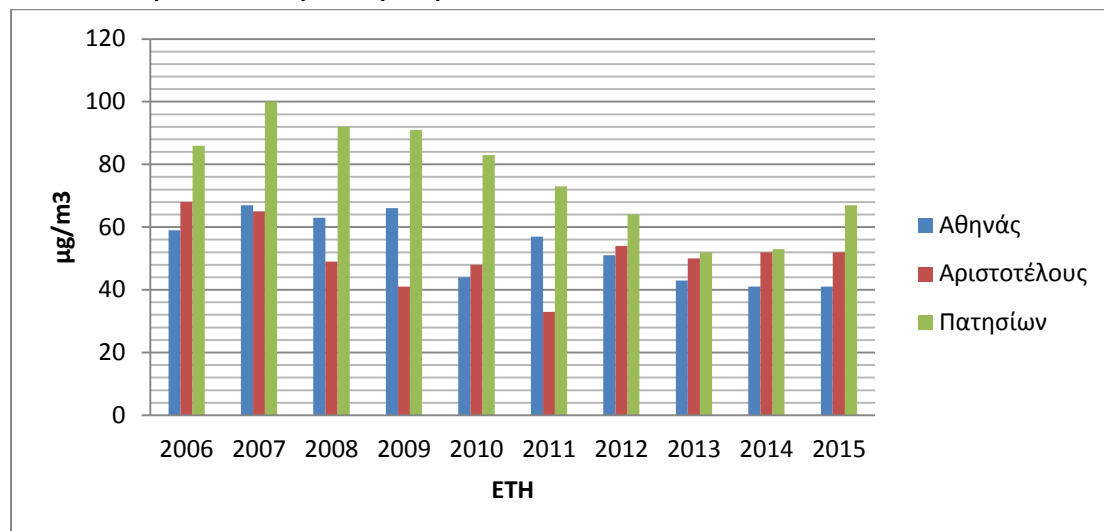
συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς και της Αριστοτέλους αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία. Τα επίπεδα σε αυτούς τους δύο σταθμούς είναι ίδια.



Σχήμα 4.5.2.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

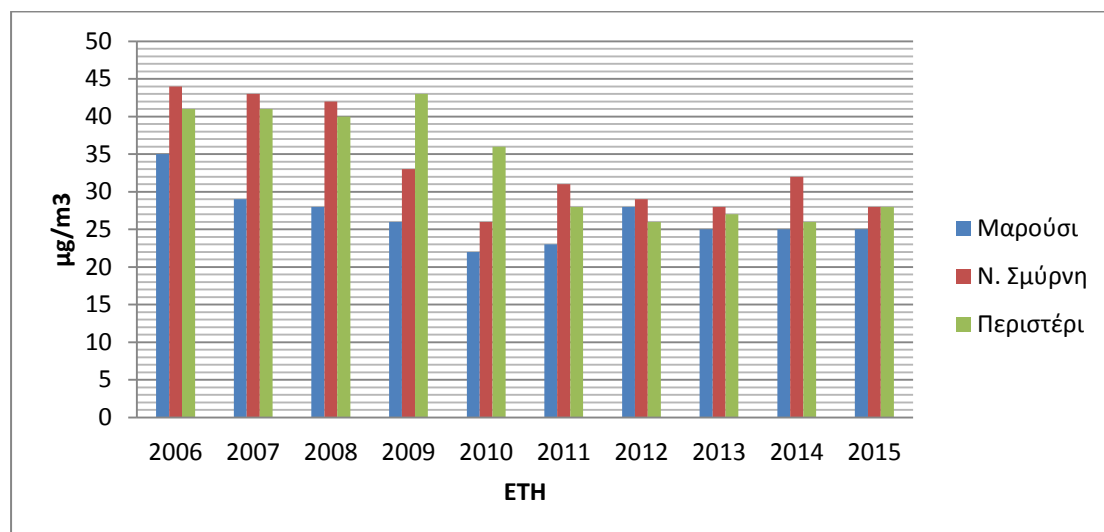
Παρατηρώντας το Σχήμα 4.5.2.2, διαπιστώνεται μια σταδιακή μείωση των ετήσιων συγκεντρώσεων SO₂ των σταθμών κυκλοφορίας. Όπως και με το Σχήμα 4.5.2.2, στη διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης του SO₂ υπάρχει σημαντική τάση μείωσης των τιμών που συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη. Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων για το σταθμό της Ν. Σμύρνης, αφορούν τα έτη 2006, 2007 και 2010 και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει στατιστικά σημαντική σύγκριση.

4.5.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)



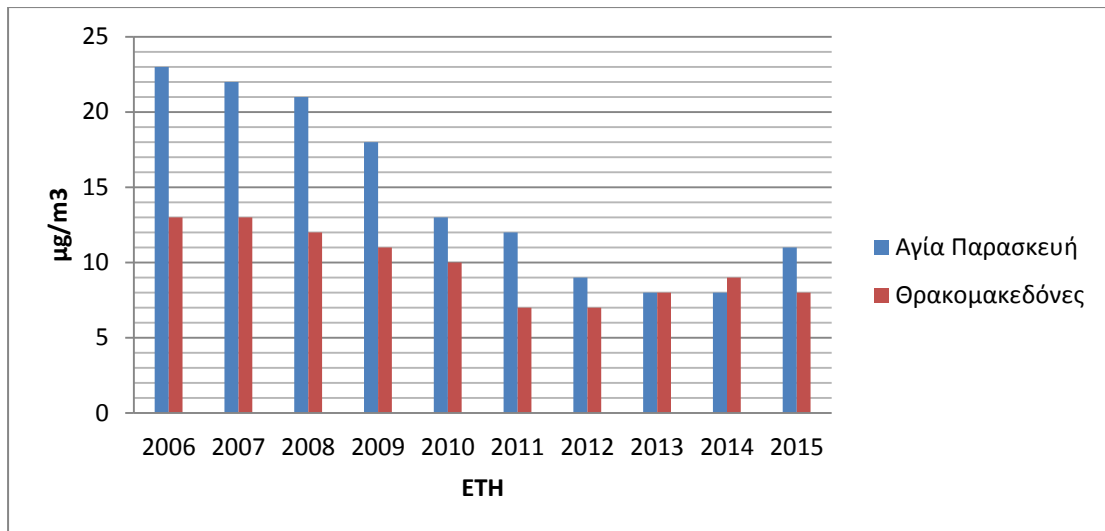
Σχήμα 4.5.3.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο Σχήμα 4.5.3.1 παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων του NO₂ των σταθμών κυκλοφορίας. Μέχρι το 2013 παρατηρείται τάση μείωσης των συγκεντρώσεων σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, ενώ από 2014 μέχρι και το 2015, παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών συγκεντρώσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανοδική πορεία των τιμών του NO εξαιτίας της ολοένα και περισσότερης χρήσης πετρελαιοκίνητων οχημάτων.



Σχήμα 4.5.3.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

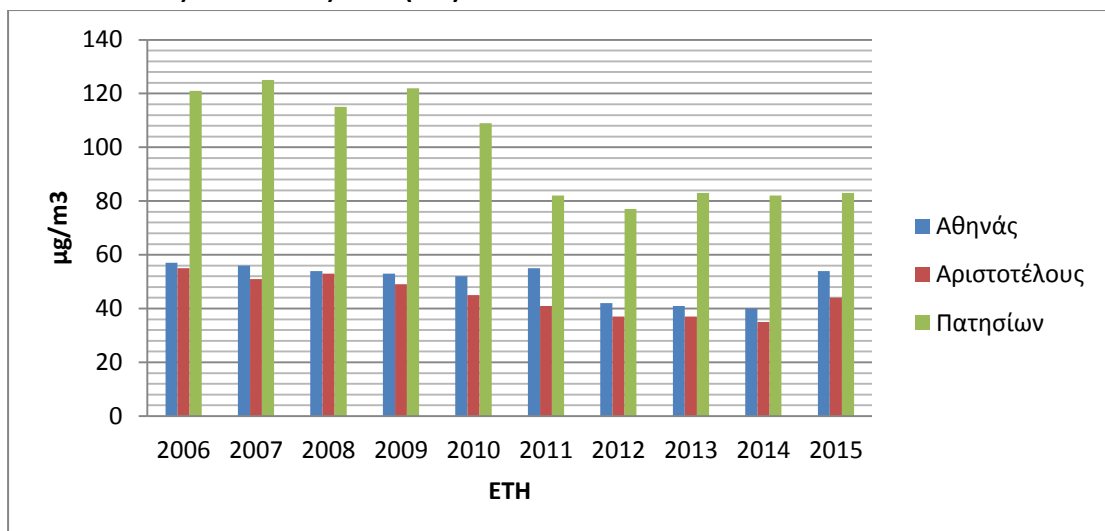
Το Σχήμα 4.5.3.2, παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας, αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων, μέχρι το 2014, παρουσιάζουν πτωτική πορεία, ενώ το 2015 παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις τιμές για την προαναφερθείσα αιτία.



Σχήμα 4.5.3.3. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο παραπάνω γράφημα (Σχ. 4.5.3.3), παρουσιάσετε η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης του NO₂ των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Η διακύμανση στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υπόβαθρου, γεγονός που αποδίδεται στη χρήση αυτοκινήτων με πετρελαιοκινητήρα αλλά και γενικότερα στην αύξηση της κυκλοφορίας. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι χαμηλότερα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες κατηγορίες σταθμών. Αυτό θεωρείται αναμενόμενο λόγω της μειωμένης κίνησης και της πολεοδομικής διάταξης των περιοχών.

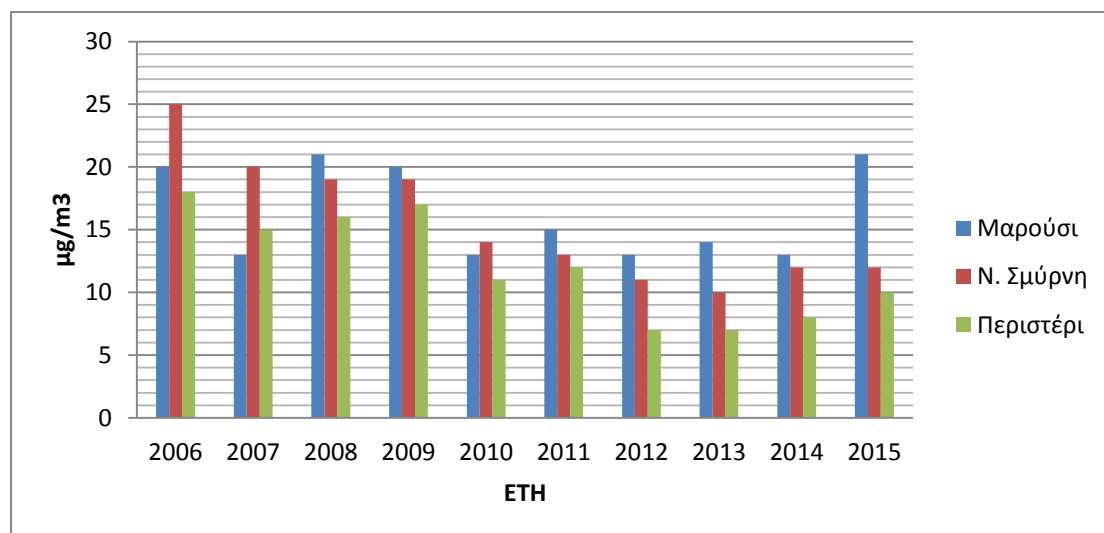
4.5.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



Σχήμα 4.5.4.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

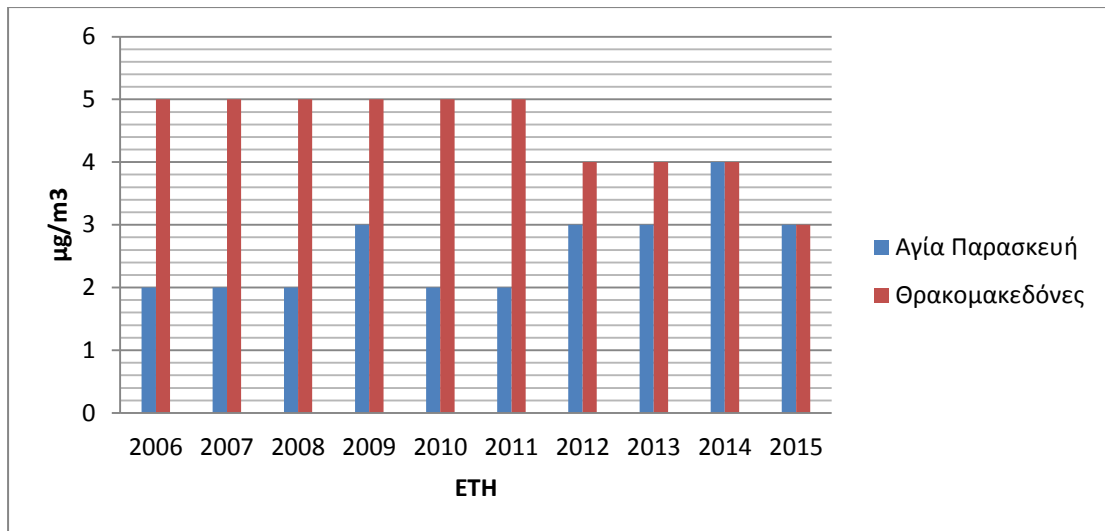
Στο Σχήμα 4.5.4.1 παρατηρείται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO στους σταθμούς κυκλοφορίας. Στο σταθμό Πατησίων τα επίπεδα αρχικά παρουσιάζουν βελτίωση μέχρι και το 2012. Το 2013 παρατηρείται μια μικρή αύξηση και σταθεροποίηση των τιμών

έως και το 2015. Οι σταθμοί Αθηνάς και Αριστοτέλους παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα με το σταθμό Πατησίων. Η διαφορά τους εντοπίζεται στο έτος 2015, όπου αυξάνονται τα επίπεδα συγκεντρώσεων. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στην ολοένα και μεγαλύτερη χρήση οχημάτων με πετρελαιοκινητήρα αλλά και γενικότερα στην αύξηση της κυκλοφορίας. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται υψηλότερες τιμές συγκεντρώσεων σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς και Αριστοτέλους, αφού πρόκειται για ένα σχετικό στενό αυτοκινητόδρομο με αρκετά ψηλά κτίρια και εντονότερη κυκλοφορία.



Σχήμα 4.5.4.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

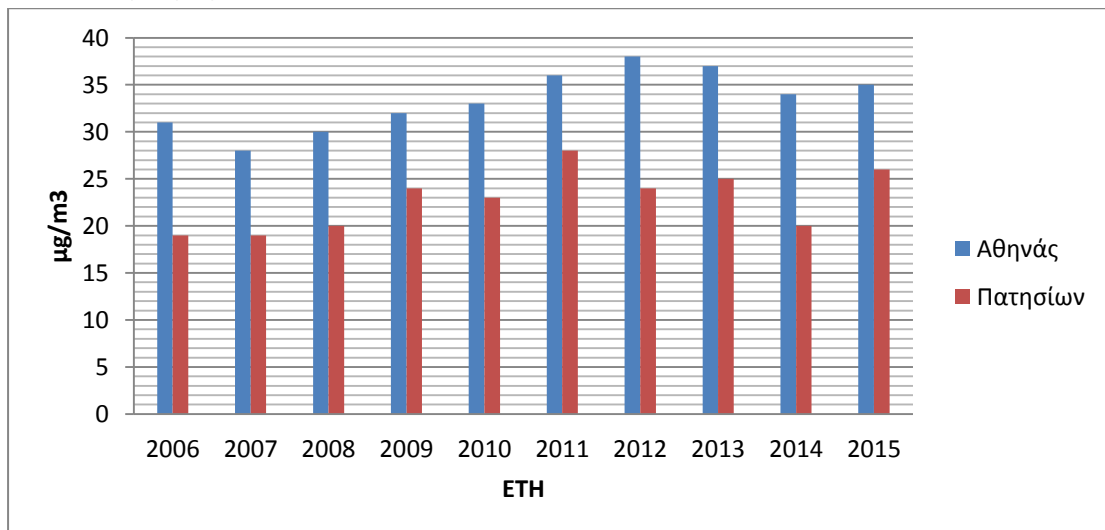
Παρατηρώντας το σχήμα 4.5.4.2, διαπιστώνεται ότι και για τους τρεις εξεταζόμενους σταθμούς, τα επίπεδα των συγκεντρώσεων μειώνονται σταδιακά μέχρι το έτος 2013, παρόλο που υπάρχουν αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο. Από το 2014 και έπειτα, παρουσιάζονται αυξήσεις στα επίπεδα των συγκεντρώσεων, με αποκορύφωση του σταθμού Αμαρουσίου, όπου το 2015 οι τιμές σχεδόν διπλασιάζονται.



Σχήμα 4.5.4.3. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Στο παραπάνω γράφημα (Σχ. 4.5.4.3), παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης του NO των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Αρχικά τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των σταθμών παρουσιάζουν σταθερή πορεία έως και το έτος 2011. Στα επόμενα τρία έτη, ο σταθμός των Θρακομακεδόνων παρουσιάζει σταδιακή μείωση ενώ ο σταθμός της Αγίας Παρασκευής σταδιακή αύξηση. Τέλος, το 2015 και οι δύο σταθμοί εμφανίζουν παρόμοια εικόνα με μια μικρή πτώση των τιμών. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι πολύ χαμηλότερα σε σχέση με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται στην ηπιότερη κυκλοφορία καθώς και στη πολεοδομική διάταξη των περιοχών όπου ευνοείται η διάχυση.

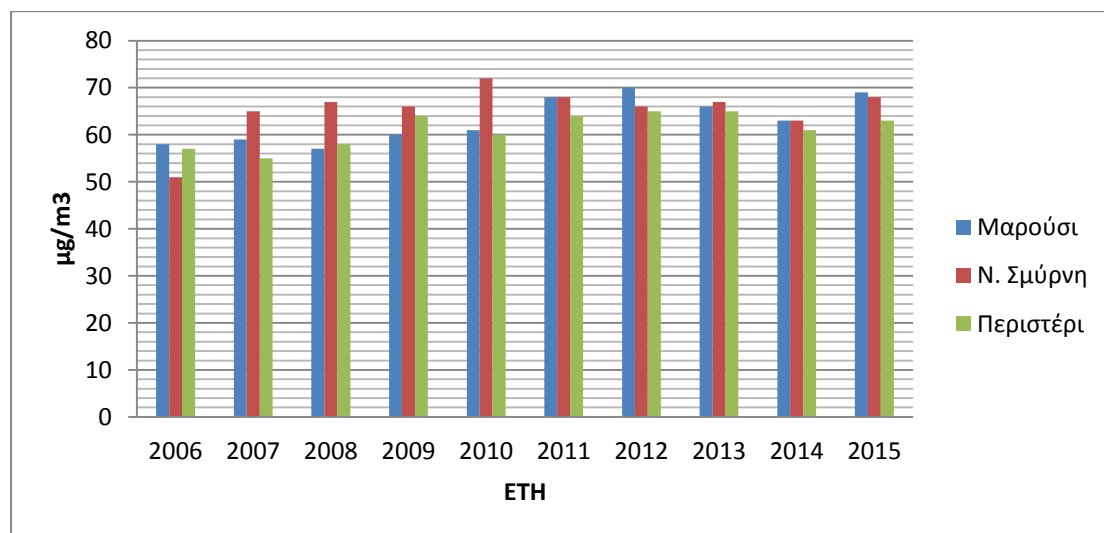
4.5.5 Όζον (O_3)



Σχήμα 4.5.5.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O_3 σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

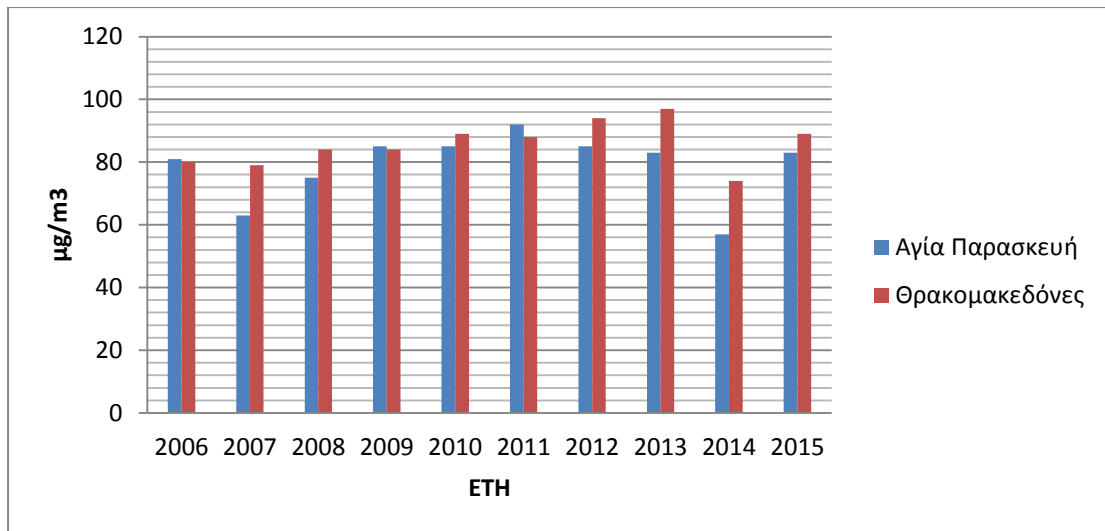
Στο Σχήμα 4.5.5.1 παρατηρείται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O_3 στους σταθμούς κυκλοφορίας. Διαπιστώνεται ότι και για τους δύο εξεταζόμενους σταθμούς, τα επίπεδα των

συγκεντρώσεων αυξάνονται σταδιακά, παρόλο που υπάρχουν αυξομειώσεις των τιμών από χρόνο σε χρόνο. Στο σταθμό Πατησίων καταγράφονται χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης σε σύγκριση με αυτόν της Αθηνάς λόγω υψηλότερων επιπέδων ΝΟ.



Σχήμα 4.5.5.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

Όπως και με το Σχήμα 4.5.5.1, έτσι και το Σχήμα 4.5.5.2 παρουσιάζει την διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών αστικού υποβάθρου. Η διακύμανση των σταθμών αστικού υποβάθρου είναι παρόμοια με των σταθμών κυκλοφορίας αλλά με μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων. Παρατηρείται μια τάση αύξησης των συγκεντρώσεων από έτος σε έτος, με αποκορύφωση το 2015. Η διακύμανση των συγκεντρώσεων φαίνεται να συμπίπτει μηνιαία και για τους τρεις σταθμούς αστικού υποβάθρου (Μαρούσι, Ν. Σμύρνη, Περιστερί) αλλά και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι παρόμοια, γεγονός που δείχνει ότι οι τρεις σταθμοί έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

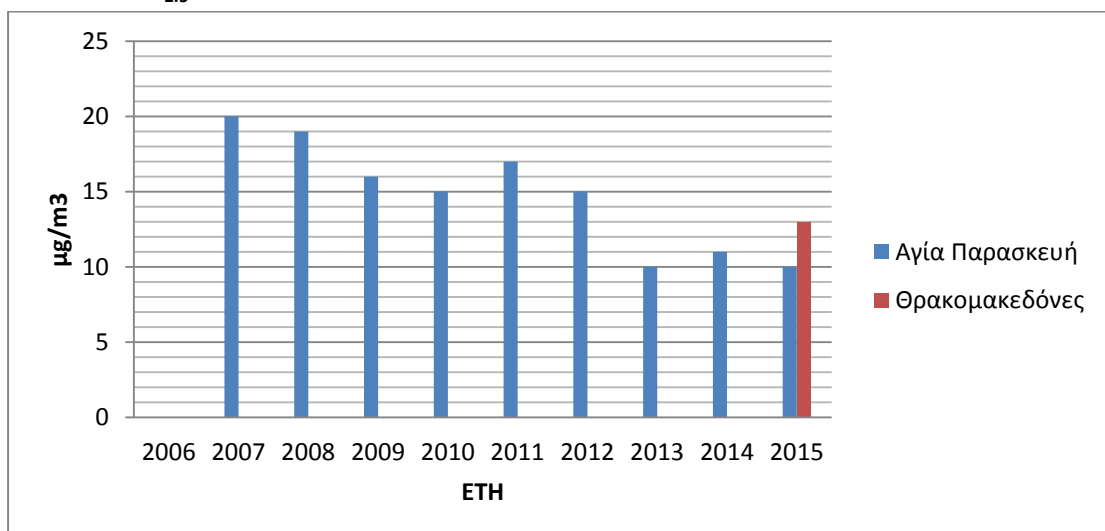


Σχήμα 4.5.5.3. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O₃ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.5.5.3, διαπιστώνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων για τους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, είναι παρόμοια με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Ο μετρούμενος ατμοσφαιρικός ρύπος εμφανίζει την ίδια αυξητική διάθεση με τους υπόλοιπους σταθμούς με μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων. Σε αυτή την κατηγορία σταθμών παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αφού το όζον χαρακτηρίζεται ως περιφερειακός ρύπος.

4.5.6 Αιωρούμενα σωματίδια

4.5.6.1 PM_{2.5}

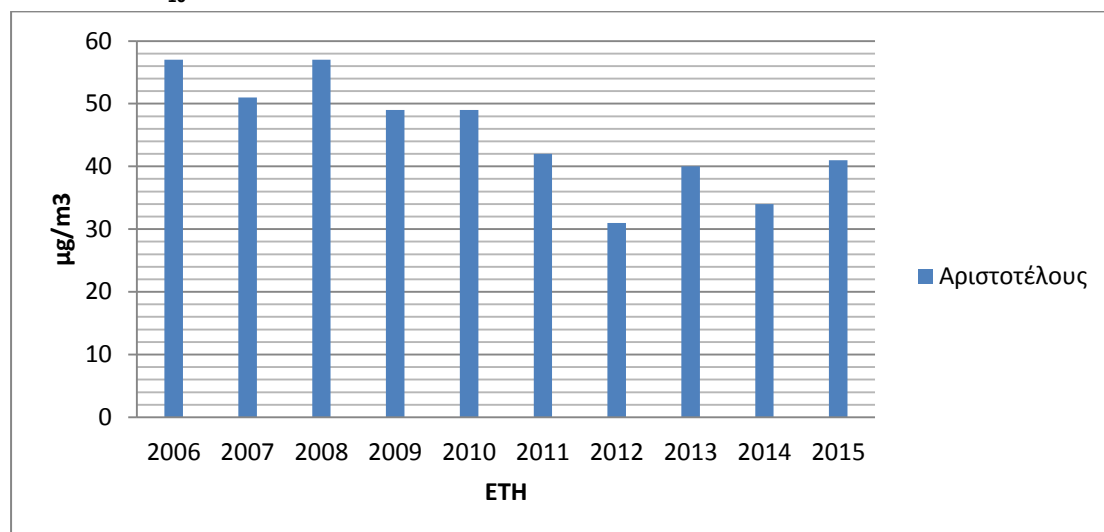


Σχήμα 4.5.6.1.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5} σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο σχήμα 4.5.6.1.1. παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5} των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Παρατηρείται γενικά μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης από το ρύπο αυτό ή και σταθεροποίηση. Αυτό οφείλεται στη μείωση των ρυπογόνων

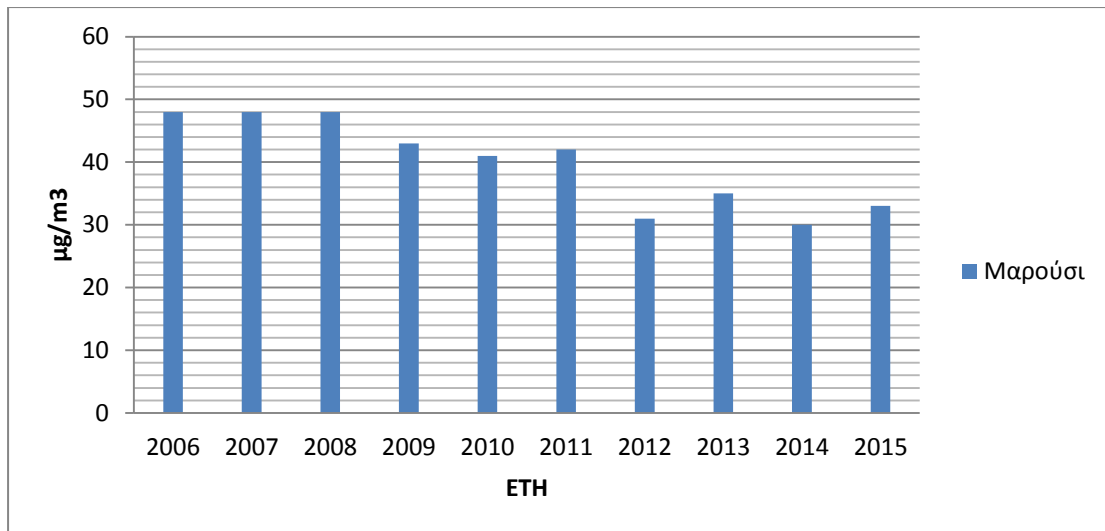
δραστηριοτήτων και στο αποτελεσματικότερο έλεγχο κινητήρων (ΚΕΚ, ΚΤΕΟ). Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων για το σταθμό των Θρακομακεδόνων αφορούν το έτος 2015 και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει στατιστικά σημαντική σύγκριση.

4.5.6.2 PM₁₀



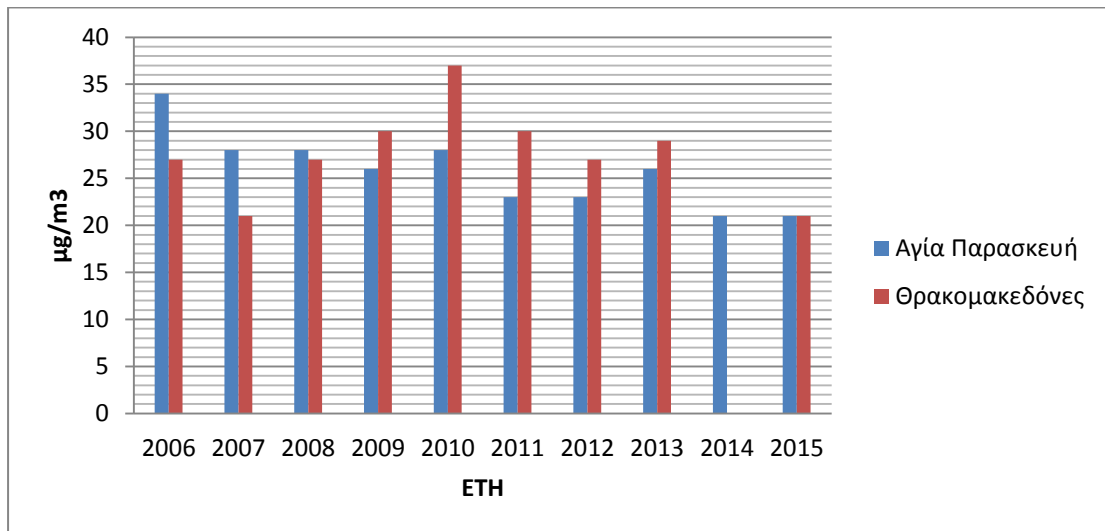
Σχήμα 4.5.6.2.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών κυκλοφορίας για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 4.5.6.2.1) παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών κυκλοφορίας. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν οι μετρήσεις των υπόλοιπων σταθμών κυκλοφορίας (Αθηνάς και Πατησίων), εξετάζονται μόνο οι μετρήσεις του σταθμού Αριστοτέλους. Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα, από το έτος 2006 έως και το 2012 εμφανίζεται μια πτώση στις συγκεντρώσεις. Τα επόμενα έτη, (2013 έως 2015) ο ατμοσφαιρικός ρύπος εμφανίζει μια μικρή αύξηση και συνάμα σταθεροποίηση των τιμών του.



Σχήμα 4.5.6.2.2. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών αστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.3.6.2.2, η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών αστικού υποβάθρου παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση με τους σταθμούς κυκλοφορίας. Οι τιμές του ατμοσφαιρικού ρύπου PM₁₀ παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια πορεία με τις συγκεντρώσεις των σταθμών κυκλοφορίας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους σταθμούς αστικού υποβάθρου, αφορούν το σταθμό Αμαρουσίου καθώς δεν υπάρχουν μετρήσεις για τους σταθμούς Περιστερίου και Νέας Σμύρνης.



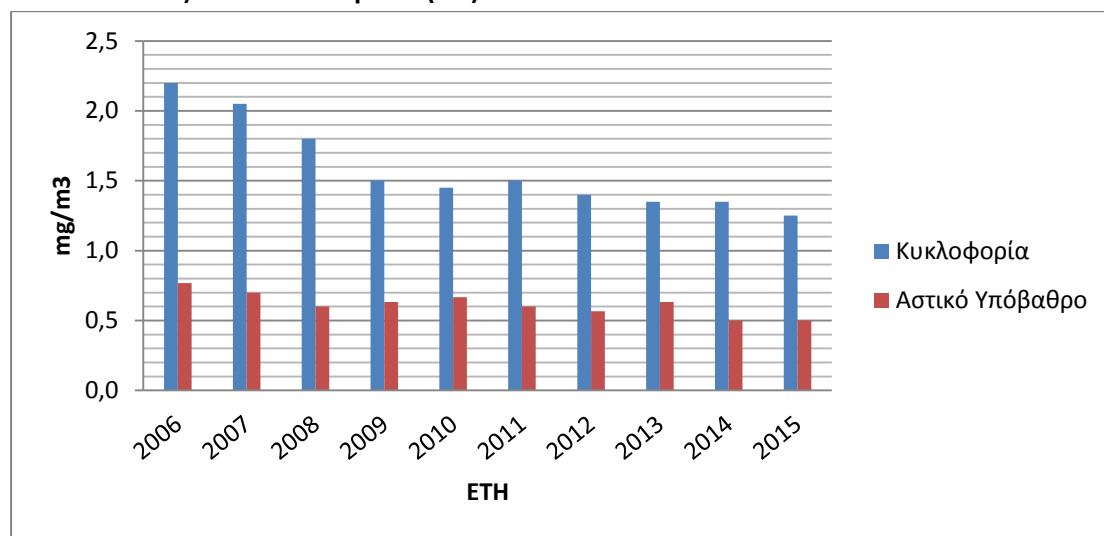
Σχήμα 4.5.6.2.3. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ σταθμών περιαστικού υποβάθρου για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο Σχήμα 4.5.6.2.3 παρουσιάζεται η διαχρονικά μεταβολή της συγκέντρωσης PM₁₀ των σταθμών περιαστικού υποβάθρου. Από το παραπάνω γράφημα, δεν παρουσιάζεται σαφής διαχρονική μεταβολή επειδή τα αιωρούμενα σωματίδια είναι κυρίως φυσικής προέλευσης λόγω της θέσης των σταθμών δηλαδή οφείλονται στη συνεισφορά από την μεταφορά σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) και στην επαναιώρηση από το έδαφος. Η διακύμανση των σταθμών περιαστικού υποβάθρου διαφέρει από τη διακύμανση

των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στη θέση των σταθμών που επηρεάζονται από διαφορετικές πηγές.

4.6 Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης σταθμών ανά κατηγορία σταθμών

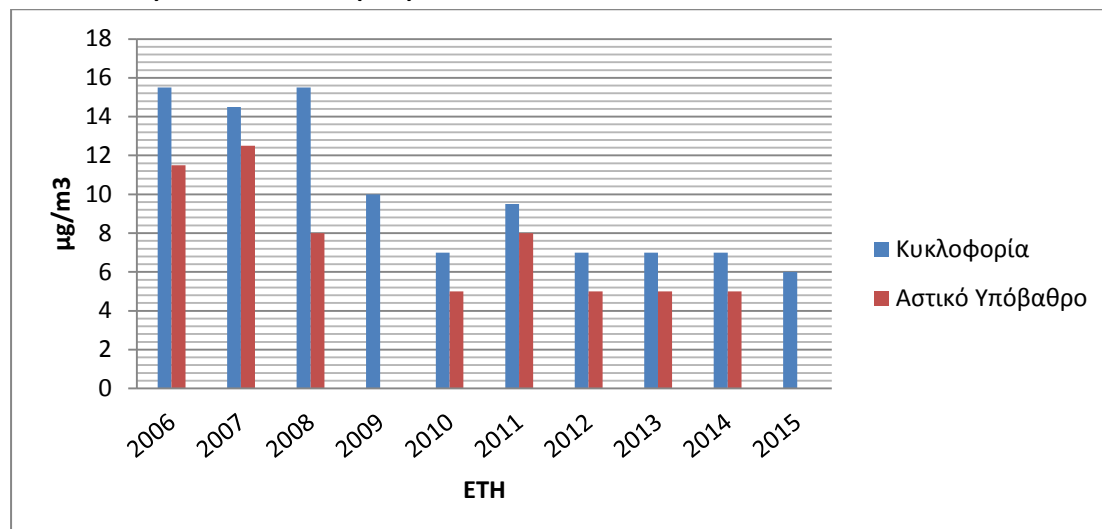
4.6.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)



Σχήμα 4.6.1.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης CO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε mg/m^3

Η μέση διαχρονική διακύμανση στους σταθμούς κυκλοφορίας (Σχ. 4.6.1.1) παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των σταθμών αστικού υποβάθρου, αν και τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι μικρότερα λόγω ηπιότερης κυκλοφορίας. Το μονοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει γενικά τάση μείωσης των τιμών. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές και σε πολλά περισσότερα.

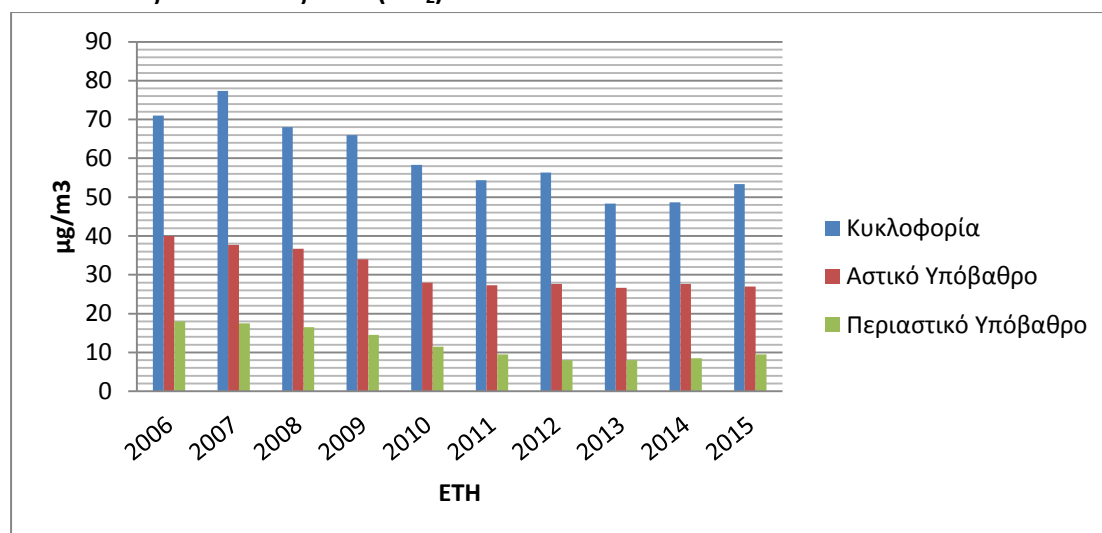
4.6.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)



Σχήμα 4.6.2.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

Στο Σχήμα 4.6.2.1 παρουσιάζεται η μέση διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Η διακύμανση και τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των δύο σταθμών, παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα αν και τα χαρακτηριστικά των σταθμών διαφέρουν. Επίσης, παρατηρείται σημαντική μείωση των τιμών που συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη. Τα αποτελέσματα λόγω των πολύ χαμηλών τιμών δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικά.

4.6.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

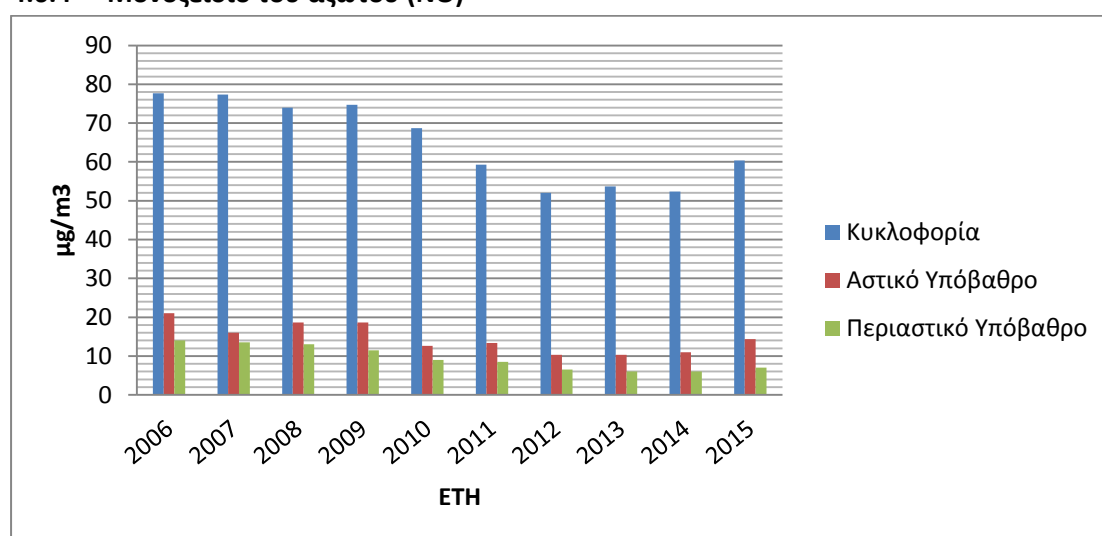


Σχήμα 4.6.3.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε μg/m³

Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η μέση διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών κυκλοφορίας, αστικού και περιστικού υποβάθρου. Αναλύοντας το παραπάνω γράφημα και για τις τρεις κατηγορίες σταθμών, παρατηρείται μια μείωση των

τιμών από το έτος 2007 έως και το έτος 2013 και στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή άνοδος. Αυτό οφείλεται από την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων για θέρμανση και μετακίνηση. Στη συνέχεια παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών εξαιτίας του νέου στόλου αυτοκινήτων με κινητήρα πετρελαίου. Οι διακυμάνσεις των σταθμών παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα αφού τα επίπεδα των συγκεντρώσεων και για τις τρεις κατηγορίες σταθμών, εμφανίζουν μικρή τάση μείωσης ή και σταθεροποίησης. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των σταθμών κυκλοφορίας είναι πολύ υψηλότερα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σταθμούς, δεδομένου ότι η κυκλοφορία είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε στενούς, με ψηλά κτίρια, αυτοκινητόδρομους με χαμηλή αέρια διάχυση.

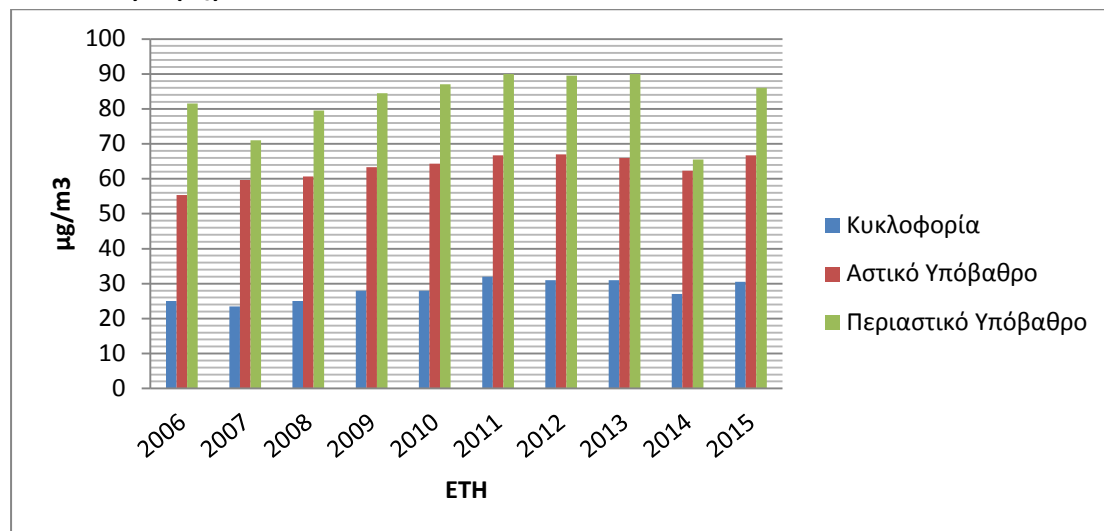
4.6.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)



Σχήμα 4.6.4.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6.4.1, η διακύμανση της μέσης διαχρονικής μεταβολής συγκέντρωσης του NO είναι παρόμοια και για τις τρεις κατηγορίες σταθμών. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του NO παρουσιάζουν πτωτική πορεία τα έτη 2006 έως 2012. Στα επόμενα έτη, οι τιμές εμφανίζουν μια μικρή άνοδο με αποκορύφωση το έτος 2015. Αυτό οφείλεται από την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων για θέρμανση και μετακίνηση. Στη συνέχεια, παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών εξαιτίας του νέου στόλου αυτοκινήτων με κινητήρα πετρελαίου. Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού ρύπου NO στους σταθμούς κυκλοφορίας, είναι πολύ υψηλότερα (πολλαπλάσια) από τις τιμές των σταθμών αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σταθμοί κυκλοφορίας αποτελούνται από στενούς δρόμους με πυκνή δόμηση και ψηλά κτίρια που έχουν σαν συνέπεια τις πολύ υψηλότερες εκπομπές. Εκτός από τους σταθμούς κυκλοφορίας, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να θεωρηθούν στατιστικά σημαντικά λόγω ιδιαίτερα χαμηλών τιμών.

4.6.5 Όζον (O₃)

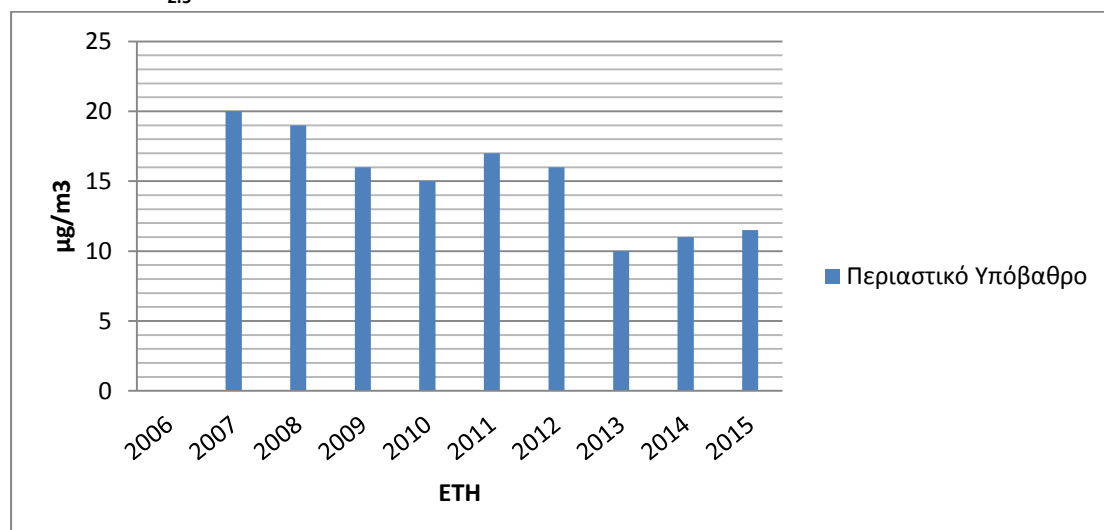


Σχήμα 4.6.5.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης O₃ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Παρατηρώντας το Σχήμα 4.6.5.1, διαπιστώνεται ότι η διακύμανση των συγκεντρώσεων για τους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, είναι σχεδόν παρόμοια με τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Ο μετρούμενος ρύπος εμφανίζει μια ανοδική τάση και στη συνέχεια σταθεροποίηση, κυρίως τα έτη 2011 έως 2015. Στην κατηγορία σταθμών του περιαστικού υποβάθρου παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αφού το όζον χαρακτηρίζεται ως περιφερειακός ρύπος.

4.6.6 Αιωρούμενα σωματίδια

4.6.6.1 PM_{2.5}

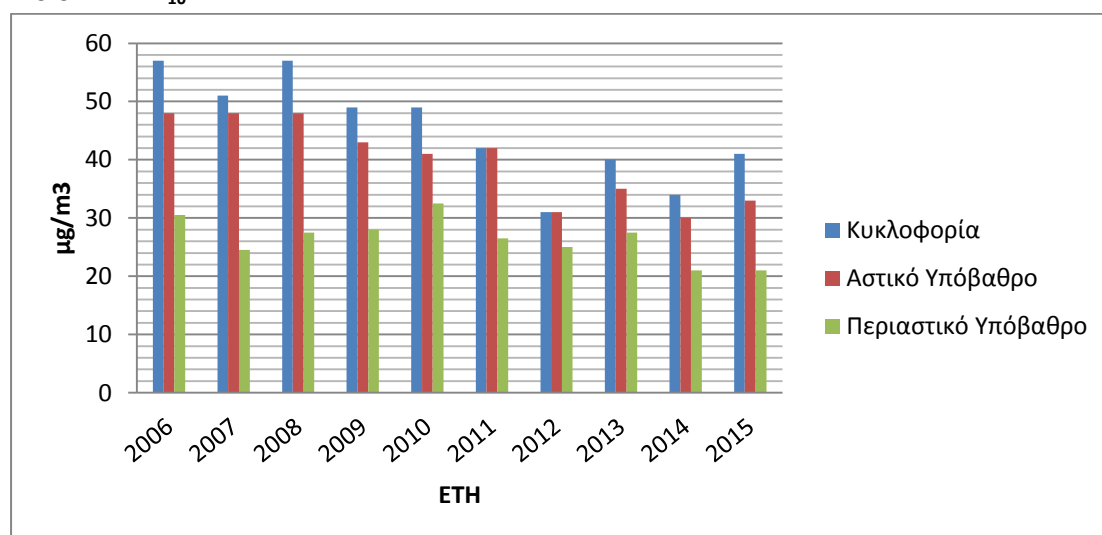


Σχήμα 4.6.6.1.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5} κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο σχήμα 4.6.6.1.1. παρουσιάζεται η μέση διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM_{2.5}. Παρατηρείται γενικά μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης από το ρύπο αυτό ή και

σταθεροποίηση. Αυτό οφείλεται στη μείωση των ρυπογόνων δραστηριοτήτων και στο αποτελεσματικότερο έλεγχο κινητήρων (ΚΕΚ, ΚΤΕΟ). Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων αφορούν αποκλειστικά τους σταθμούς του περιαστικού υποβάθρου δεδομένου ότι δεν υπάρχουν καταγραφές του ρύπου για τις άλλες δύο κατηγορίες σταθμών που μελετώνται. Συνεπώς δεν μπορεί να γίνει σύγκριση.

4.6.6.2 PM₁₀



Σχήμα 4.6.6.2.1. Διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης PM₁₀ κατηγορίας σταθμών για τα έτη 2006 – 2015, σε µg/m³

Στο Σχήμα 4.6.6.2.1 παρουσιάζεται η μέση διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης PM₁₀ των σταθμών κυκλοφορίας, αστικού και περιαστικού υποβάθρου. Αναλύοντας το παραπάνω γράφημα, για τους σταθμούς κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου, παρατηρείται μια μείωση των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ από το έτος 2006 έως και το έτος 2012 και στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή άνοδος και σταθεροποίηση στα υπόλοιπα έτη. Αντίθετα, στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, υπάρχουν αυξομειώσεις των μέσων ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο. Η διακύμανση των σταθμών περιαστικού υποβάθρου διαφέρει από τη διακύμανση των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού υποβάθρου. Αυτό οφείλεται κυρίως στη θέση των σταθμών (περιαστικό υπόβαθρο), τους πλατύτερους δρόμους τον χαμηλότερο πληθυσμό και στην αραιή δόμηση (χαμηλές εκπομπές).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

- Η ωριαία διακύμανση του CO παρουσιάζει καθημερινά δύο μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις. Η πρώτη εμφανίζεται 8 με 11 το πρωί και η δεύτερη 9 με 11 το βράδυ. Κύριες αιτίες είναι οι θερμοκρασιακές αναστροφές τις πρωινές ώρες και η έντονη χρήση κεντρικής θέρμανσης και οχημάτων. Οι σταθμοί κυκλοφορίας εμφανίζουν μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων CO από τους υπόλοιπους σταθμούς.
- Το μηνιαίο μέγιστο των συγκεντρώσεων παρουσιάζεται το μήνα Δεκέμβριο ενώ τον μήνα Αύγουστο εμφανίζεται το μέσο μηνιαίο ελάχιστο. Επειδή ο CO είναι πρωτογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, εμφανίζει μεγαλύτερα επίπεδα συγκεντρώσεων τους χειμερινούς μήνες.
- Η διαχρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων του CO για τους εξεταζόμενους σταθμούς παρουσιάζει μια τάση μείωσης των τιμών. Η εξέλιξη αυτή μπορεί να αποδοθεί κυρίως στην τεχνολογική αναβάθμιση των Ι.Χ. αυτοκινήτων και των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, στη χρήση καυσίμων με καλύτερες τεχνικές προδιαγραφές και σε πολλά περισσότερα.

5.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

- Η ωριαία μεταβολή συγκέντρωσης του SO₂, εμφανίζει πρωτεύον μέγιστο τις πρωινές ώρες (8-11) και το δευτερεύον μέγιστο τις βραδινές ώρες (9-10). Κύριες αιτίες είναι οι θερμοκρασιακές αναστροφές τις πρωινές ώρες και η έντονη χρήση κεντρικής θέρμανσης και οχημάτων.
- Η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης του SO₂ παρουσιάζει μέσο μηνιαίο μέγιστο τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο) ενώ για τους υπόλοιπους μήνες, τα επίπεδα είναι παρόμοια με εξαίρεση τους μήνες Μάρτιο και Μάιο, όπου οι συγκεντρώσεις είναι ελαφρώς ανοδικές. Ως πρωτογενής ρύπος το SO₂ παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων το χειμώνα και αυτό οφείλεται κυρίως στη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης.
- Η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης SO₂ παρουσιάζει σημαντική μείωση των τιμών που συνδέεται με τις μειώσεις της περιεκτικότητας του θείου τόσο στο πετρέλαιο κίνησης και θέρμανσης όσο και στην αμόλυβδη βενζίνη.

5.3 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

- Η μέση ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών, έχει μέγιστη ωριαία διακύμανση το πρωί (8-9) και μέγιστη το βράδυ (9-11). Τα δυο μέγιστα συμπίπτουν περίπου χρονικά με τις ώρες λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και τις αιχμές κυκλοφορίας. Το πρωινό μέγιστο καθυστερεί λίγο χρονικά με την αιχμή της κυκλοφορίας λόγω της διαδικασίας του φωτοχημικού μετασχηματισμού.
- Η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών κυκλοφορίας παρουσιάζει ανόμοια εικόνα σε σχέση με τους σταθμούς αστικού και περιαστικού υποβάθρου.

Οι σταθμοί κυκλοφορίας έχουν υψηλότερη τιμή τους μήνες Μάρτιο έως Ιούνιο ενώ για τους υπόλοιπους σταθμούς, το μηνιαίο μέγιστο εμφανίζεται τους μήνες Νοέμβριο με Δεκέμβριο. Ελάχιστη συγκέντρωση το μήνα Αύγουστο λόγω χαμηλών εκπομπών. Οι σταθμοί υποβάθρου επηρεάζονται περισσότερο από την κεντρική θέρμανση.

- Η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης NO₂ των σταθμών εμφανίζει μια μείωση των τιμών από το έτος 2007 έως και το έτος 2013 και στη συνέχεια εμφανίζει μια μικρή άνοδος. Αυτό οφείλεται από την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων για θέρμανση και μετακίνηση. Στη συνέχεια παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών εξαιτίας του νέου στόλου αυτοκινήτων με κινητήρα πετρελαίου.

5.4 Μονοξείδιο του αζώτου (NO)

- Η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης NO των σταθμών έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο το πρωί (7-9) και ένα δευτερεύον μέγιστο το βράδυ (10-11). Κύριες αιτίες είναι οι θερμοκρασιακές αναστροφές τις πρωινές ώρες και η έντονη χρήση κεντρικής θέρμανσης και οχημάτων.
- Η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης του NO παρουσιάζει μηνιαίο μέγιστο τους χειμερινούς μήνες, με αποκορύφωση τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ το μηνιαίο ελάχιστο τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα τον Αύγουστο. Αυτό οφείλεται στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας των μηχανών των αυτοκινήτων (ξεκίνημα με κρύα μηχανή), στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που παρατηρείται τους χειμερινούς μήνες και στη χρήση κεντρικής θέρμανσης.
- Η διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του NO παρουσιάζει πτωτική πορεία τα έτη 2006 έως 2012. Στα επόμενα έτη, οι τιμές εμφανίζουν μια μικρή άνοδο με αποκορύφωση το έτος 2015. Αυτό οφείλεται από την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων για θέρμανση και μετακίνηση. Στη συνέχεια, παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών ενδεχομένως εξαιτίας του νέου στόλου αυτοκινήτων με κινητήρα πετρελαίου αλλά και στη χρήση βιομάζας για θέρμανση.

5.5 Όζον (O₃)

- Η ωριαία μεταβολή της συγκέντρωσης O₃ έχει μεγάλη ωριαία διακύμανση με ένα μεγάλο μέγιστο τις μεταμεσημβρινές ώρες (2-5). Δεδομένου ότι αυτός ο ρύπος σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες, το ημερήσιο μέγιστο εμφανίζεται όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία παρουσιάζουν το μέγιστο. Τα επίπεδα συγκεντρώσεων είναι χαμηλά για τους σταθμούς κυκλοφορίας και υψηλά για τους σταθμούς περιβαλλοντικού υποβάθρου εμφανίζοντας αρνητική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις NO το οποίο καταστρέφει το όζον. Επιπλέον, η θαλάσσια αύρα παίζει ρόλο κλειδί σαρώνοντας τους υδρογονάνθρακες προς την περιφέρεια βόρεια του λεκανοπεδίου εκεί όπου το όζον θα σχηματιστεί φωτοχημικά τις μεταμεσημβρινές ώρες.

- Η μηνιαία μεταβολή συγκέντρωσης του O_3 εμφανίζει μηνιαίο μέγιστο τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο, ενώ το μηνιαίο ελάχιστο προκύπτει τους μήνες Σεπτέμβριο έως Μάρτιο. Οι αυξημένες τιμές της συγκέντρωσης του όζοντος τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλονται στην αυξημένη ηλιοφάνεια σε διάρκεια και ένταση των μηνών αυτών, δεδομένου ότι ο ρύπος αυτός σχηματίζεται από φωτοχημικές διεργασίες στις οποίες καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία
- Η διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του όζον εμφανίζει μια ανοδική τάση και στη συνέχεια σταθεροποίηση, κυρίως τα έτη 2011 έως 2015.

5.6 Αιωρούμενα σωματίδια ($PM_{2.5}$, PM_{10})

5.6.1 $PM_{2.5}$

- Η διαχρονική μεταβολή συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ εμφανίζει γενικά μια μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης ή και σταθεροποίηση. Αυτό οφείλεται στη μείωση των ρυπογόνων δραστηριοτήτων και στο αποτελεσματικότερο έλεγχο κινητήρων (ΚΕΚ, ΚΤΕΟ). Τονίζεται ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων αφορούν αποκλειστικά τους σταθμούς του περιαστικού υποβάθρου δεδομένου ότι δεν υπάρχουν καταγραφές του ρύπου για τις άλλες δύο κατηγορίες σταθμών που μελετώνται. Συνεπώς δεν μπορεί να γίνει στατιστικά σημαντική σύγκριση.

5.6.2 PM_{10}

- Η μηνιαία μεταβολή της συγκέντρωσης PM_{10} των σταθμών παρουσιάζει μια άνοδος των τιμών κυρίως τους χειμερινούς μήνες και στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή πτώση στις τιμές κυρίως τους θερινούς μήνες. Στην αρχή της άνοιξης και στο τέλος του καλοκαιριού συνήθως υπάρχουν αυξητικές μεταβολές στις συγκεντρώσεις και οφείλεται στην συνεισφορά από την μεταφορά σκόνης από απομακρυσμένες ξηρές περιοχές (π.χ. Σαχάρα) και στην επαναιώρηση από το έδαφος λόγω ισχυρών ανέμων (Ετησίες) ενώ για το μήνα Νοέμβριο τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι υψηλά εξαιτίας της χρήσης βιομάζας ως θερμαντικού μέσου.
- Η διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης PM_{10} των σταθμών κυκλοφορίας και αστικού και περιαστικού υποβάθρου παρουσιάζουν μια μείωση από το έτος 2006 έως και το έτος 2012 και στη συνέχεια εμφανίζεται μια μικρή άνοδος και σταθεροποίηση στα υπόλοιπα έτη. Στους σταθμούς περιαστικού υποβάθρου, υπάρχουν αυξομειώσεις των ετήσιων τιμών ρύπανσης από χρόνο σε χρόνο.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία

- Αμπελιώτης Κ., 2008, «Περιβάλλον - Οικολογία», εκπαιδευτικό υλικό στα πλαίσια του έργου «Κέντρα Εκπαίδευσης Ενηλίκων IV», ενταγμένο στο Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. II του ΥΠ.Ε.Π.Θ (Γ.Γ.Δ.Β.Μ), Μέτρο 1.1. Ενέργεια 1.1.2.Β. με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Κ.Τ.).
- Βάλης Κ., 2016, «Διερεύνηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της χώρας», Διπλωματική εργασία, Διαίδρυματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, Εφαρμοσμένες πολιτικές & τεχνικές προστασίας περιβάλλοντος.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
- Υ.Ε.Π. & .Θ., Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υποέργο ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2, Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, «Ατμοσφαιρική Ρύπανση», [Οδηγός εκπαιδευτικών]
- Ετήσια έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης 2015 «ΥΠΑΠΕΝ Γεν. Δ/νση Περιβαλλοντικής Πολιτικής Δ/νση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας Τμήμα Ποιότητας της Ατμόσφαιρας».
- Ζάνης Π., 2008, «Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας», Βοηθητικές Σημειώσεις Μαθήματος, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ζάνης Π., 2014, «Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας», Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ζιώμας Ι., 2007, «Περιβαλλοντική Επιστήμη, Ατμόσφαιρα-Ατμοσφαιρική Ρύπανση», καθηγητής Ε.Μ.Π..
- Κουϊμτζής Θ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Φυτιάνος Κ., 1998, «Χημεία Περιβάλλοντος», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Μελάς Δ., Αλεξανδροπούλου Α., Αμοιρίδης Β., Κακαρίδου Μ., Σουλακέλλης Ν., Ατμοσφαιρική Ρύπανση, ΥΠΕΠΘ – Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΕΠΕΑΕΚ Ι, Αθήνα 2000.
- Μελάς Δ., 2007, «Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος», Βοηθητικές Σημειώσεις Μαθήματος, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2007.
- Μελάς Δ., Αλεξανδροπούλου Α., Αμοιρίδης Β., Κακαρίδου Μ., Σουλακέλλης Ν., 2000, «Ατμοσφαιρική Ρύπανση», εκπαιδευτικό υλικό στα πλαίσια του έργου «Περιβαλλοντική Εκπαίδευση», ενταγμένο στο ΕΠΕΑΕΚ Υποέργο 1.1.ΣΤ.1.Γ2 του ΥΠ.Ε.Π.Θ, με συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Ε.Κ.Τ.) και Ανάδοχο Φορέα το Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Μπεργελές Γ., 2006, «Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης», Πανεπιστημιακή έκδοση, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
- Ρεμουντάκη Ε., 2010, «Οδηγός για το Περιβάλλον: Αέρας και Ατμοσφαιρική Ρύπανση», WWF Hellas.
- Τσέζος Μ., Ρεμουντάκη Ε., 2010, «Περιβάλλον Ι - Εισαγωγή στην Επιστήμη & Τεχνολογία Προστασίας του Περιβάλλοντος», Βοηθητικές Σημειώσεις Μαθήματος,

Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

- Χαϊνά Ευαγγελία , 2014, «Η σωματιδιακή ατμοσφαιρική ρύπανση σε Ελληνικά αστικά κέντρα. η επίδραση της οικονομικής κρίσης στα επίπεδα της σωματιδιακής ατμοσφαιρικής ρύπανσης», Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών“ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ» του Ελληνικού ανοιχτού πανεπιστημίου

6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Adamopoulos A.D., Kambezidis H.D., Sipsas A.B. [1996], “Meteorological factors that influence O3 concentration in the Athens basin”, Fresenius Environmental Bulletin 5, 37-42.
- Adamopoulos A.D., Kambezidis H.D., Kaskaoutis D.G., Giavis G. A study of aerosol particle sizes in the atmosphere of Athens, Greece, retrieved from solar spectral measurements. Atmospheric Research 86 (2007) 194–206.
- Ahrens D., 2009, “Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment”, Ninth Edition, Brooks/Cole, Cengage Learning, CA USA.
- Desonie D., 2007, «OUR FRAGILE PLANET - Atmosphere: Air Pollution and its Effects», Chelsea House Publishing, New York, USA.
- Kaskaoutis D.G., Kambezidis H.D., Adamopoulos A.D., Kassomenos P.A., On the characterization of aerosols using the Ångström exponent in the Athens area. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 68 (2006) 2147–2163.
- European Environmental Agency (EEA), 2010, «The European Environment state and outlook». (Goudie and Middleton, 2006).
- Haryanto B., 2012, «Air Pollution – A Comprehensive Perspective», Published by InTech, Rijeka, Croatia
- Mc Granahan G. and Murray F., 2003, «Air Pollution and Health in Rapidly Developing Countries», Earthscan Publications Ltd, London • Sterling, VA
- Kalabokas P.D, Adamopoulos A.D, and Viras L.G. Seasonal variation characteristics of PM10 particles, nitrogen oxides and ozone in the mediterranean urban areas of Athens and Thessaloniki. PSP Volume 21 – No 11. [2012] Fresenius Environmental Bulletin.
- Kalabokas P.D., Adamopoulos A.D., Viras L.G., Atmospheric PM10 particle concentration measurements at central and peripheral urban sites in Athens and Thessaloniki, Greece
- Global NEST Journal, Vol 12, No 1, pp 71-83, 2010.
- Seinfeld J., Pandis S., 2006, «ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS: From Air Pollution to Climate Change», Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

6.3 Πηγές διαδικτύου

- <http://www.ypeka.gr>
- <http://www.epa.gov/>
- <http://www.geo.auth.gr>
- <http://www.meteoclub.gr>
- <http://www.noa.gr>
- <http://www.ipcc.ch>
- <http://www.greenpeace.org>
- http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/web_pollution.doc
- <http://uk-air.defra.gov.uk/>
- <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13522310>
- <http://www.eea.europa.eu/>
- <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=el>
- <http://geodata.gov.gr/geodata/>
- <https://repository.kallipos.gr/>

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος

ΙΩΑΝΝΗΣ-ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΡΗΤΙΚΟΣ

, του

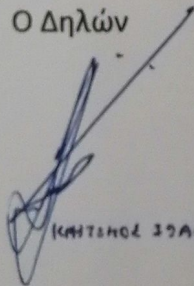
ΑΝΤΩΝΙΟΥ φοιτητής του ΠΜΣ **ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ & ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ** του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Διπλωματική Εργασία (Δ.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



ΚΡΗΤΙΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Ημερομηνία

9/7/2019