



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΠΡΙΝ ΚΑΙ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ»**

Ζούλα Αικατερίνη

A.M. 10047

Επιβλέπωντας καθηγητής: Κωνσταντίνος Ντελέζος, Λέκτορας
Εφαρμογών

Αθήνα 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF PUBLIC AND COMMUNITY HEALTH
DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH

DIPLOMA THESIS

**«AIR POLLUTION IN ATTICA BEFORE AND DURING THE
PANDEMIC»**

Zoula Aikaterini

R.N. 10047

Supervisor: Constantinos Ntelezos

Athens 2022

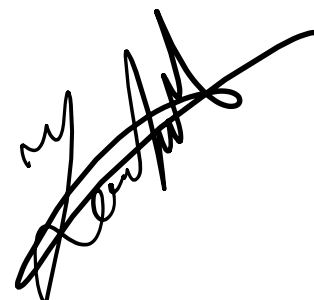
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ζούλα Αικατερίνη του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 10047 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Δημόσιας και Κοινοτικής Υγείας του Τμήματος Δημόσιας Υγείας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Στον αδερφό μου Στέφανο,

Πρόλογος- Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Ντελέζο για την επίβλεψη και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν στην προσπάθεια ολοκλήρωσης αυτής της εργασίας, αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει απασχολήσει ιδιαίτερα και συνεχίζει να απασχολεί όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια. Οι επιπτώσεις της επιβαρύνουν όλο το περιβάλλον. Λόγω της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα δημιουργούνται προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων, των φυτών ενώ είναι πιθανό να προκληθεί φθορά και σε κτίρια και μνημεία. Για τους παραπάνω λόγους έχουν θεσπιστεί νόμοι και έχουν επιβληθεί όρια εκπομπών ώστε να διασφαλιστεί η δημόσια υγεία. Προκειμένου να τηρούνται αυτά τα όρια αλλά και να παρακολουθείται η ποιότητα της ατμόσφαιρας δημιουργήθηκαν σταθμοί μέτρησης σε όλη την επικράτεια, όπου καταγράφονται οι ωριαίες τιμές κάθε ρύπου σε καθημερινή βάση.

Παράλληλα με όλες τις καταστροφές που συμβαίνουν στον πλανήτη, στα τέλη του 2019 εμφανίστηκε ένας άγνωστος ιός σε μια επαρχία της Κίνας, ο οποίος μεταφέρθηκε σε όλο τον πλανήτη και σε λίγους μήνες μετατράπηκε σε πανδημία. Ο ιός Covid-19 όπως ονομάστηκε προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί τον ασθενή στο θάνατο. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας μαζί με τους κρατικούς μηχανισμούς κάθε χώρας αποφάσισαν την επιβολή περιοριστικών μέτρων ούτως ώστε να διακοπεί η εξάπλωση της πανδημίας. Αυτά τα μέτρα εγκλεισμού είχαν σαν αποτέλεσμα τη διακοπή μετακινήσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο και τις εκπομπές ρύπων.

Στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν δεδομένα μετρήσεων από όλη την Αττική για τα έτη 2018, 2019 και 2020. Ύστερα από την κατάλληλη επεξεργασία παρουσιάστηκαν σε γραφήματα. Έπειτα έγινε σύγκριση μεταξύ τους προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη συσχέτισης των περιοριστικών μέτρων με την οποιαδήποτε αλλαγή στις συγκεντρώσεις των ρυπαντών. Σύμφωνα με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν υπήρξε αλλαγή στις μέσες τιμές των ρύπων κυρίως στο κέντρο της Αθήνας, η οποία συνάδει με τις περιόδους εγκλεισμού. Ωστόσο η έρευνα θα πρέπει να συνεχιστεί για να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα.

Λέξεις κλειδιά: ατμοσφαιρική ρύπανση, πανδημία, περιοριστικά μέτρα, εγκλεισμός, Covid-19

Abstract

Air pollution has been of particular concern and continues to be a major concern around the world in recent years. Its effects are a burden on the whole environment. Air pollution causes problems for the health of people, animals and plants and is likely to cause damage to buildings and monuments. For these reasons, laws have been enacted and emission limits have been imposed to ensure public health. In order to comply with these limits and to monitor air quality, measuring stations have been set up throughout the country to record the hourly values of each pollutant on a daily basis.

Along with all the disasters occurring on the planet, at the end of 2019 an unknown virus appeared in a province of China, which spread across the globe and in a few months turned into a pandemic. The Covid-19 virus, as it was named, attacks the respiratory system and in many cases leads the patient to death. The World Health Organisation, together with the governmental mechanisms of each country, decided to impose restrictive measures in order to stop the spread of the pandemic. These containment measures have resulted in the interruption of travel for a long period of time, thereby affecting emissions of pollutants.

In this paper, measurement data were collected from all of Attica for the years 2018, 2019 and 2020. After appropriate processing they were presented in graphs. They were then compared with each other in order to investigate the correlation between the restrictive measures and any change in pollutant concentrations. According to the data collected there was a change in the average values of pollutants especially in the centre of Athens, which is consistent with the periods of confinement. However, the investigation should be continued to confirm the results.

Keywords: air pollution, pandemic, restraining order, containment, Covid-19

Περιεχόμενα

Πρόλογος- Ευχαριστίες	4
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Περιεχόμενα.....	8
Εισαγωγή	9
Ατμοσφαιρική Ρύπανση	10
Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα	13
Ατμοσφαιρικοί Ρύποι	14
Ταξινόμηση αέριων ρύπων	14
Πηγές εκπομπών αέριων ρύπων	14
Φυσικές πηγές αέριων ρύπων	15
Ανθρωπογενείς πηγές αέριων ρύπων.....	16
Χαρακτηριστικά αέριων ρύπων	17
Θεσμικό πλαίσιο για τους κυριότερους ρυπαντές	30
Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας	31
Τρόποι μέτρησης των ρυπαντών	33
Σκοπός	39
Μεθοδολογία	39
Βαθμονόμηση των οργάνων	40
Σταθμοί μέτρησης	40
Αποτελέσματα	41
Μετρήσεις ανά ρύπο.....	41
Μετρήσεις ανά σταθμό.....	50
Συζήτηση-Συμπεράσματα	68
Επίλογος.....	71

Εισαγωγή

Στα τέλη του 2019 αναφέρθηκαν τα πρώτα κρούσματα πνευμονίας στο Wuhan της επαρχίας Hubei της Κίνας. Η αιτία της νόσου ήταν άγνωστη. Οι αναλύσεις που ακολούθησαν οδήγησαν στην απομόνωση ενός νέου ιού του αναπνευστικού συστήματος ο οποίος ονομάστηκε κορονοϊός οξέος αναπνευστικού συνδρόμου τύπου 2 (SARS-CoV-2)(F Wu et al., 2020). Η εξάπλωση του ιού σε όλο τον κόσμο ήταν ραγδαία και ως εκ τούτου στις 12 Μαρτίου 2020 ο ΠΟΥ την χαρακτήρισε πανδημία. Αυτή η κατάσταση έφερε πολλές και πρωτόγνωρες αλλαγές σε όλο τον κόσμο όπως για παράδειγμα την απομάκρυνση των πολιτών από την εργασία τους και τις εκπαιδευτικές μονάδες και τον εγκλεισμό τους στις οικίες τους(Watkins J., 2020). Όπου ήταν δυνατό η εργασία μετατράπηκε σε τηλεργασία, οι μετακινήσεις μειώθηκαν στο ελάχιστο, τα καταστήματα λιανικής έκλεισαν και οι αγορές αφορούσαν κυρίως είδη πρώτης ανάγκης. Σκοπός του εγκλεισμού και των υπολοίπων μέτρων ήταν η αποφυγή συνωστισμού για τη διαχείριση της πανδημίας μειώνοντας την εξάπλωση του ιού.

Πέρα από το επιδημιολογικό ενδιαφέρον που έχουν αυτά τα μέτρα, όσον αφορά την αποτελεσματικότητά τους στη διαχείριση της πανδημίας, είχαν και σημαντικές επιπτώσεις στον οικονομικό και περιβαλλοντικό τομέα κάθε χώρας. Η μείωση, ακόμα και η παύση σε ορισμένες περιπτώσεις, βιομηχανικής δραστηριότητας, μετακινήσεων πολιτών και μεταφορών προϊόντων θεωρητικά θα οδηγούσε και σε μείωση ρυπογόνων παραγόντων που απελευθερώνονται καθημερινά στο περιβάλλον. Επομένως και η ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία αφορά κυρίως αστικές περιοχές θα παρουσιάζει πτωτική τάση τις περιόδους του εγκλεισμού σε κάθε χώρα.

Ο βασικός σκοπός αυτής της εργασίας είναι με βάση τις υπάρχουσες πρακτικές να μελετηθεί η επίδραση όλων των περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα, στην ποιότητα του αέρα και συγκεκριμένα στην ατμοσφαιρική ρύπανση που σημειώνεται στην περιοχή της Αττικής. Αυτή η μελέτη θα υλοποιηθεί μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται καθημερινά σε διαφορετικούς σταθμούς μετρήσεων σε όλη τη χώρα από το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης το οποίο λειτουργεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Γενικό Μέρος

Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Με τον όρο ατμοσφαιρική ρύπανση χαρακτηρίζουμε την κατάσταση κατά την οποία παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα συγκεντρώσεις ουσιών υψηλότερες από το συνηθισμένο. Αυτές οι ουσίες είναι χημικές ενώσεις ή χημικά στοιχεία που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε αέρια, υγρή ή στερεή μορφή (Boubel, 1994). Όταν οι συγκεντρώσεις τους είναι υψηλές έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων, των φυτών και στα υλικά, και για αυτό το λόγο ονομάζονται ρύποι. Η παραγωγή αυτών των ρύπων προέρχεται από φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Όσον αφορά τις φυσικές διεργασίες προέρχονται από πυρκαγιές, βιολογικές δραστηριότητες, θάλασσα, ερήμους, γύρη, αποσάθρωση βράχων. Η ανθρωπογενής παραγωγή αφορά τις εκπομπές ρύπων από μηχανές κίνησης μέσω μεταφοράς, καυστήρες, παραγωγή ενέργειας, αγροτικές δραστηριότητες κλπ. Παρόλο που η παραγωγή αέριων ρύπων στη φύση είναι μεγαλύτερη σε ορισμένες περιπτώσεις, η συγκέντρωση στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές δυσχεραίνει τις συνθήκες διαβίωσης. (Seinfeld & Pandis, 2008)

Όταν οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών δημιουργούν δυσάρεστες συνθήκες έχει επικρατήσει ο όρος νέφος. Το νέφος χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- Φωτοχημικό νέφος ή τύπου Λος Άντζελες, παρατηρείται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες με μεγάλης διάρκειας ηλιοφάνεια και χαμηλά ποσοστά υγρασίας, σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων αζώτου, υδρογονανθράκων και δευτερογενών προϊόντων.



Εικόνα 1. Λος Άντζελες με φωτοχημικό νέφος, ανακτήθηκε από:
<https://slideplayer.gr/slide/2393218/> (5/3/2022)

- Νέφος καπνομίχλης ή τύπου Λονδίνου, παρατηρείται όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλά ποσοστά υγρασίας σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, μονοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου.



Εικόνα 2. Νέφος καπνομίχλης στο Λονδίνο, ανακτήθηκε από <https://www.unblock.gr/> (5/3/2022)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί έναν κίνδυνο που δεν έχει εκτιμηθεί όπως του αρμόζει. Είναι υπεύθυνη για εκατομμύρια θανάτους και για τα αυξημένα ποσοστά αναπνευστικών ασθενειών (Brauer, 2010). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ο αριθμός των θανάτων που συνδέονται άμεσα με την ατμοσφαιρική ρύπανση ανέρχεται στα 4,6 εκατομμύρια ετησίως (Cohen et al., 2017), ενώ ευθύνεται για περισσότερους θανάτους από ότι τα τροχαία ατυχήματα (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2005). Ωστόσο δεν αποτελεί νέο φαινόμενο καθώς από τον 5^ο αιώνα μ.Χ. παρατηρούνταν αιθάλη (Μελάς, 2015). Έπειτα το 19^ο αιώνα η βιομηχανική επανάσταση με την κατακόρυφη αύξηση χρήσης κάρβουνου και επομένως τη ραγδαία αύξηση στις εκπομπές ρυπαντών αποτέλεσε ορόσημο στην εδραίωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον πλανήτη. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα εκτυλίχθηκαν τα πρώτα τραγικά συμβάντα με αθρόες απώλειες ζωών εξαιτίας των ατμοσφαιρικών ρύπων. Το 1930 στην κοιλάδα του Meuse στο Βέλγιο έχασαν τη ζωή τους 60 άνθρωποι λόγω της βιομηχανικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των καιρικών συνθηκών που δημιούργησαν μια ομίχλη η οποία κράτησε πέντε ημέρες (Nemery et al., 2001). Στη Ντονόρα της Πενσυλβάνια το 1948 το νέφος που δημιουργήθηκε από τις εκπομπές φθοριούχου υδρογόνου και διοξειδίου του θείου από τα εργοστάσια της περιοχής κόστισε τη ζωή σε 20 ανθρώπους και προκάλεσε αναπνευστικά προβλήματα σε 6000

κατοίκους (Snyder, 1994). Το 1950 στην Πόζα Ρίκα του Μεξικό εξαιτίας ενός λάθους και της αναστροφής θερμοκρασίας εκτοξεύθηκε υδρόθειο σε χαμηλό υψόμετρο και προκάλεσε το θάνατο σε 22 ανθρώπους και άλλοι 320 μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο (McCabe et al., 1952). Από τα σημαντικότερα και σοβαρότερα τραγικά γεγονότα είναι αυτό του Λονδίνου το 1952 το οποίο στοίχισε τη ζωή σε 4000 πολίτες μέσα σε τρεις ημέρες. Η πυκνή χαμηλή ομίχλη και η υγρασία της περιοχής, σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια και το διοξείδιο του θείου δημιούργησαν αυτό που ονομάζουμε καπνομίχλη (smog) (Davis, 2002).



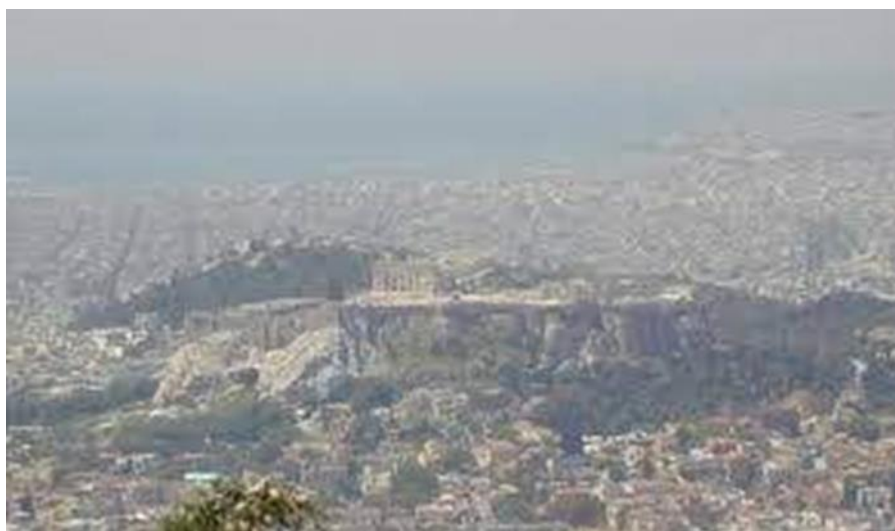
Εικόνα 3. Βιομηχανική ατμοσφαιρική ρύπανση στην κοιλάδα Meuse, ανακτήθηκε από <https://academic.oup.com/journals> (5/3/2022)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως πέρα από τους άμεσους θανάτους που προκαλούνται οι βραχυπρόθεσμες συνέπειες είναι επίσης πολλές και σοβαρές. Ορισμένες από αυτές είναι η επιδείνωση του άσθματος, του εμφυσήματος, της βρογχίτιδας, των αναπνευστικών αλλεργιών και των καρδιακών και πνευμονικών παθήσεων (Brauer, 2010). Αυτά τα γεγονότα και οι μελέτες σχετικά με την επίδραση των ρυπαντών στην υγεία είχαν σαν αποτέλεσμα τη θέσπιση νόμων και την επιβολή επιτρεπτών ορίων για τις εκπομπές ρύπων. Σε περίπτωση υπέρβασης αυτών των ορίων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα συνήθως λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών και αναλόγως το ρυπογόνο παράγοντα, δρομολογούνται οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες ούτως ώστε να διασφαλιστεί η υγεία των πολιτών και του περιβάλλοντος.

Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα

Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα άρχισε να παρατηρείται μια σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα στην Ελλάδα, πιο συγκεκριμένα στα αστικά κέντρα. Αυτό δίνει εν μέρει την απάντηση στην εμφάνιση αυτού του φαινομένου. Η αλόγιστη αστικοποίηση και άναρχη οικοδόμηση των πόλεων, κυρίως Αθήνας και Θεσσαλονίκης, αποτελούν μία από τις βασικές αιτίες αύξησης των συγκεντρώσεων ρυπαντών στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα η βιομηχανική άνθιση στα προάστια των πόλεων σε συνδυασμό με τη μείωση των χώρων πρασίνου καθώς και αύξηση της κυκλοφορίας οχημάτων που έχει ως επακόλουθο και περισσότερη κατανάλωση καυσίμων είναι επίσης μερικά από τα αίτια (Kassomenos et al., 2009).

Η γεωγραφική θέση της Αθήνας παίζει επίσης καταλυτικό ρόλο στην ποιότητα της ατμόσφαιράς της. Είναι χτισμένη στο κέντρο του λεκανοπεδίου της Αττικής και περιβάλλεται από τρία κύρια βουνά, τον Ύμηττό, την Πεντέλη και την Πάρνηθα. Συνυπολογίζοντας την πυκνοκατοίκηση που συναντάται στην Αθήνα και την έντονη ηλιοφάνεια είναι λογικό να ευνοείται η συγκέντρωσή των αέριων ρύπων και η παραμονή τους για περισσότερο χρόνο πάνω από την πόλη (Varotsos et al., 2021). Ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μείωση των εκπομπών ρύπων λόγω της αντικατάστασης οχημάτων που διέθεταν παλιάς τεχνολογίας κινητήρες με οχήματα εφοδιασμένα με καταλύτες. Επίσης η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με θέματα ρύπανσης και επίδρασης της στην υγεία έχουν φέρει θετικά αποτελέσματα (Ανδρεοπούλου, 2011). Παρόλα αυτά την περίοδο της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα την περίοδο 2010-2018, η έλλειψη οικονομικών πόρων οδήγησε τους πολίτες σε εναλλακτικές λύσεις θέρμανσης. Τέτοιες λύσεις αποτέλεσαν η καύση ξύλου σε τζάκια και σόμπες καθώς και βιομάζα χαμηλής ποιότητας και κόστους με συνέπεια τη δημιουργία ομίχλης και τα υψηλά ποσοστά αιωρούμενων σωματιδίων (Varotsos et al., 2021).



Εικόνα 4. Η Αθήνα κατά τη διάρκεια φωτοχημικού νέφους, ανακτήθηκε από oikoinfo.wordpress.com (5/3/2022)

Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Ταξινόμηση αέριων ρύπων

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι χωρίζονται σε αέριους ή σωματιδιακούς ρύπους. Τα οξείδια αζώτου, θείου και άνθρακα αποτελούν τους αέριους ρύπους. Οι σωματιδιακοί είναι είτε υγρά είτε στερεά σωματίδια τα οποία αναλόγως το μέγεθός τους παραμένουν και αιωρούνται στην ατμόσφαιρα ή λόγω βάρους καταλήγουν πιο γρήγορα στο έδαφος (Singh, 2006).

Ένας δεύτερος τρόπος διαχωρισμού των ρύπων είναι βάση της χημικής τους σύνθεσης (Καραθανάσης, 2006). Οι ομάδες που προκύπτουν από αυτό το διαχωρισμό είναι οι εξής:

- Ενώσεις θείου
- Ενώσεις αζώτου
- Ενώσεις άνθρακα
- Ενώσεις αλογόνων
- Τοξικές χημικές ενώσεις
- Ραδιενεργές χημικές ενώσεις

Εν τέλει, με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε πρωτογενείς ρύπους και σε δευτερογενείς. Ως πρωτογενείς χαρακτηρίζονται αυτοί που εκπέμπονται κατευθείαν από τις πηγές τους. Αυτοί είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, οι υδρογονάνθρακες, τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι δευτερογενείς ρύποι προέρχονται από τις χημικές αντιδράσεις πρωτογενών ρύπων και άλλων στοιχείων της ατμόσφαιρας και είναι συνήθως υπαίτιοι για τον ερεθισμό στα μάτια και τη δημιουργία ομίχλης. Δευτερογενείς ρύποι είναι τα οξείδια του αζώτου και τα οξειδωτικά φωτοχημικά όπως το όζον (Boubel et al., 2013).

Πηγές εκπομπών αέριων ρύπων

Ένας ακόμη τρόπος να διαχωρίσουμε τους αέριους ρύπους αποτελεί η πηγή προέλευσής τους. Συγκεκριμένα οι αέριοι ρύποι χωρίζονται σε ρύπους που προέρχονται από φυσικές πηγές και σε ρύπους που παράγονται ανθρωπογενώς. Παρόλο που η πλειοψηφία θεωρεί πως οι περισσότεροι ρύποι προέρχονται από ανθρώπινες διεργασίες, το μεγαλύτερο ποσοστό αέριων ρύπων παράγεται στη φύση. Ωστόσο οι ανθρωπογενείς εκπομπές έχουν την ευθύνη για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας καθώς διαταράσσουν τη φυσική ισορροπία ενώ συγκεντρώνονται σε μικρές περιοχές (κατά κύριο λόγο βιομηχανικές και αστικές περιοχές). Από την άλλη μεριά η καλή κατανομή των φυσικών πηγών δεν οδηγεί σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων σε μικρές γεωγραφικές περιοχές. Επομένως δεν μπορούν να θεωρηθούν

υπεύθυνες για την ατμοσφαιρική ρύπανση, με ορισμένες λίγες εξαιρέσεις (Ζάνης, 2014).

Φυσικές πηγές αέριων ρύπων

Στις φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ανήκουν οι παρακάτω πηγές:

- Ηφαιστειακή: από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, αλλά και κατά τη διάρκεια μη εκρηκτικής ηφαιστειακής δραστηριότητας εκλύονται στην ατμόσφαιρα σημαντικές ποσότητες αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το ηφαίστειο. Το μεγαλύτερο ποσοστό που παράγεται είναι υδρατμοί, ενώ εκλύονται και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρόθειο (H_2S), διοξείδιο του θείου (SO_2) και άλλες αλαγονούχες και θειούχες ενώσεις.
- Βιολογική αποσύνθεση: κατά την αποσύνθεση της νεκρής οργανικής ύλης φυτικής ή ζωικής προέλευσης δημιουργούνται και ως κατάλοιπα αμμωνία (NH_3), υδρόθειο (H_2S) και υδρογονάνθρακες.
- Μεταβολικές διαδικασίες: κατά τη διαδικασία του φυσιολογικού μεταβολισμού ζωικών οργανισμών, φυτικών οργανισμών και μικροβίων παράγονται και εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υποξείδιο του αζώτου (N_2O), μεθάνιο (CH_4) καθώς και διάφοροι υδρογονάνθρακες.
- Δασικές πυρκαγιές: κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών, οι οποίες δεν οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα αλλά συνήθως σε κεραυνό, εκλύουν μεγάλες ποσότητες ρυπαντών με τη μορφή καπνού όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), πτητικές οργανικές ενώσεις (εκτός από μεθάνιο) (NMVOCs), αζωτούχες και θειούχες ενώσεις και αιωρούμενα σωματίδια.
- Θαλάσσιες εκτάσεις: οι ωκεανοί εκλύουν συνεχώς στην ατμόσφαιρα αερολύματα. Κατά την εξάτμιση απελευθερώνονται αιωρούμενα σωματίδια από χλωριούχο νάτριο (NaCl) και θειικό μαγνήσιο (MgSO_4). Επιπλέον οι ωκεανοί αποτελούν τη βασική πηγή χλωρίου στην ατμόσφαιρα καθώς απελευθερώνουν χλωρομεθάνιο (CH_3Cl) και άλλες αλογονούχες ενώσεις.
- Αποσάθρωση του εδάφους: με τη σταδιακή και προοδευτική αποσύνθεση των υλικών του εδάφους απελευθερώνονται στο περιβάλλον αιωρούμενα σωματίδια.
- Θερμές πηγές: από τις ιαματικές πηγές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα θειώδη αέρια. (Bouhel et al., 1994)

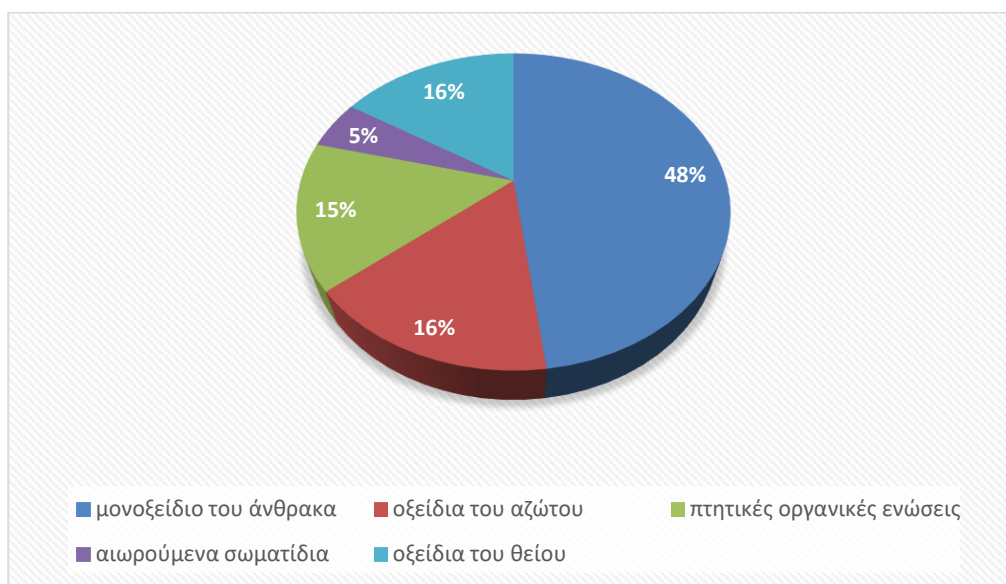
Ανθρωπογενείς πηγές αέριων ρύπων

Ως κύριες πηγές ανθρωπογενούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεωρούνται οι παρακάτω:

- **Βιομηχανία:** οι εκπομπές ρύπων από τη βιομηχανία είναι ένας συνδυασμός αερολυμάτων, σκόνης, καπνού και αέριων ρύπων οι οποίοι παράγονται κυρίως κατά τη βιομηχανική καύση και λιγότερο κατά τη διαδικασία παραγωγής (Γεντεκάκης, 1999). Οι κύριες βιομηχανίες που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα είναι η χαρτοβιομηχανία και τα εργοστάσια πολτοποίησης, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα εργοστάσια λιπασμάτων και η χαλυβουργία. Από αυτές παράγονται και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τριοξείδιο του θείου (SO₃), μονοξείδιο του αζώτου (NO) και υδρογονάνθρακες. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η καύση δεν είναι τέλεια εμφανίζονται προϊόντα ατελούς καύσης όπως πτητικές οργανικές ενώσεις (εκτός μεθανίου), αλκένια, αλδεΐδες, κετόνες, και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH). Επίσης από τα εργοστάσια υφαντουργίας απελευθερώνεται σκόνη βαμβακιού (Singh, 2006).
- **Μεταφορές:** τα μέσα μεταφοράς είτε χερσαία, θαλάσσια ή αέρια αποτελούν μια σημαντική και συνεχώς αυξανόμενη πηγή ρύπανσης η οποία προέρχεται από την καύση υγρών ορυκτών καυσίμων. Οι σημαντικότεροι από τους ρύπους που εκλύονται είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και υποξείδιο του αζώτου (N₂O) τα οποία προκαλούν και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x) και πτητικές οργανικές ενώσεις. Επιπρόσθετα αναλόγως με τις συνθήκες λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης υπάρχει πιθανότητα παραγωγής αρωματικών πολυκυκλικών υδρογονανθράκων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα οδικά μέσα μεταφοράς θεωρούνται ιδιαίτερος επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία καθώς η εκπομπή των ρύπων τους γίνεται πολύ κοντά στον άνθρωπο (Colville et al. 2001). Σε πόλεις με πληθυσμό που υπερβαίνει τα 10 εκατομμύρια το 90% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στα οχήματα (Incecik & Im 2012).
- **Θέρμανση και κλιματισμός κτιρίων:** όσον αφορά την ψύξη των κτιρίων απαιτείται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με αέρια υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Επίσης η χρήση χλωροφθορανθράκων (CFC's) στα κλιματιστικά τα προηγούμενα έτη είχε αρνητική επίδραση στο όζον της στρατόσφαιρας καθώς είναι η βασική αιτία δημιουργίας της τρύπας του όζοντος. Η θέρμανση των κτιρίων από την άλλη μεριά μπορεί να γίνει με διάφορα μέσα. Είτε με στερεά καύσιμα (ξύλα, κάρβουνα), με υγρά (πετρέλαιο, μαζούτ, κηροζίνη), είτε με αέρια (φυσικό αέριο, υγραέριο). Κατά κύριο λόγο γίνεται χρήση υγρών καυσίμων τα οποία οδηγούν στην παραγωγή αέριων ρύπων (Γεωργόπουλος, 1996).

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λιθανθράκων, φυσικού αερίου, πετρελαίου και παραγώγων του) απελευθερώνει στο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων παραπροϊόντων που αποτελούν ρύπους.

Τέλος πρέπει να αναφερθούν και άλλες εργασίες που παράγουν αέριους ρύπους όπως οι γεωργικές δραστηριότητες, τα οικιακά καθαριστικά, τα χρώματα (Γεωργόπουλος, 1996), ενώ δυστυχώς δεν γίνεται να παραλειφθούν οι πόλεμοι (Singh, 2006).



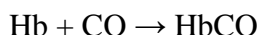
Εικόνα 5. Κατανομή των πρωτογενών αέριων ρύπων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα (Πηγή: Μελάς κ.ά. 2015)

Χαρακτηριστικά αέριων ρύπων

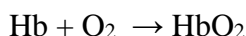
Οι σημαντικότεροι αέριοι ρύποι είναι οι εξής:

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): πρόκειται για ένα άοσμο και άχρωμο αέριο με μικρότερη μάζα από αυτή του αέρα και το οποίο έχει διάρκεια ζωής από 30 έως και 90 ημέρες στην τροπόσφαιρα. Προέρχεται από μηχανές ατελούς καύσης και συνήθως παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση. Υπολογίζεται πως το 75% του μονοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τα μέσα μεταφοράς, ενώ περίπου το 25% από ατελή καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία. Η κυριότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου (Ζάνης Π., 2014).

Το μονοξείδιο του άνθρακα θεωρείται επικίνδυνο για την υγεία, διότι δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη του αίματος δημιουργώντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη.

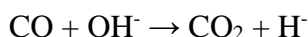


Με αυτό τον τρόπο εμποδίζεται η δέσμευση του οξυγόνου από την ενεργή θέση της αιμοσφαιρίνης και παράγεται οξυαιμοσφαιρίνη

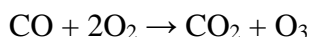


ούτως ώστε να μεταφερθεί το οξυγόνο στους ιστούς. Προκαλεί προβλήματα κυρίως στην πηγή του. Αυτά τα προβλήματα είναι μείωση σωματικών επιδόσεων σε χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλείται ζαλάδα, πονοκέφαλος, κόπωση ακόμα και θάνατος (Μπεργελές, 2006).

Το μονοξείδιο του άνθρακα στη φύση οξειδώνεται από ρίζες υδροξυλίου σε διοξείδιο του άνθρακα και αδρανοποιείται.



Όταν όμως υπάρχουν οξειδία του αζώτου γίνονται ορισμένες αλυσιδωτές αντιδράσεις και καταλήγει να δημιουργείται τροποσφαιρικό όζον (Lagzi et al., 2013).



Σε αντίθεση με το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα δεν επιβαρύνει την παγκόσμια θερμοκρασία. Ωστόσο παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας καθώς επηρεάζει την ικανότητά της να καθαρίζει από πολλά άλλα ρυπογόνα αέρια. Σε συνδυασμό και με την ηλιακή ακτινοβολία συμβάλει στη δημιουργία αστικού νέφους (NASA). Η απορρόφηση, η προσρόφηση, η συμπύκνωση και η καύση αποτελούν τις τέσσερις βασικές πηγές ελέγχου για το μονοξείδιο του άνθρακα. Προτιμάται ο έλεγχος στην πηγή, από τον έλεγχο με αραίωση στον αέρα. Όταν τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα φτάσουν σε θανατηφόρα όρια για μικρή χρονική στιγμή ενεργοποιείται κατάσταση συναγερμού. Για την προστασία της υγείας έχουν υιοθετηθεί κάποια στάδια ελέγχου. Το πρώτο στάδιο ελέγχου αρχίζει αν σε μέσο όρο οχταώρου η τιμή του μονοξειδίου του άνθρακα φθάσει τα 34 mg/m³. Αν φθάσει τα 46 mg/m³ ενεργοποιείται πιο αυστηρή δράση, ενώ προβλέπεται κλείσιμο των εργοστασίων και απαγόρευση κυκλοφορίας στην περιοχή του περιστατικού.

[CO], ppm	Συμπτώματα
35	Κεφαλαλγία και ίλιγγος μετά από σταθερή έκθεση 6 έως 8 ωρών.
100	Ελαφριά κεφαλαλγία μετά από 2 έως 3 ώρες
200	Ελαφριά κεφαλαλγία μέσα σε 2 έως 3 ώρες, Απώλεια ικανότητας κρίσης.
400	Μετωπική κεφαλαλγία μέσα σε 1 έως 2 ώρες.
800	Ίλιγγος, ναυτία, σπασμοί μέσα σε 45 λεπτά. Λιποθυμία μέσα σε 2 ώρες.
1.600	Κεφαλαλγία, ταχυκαρδία, ίλιγγος και ναυτία μέσα σε 20 λεπτά. Θάνατος σε λιγότερο από 2 ώρες.
3.200	Κεφαλαλγία, ίλιγγος και ναυτία μέσα σε 5 έως 10 λεπτά. Θάνατος μέσα σε 30 λεπτά.
6.400	Κεφαλαλγία και ίλιγγος σε 1 έως 2 λεπτά. Σπασμοί και αναπνευστική ανακοπή, θάνατος σε λιγότερο από 20 λεπτά.
12.800	Λιποθυμία μετά από 2-3 εσπνοές. Θάνατος σε λιγότερο από 3 λεπτά.

[CO], ppm	Πηγή
0,1	Φυσική ατμοσφαιρική περιεκτικότητα.
0,5 έως 5	Μέση συγκέντρωση στα σπίτια.
5 έως 15	Σπίτια με σωστά ρυθμισμένες σόμπες.
100 έως 200	Από τα καυσαέρια αυτοκινήτων στο κέντρο μεγάλης πόλης (Πόλη Μεξικού)
5.000	Τα καυσαέρια από οικιακό τζάκι.
7.000	Καυσαέρια καταλυτικού αυτοκινήτου.

Εικόνα 6. Τα συμπτώματα δηλητηρίασης από CO αναλογικά με τις συγκεντρώσεις στον αέρα και οι ποσότητες CO όπως προκύπτουν από κάθε πηγή (Πηγή: http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm)

Διοξείδιο του θείου (SO₂): πρόκειται για ένα άχρωμο αέριο, το οποίο όταν βρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση είναι άοσμο ενώ όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις έχει έντονη και ερεθιστική οσμή. Είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και περίπου δύο φορές βαρύτερο από τον αέρα. Μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα από 2 έως 4 ημέρες και να μεταφερθεί μέχρι και 1000 km. Στην ατμόσφαιρα το διοξείδιο του θείου αντιδρά για να σχηματίσει τριοξείδιο του θείου (SO₃) το οποίο εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς και σχηματίζει ομίχλη θειικού οξέος το οποίο απαντάται στην πρόβλημα της ρύπανσης από όξινη βροχή. Άλλες σημαντικές ενώσεις του θείου στην ατμόσφαιρα είναι το καρβονυλοσουλφίδιο (OCS), ο διθειάνθρακας (CS₂), το διμεθυλοσουλφίδιο [(CH₃)₂S], το υδρόθειο (H₂S) και τα θειικά άλατα. Το μεγαλύτερο ποσοστό παράγεται από φυσικές πηγές, συγκεκριμένα τα 2/3 προέρχονται από ηφαίστεια και θερμές πηγές. Το υπόλοιπο προέρχεται κυρίως από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφορές, κεντρικές θερμάνσεις κατοικιών, διυλιστήρια πετρελαίου, χαρτοβιομηχανίες (Lagzi et al., 2013).

Σε γενικές γραμμές οι συγκεντρώσεις του δεν ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια, μακροχρόνια όμως έκθεση μπορεί να προκαλέσει σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα, να επιβαρύνει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις, μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες.

Επίσης και τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο διοξείδιο του θείου κυρίως σε περιόδους έντονης ηλιοφάνειας, υψηλής σχετικής υγρασίας και μέτριας θερμοκρασίας. Η ύπαρξη σχετικών υγρασιών άνω του 70% σε συνδυασμό με την παρατεταμένη έκθεση σε διοξείδιο του θείου ενισχύουν την επιτάχυνση της διάβρωσης μετάλλων όπως χαλκός, νικέλιο, ψευδάργυρος και χάλυβας. Επιπρόσθετα μειώνει την

ορατότητα ενώ αντιδρώντας με ρίζες υδροξυλίου (OH^-) και με την υγρασία της ατμόσφαιρας δημιουργεί θειικό οξύ (H_2SO_4) το οποίο αποτελεί βασικό συστατικό της όξινης βροχής (Σεραφειμίδης, 2020).

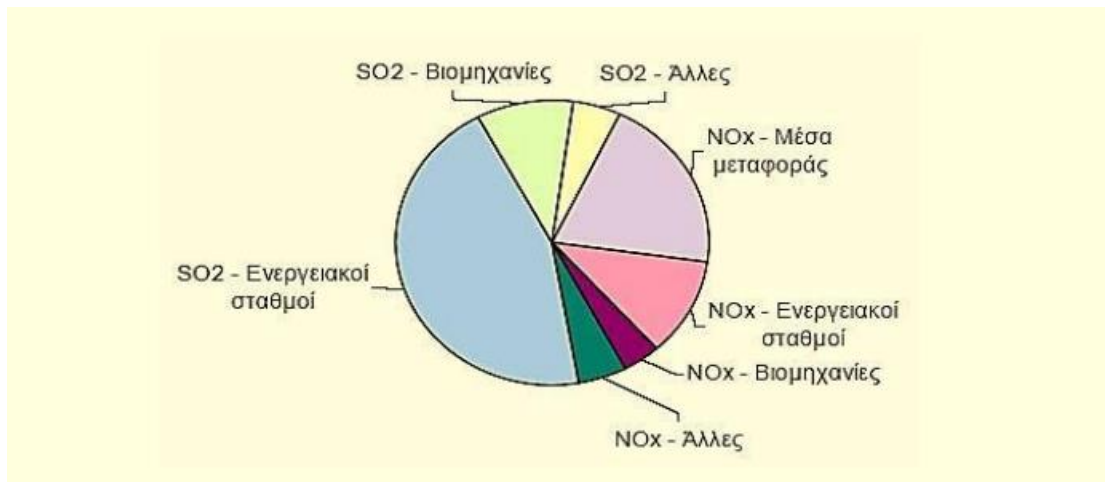
Πλέον προτιμάται η χρήση καυσίμων αφότου έχει απομακρυνθεί από αυτά το θείο, η μεταβολή του άνθρακα με υγροποίηση, η κάθαρση των προϊόντων μετά την καύση και η χρήση υψηλών καμινάδων προκειμένου να διασπείρουν τα αέρια.

Οξειδία του αζώτου (NO_x): τα σημαντικότερα οξειδία του αζώτου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο (NO_2). Το μονοξείδιο του αζώτου αποτελεί πρωτογενή ρύπο ενώ το διοξείδιο του αζώτου δευτερογενή και προέρχεται από την αντίδραση μεταξύ μονοξειδίου του αζώτου και όζοντος. Όσον αφορά το διοξείδιο του αζώτου, πρόκειται για ένα αέριο με καφέ χρώμα, οξεία ερεθιστική οσμή, διαλυτό στο νερό και ισχυρό οξειδωτικό. Η ύπαρξη οξειδίων του αζώτου δημιουργεί μια σειρά αντιδράσεων στη ατμόσφαιρα και θεωρούνται υπεύθυνα για τη δημιουργία φωτοχημικής ρύπανσης. Όταν βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις προσδίδουν στην ατμόσφαιρα το χαρακτηριστικό καφέ χρώμα που συναντάται στις μεγαλουπόλεις με υψηλά ποσοστά ρύπανσης.

Η βασική πηγή μονοξειδίου του αζώτου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων και κυρίως η χρήση τους για μεταφορικά μέσα. Επιπρόσθετα η χρήση τους σε ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και στη θέρμανση των κτιρίων εκλύει μεγάλα ποσά μονοξειδίου του αζώτου στον αέρα.

Το διοξείδιο του αζώτου, όταν βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις, προκαλεί σε ευάλωτα άτομα, όπως άτομα με άσθμα και παιδιά, δυσκολία στην αναπνοή. Επίσης συμβάλλει στη δημιουργία τροποσφαιρικού όζοντος και κατά συνέπεια στην όξινη βροχή (Μπεργελές, 2006).

Επιπλέον σημαντικές ενώσεις αζώτου στην ατμόσφαιρα οι οποίες παρακολουθούνται είναι το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το νιτρικό οξύ (HNO_3), η αμμωνία (NH_3), τα νιτρικά άλατα (NO_3^-), τα νιτρώδη άλατα (NO_2^-) και τα αμμωνιακά άλατα (NH_4^+).

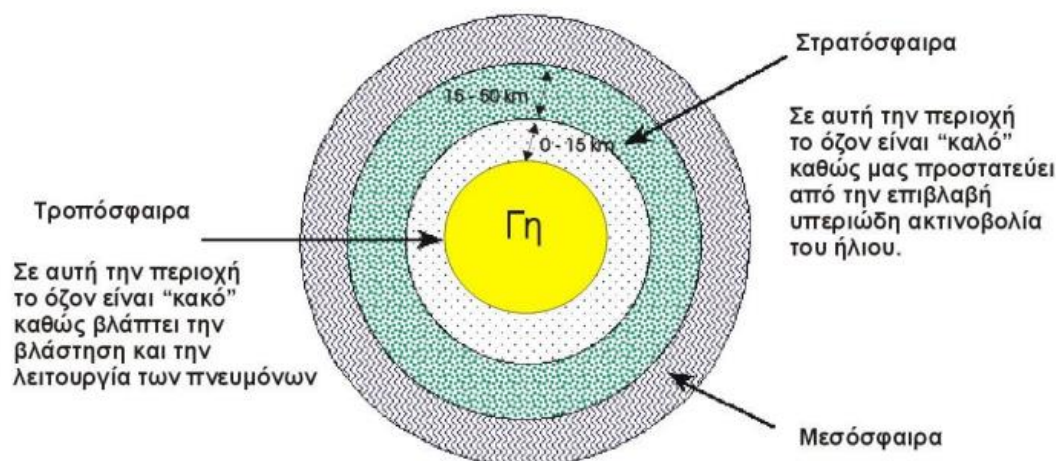


Εικόνα 7. Κατανομή πηγών SO2 και NOx (Πηγή Μελάς κ.ά. 2015)

Όζον (O₃): πρόκειται για ένα τριατομικό μόριο το οποίο αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου. Έχει κυανό χρώμα σε μεγάλες συγκεντρώσεις, είναι ασταθές αέριο, ελαφρώς διαλυτό στο νερό, πολύ οξειδωτικό και τοξικό ενώ διαθέτει και χαρακτηριστική έντονη μυρωδιά. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 έχει χαρακτηριστεί ως παράγοντας ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Λαμβάνει μέρος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, την τρύπα του όζοντος και το φωτοχημικό νέφος. Ωστόσο με σωστό χειρισμό το όζον έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως απολυμαντικό του νερού. Έχει ισχυρή μικροβιοκτόνο δράση απέναντι σε πρωτόζωα, βακτήρια και ιούς. Παράλληλα μειώνει τη συγκέντρωση θείου, μαγνησίου και σιδήρου, απομακρύνοντας έτσι δυσάρεστη οσμή και γεύση (Von Gunten, 2003).

Το όζον είναι ένα αέριο το οποίο υπό κανονικές συνθήκες βρίσκεται σε απόσταση 15-50 km από την επιφάνεια της γης, δηλαδή στη στρατόσφαιρα. Το «καλό» όζον, όπως θεωρείται το στρατοσφαιρικό όζον, λειτουργεί ως ασπίδα για όλα τα έμβια όντα, καθώς μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία η οποία μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες όταν διαπερνά την ατμόσφαιρα αφιτράριστη. Δεν έχει σταθερό πλάτος, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου, τα μετεωρολογικά φαινόμενα και άλλους παράγοντες. Οι φυσικοί λόγοι καταστροφής του είναι οι εκρήξεις των ηφαιστειών, αλλά δεν αποτελούν τον κύριο λόγο μείωσης της οζονόσφαιρας. Η χρήση χλωροφθορανθράκων (CFC's) ως ψυκτικό μέσο, διαλύτες ή προωθητικά αέρια είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της στοιβάδας του όζοντος δημιουργώντας μια τρύπα η οποία δεν μπορούσε να αποκατασταθεί από τη φύση (Ζάνης, 2014). Ενώ έχει γίνει αντικατάσταση των χλωροφθορανθράκων με άλλες ουσίες πιο φιλικές για το όζον σε πολλά προϊόντα, δεν έχει αποκατασταθεί πλήρως και σε ορισμένα σημεία του πλανήτη (όπως η Αυστραλία, η Βόρειος Αμερική) έχει τρομερές συνέπειες. Αντίθετα με την επικρατούσα άποψη, καθώς για πολλά χρόνια ο κόσμος πίστευε πως η ακτινοβολία UVA δεν προκαλεί μακροχρόνιες βλάβες, πλέον έχει επιβεβαιωθεί πως είναι υπεύθυνη για τη γήρανση του δέρματος αλλά και για πιο σοβαρές ασθένειες όπως ο καρκίνος του δέρματος (WHO,2021).

Ένα ποσοστό της τάξης του 10% της συνολικής ποσότητας του όζοντος, βρίσκεται σε απόσταση 0-15 km από την επιφάνεια της γης, δηλαδή στην τροπόσφαιρα και θεωρείται ρύπος. Το όζον είναι δευτερογενής ρύπος και παράγεται παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας και ύστερα από αντίδραση του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου. Οι πρωτογενείς ρύποι από τους οποίους παράγεται το τροποσφαιρικό όζον, προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές όπως τα μέσα μεταφοράς, τα χημικά εργοστάσια, λιπάσματα, χημικά διαλυτικά και πρατήρια βενζίνης. Κατά τις πρωινές ώρες παρατηρούνται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος στην ατμόσφαιρα. Αυτό εξηγείται καθώς εκείνες τις ώρες είναι αυξημένη η κίνηση στους δρόμους και κατά συνέπεια η έκλυση μονοξειδίου του αζώτου, το οποίο καταστρέφει το όζον, και υδρογονανθράκων. Στη συνέχεια της ημέρας, το μεσημέρι, υπάρχει αύξηση διοξειδίου του αζώτου μετά από αντίδραση με τον ήλιο. Το διοξείδιο του αζώτου με τη σειρά του αντιδράει με τον ήλιο, φωτοδιασπάται και μειώνεται αυξάνοντας την παραγωγή του όζοντος. Έπειτα όταν ο ήλιος έχει δύσει, υπάρχει αύξηση του μονοξειδίου του αζώτου και κατά συνέπεια καταστροφή του όζοντος.



Εικόνα 8. Κατανομή όζοντος στη γη (Πηγή Ζάνης 2014)

Το τροποσφαιρικό όζον επιδρά στην ατμόσφαιρα με διάφορους τρόπους. Αρχικά θεωρείται θερμοκηπικό αέριο. Η ύπαρξή του στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία. Σύμφωνα με την αρχική άποψη το όζον στην τροπόσφαιρα μεταφερόταν από τη στρατόσφαιρα, ενώ παράλληλα δεν συντελούσε σε καμία χημική αντίδραση. Παρατηρώντας όμως την ποσότητα του τροποσφαιρικού όζοντος να αυξάνεται κυρίως στον αστικό ιστό, και έπειτα από περαιτέρω μελέτες διαπιστώθηκε η παραγωγή τροποσφαιρικού όζοντος από υδρογονάνθρακες και οξείδια αζώτου με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα όμως συντελεί στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου (OH^\cdot) μέσω της φωτόλυσής του και παρουσία υδρατμών. Οι ρίζες υδροξυλίου θεωρούνται «απορρυπαντικό» για την ατμόσφαιρα καθώς οξειδώνουν αέριους ρύπους (μονοξείδιο του άνθρακα, υδροχλωροφθοράνθρακες, μεθάνιο κ.ά.) οι

οποίοι σε άλλη περίπτωση θα παρέμεναν στην τροπόσφαιρα για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, επιδεινώνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Ζάνης, 2014).

Επιπλέον το όζον ως ισχυρό οξειδωτικό λαμβάνει μέρος στη δημιουργία θειικού οξέος. Συγκεκριμένα, οξειδώνει το διοξείδιο του θείου (SO_2) της ατμόσφαιρας σε τριοξείδιο του θείου (SO_3) το οποίο στη συνέχεια με τους υδρατμούς μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4). Το θειικό οξύ αποτελεί το βασικό συστατικό της όξινης βροχής η οποία είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και για τα υλικά αγαθά. Εκτός από τις βλάβες που δημιουργεί στα φυτά ως μέρος στη δημιουργία της όξινης βροχής, το όζον έχει χαρακτηριστεί φυτο-τοξικό. Δεν επιτρέπει στα φυτά να αποθηκεύσουν τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται με αποτέλεσμα να τα καθιστά ευάλωτα σε ασθένειες και έντομα. Παράλληλα όταν βρίσκεται να υψηλές συγκεντρώσεις, οξειδώνει τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται σε υφάσματα, χαρτιά, πίνακες αλλά και κτίρια, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο υποβίβαση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς (Ζάνης, 2014).

Όσον αφορά την επίδραση που έχει στον άνθρωπο, το όζον είναι ερεθιστικό για τα μάτια και την αναπνευστική οδό. Σε περιπτώσεις χρόνιας έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος, έχουν αναφερθεί βλάβες στους πνεύμονες, βρογχίτιδα και πνευμονία.



Εικόνα 9. Βλάβες στο φύλλωμα των φυτών εξαιτίας του όζοντος. Πηγή: metroworld.com

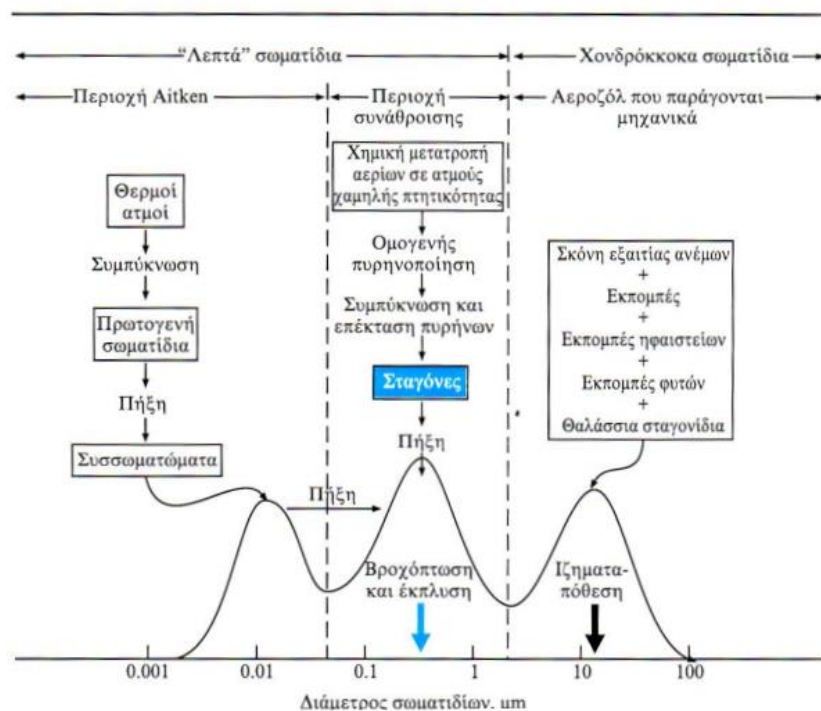
Αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter) ($PM_{2.5}$, PM_{10}): πρόκειται για ένα μίγμα σωματιδίων είτε σε στερεή είτε σε υγρή κατάσταση, τα όποια διαθέτουν ποικιλία σε μέγεθος και σε χημική σύσταση. Η διάμετρός τους είναι μεγαλύτερη από 0,0002 μm και μικρότερη από 500 μm . Ο χρόνος ζωής των σωματιδίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το μέγεθός τους. Οι πηγές τους είναι φυσικές (ηφαιστειακή δραστηριότητα, μεταφορά σκόνης, γύρη, άλατα από τη θάλασσα), ή ανθρωπογενείς (βιομηχανική δραστηριότητα, αγροτικές εργασίες, πυρκαγιές, καύση βιομάζας, οχήματα) και μπορεί να αποτελούν πρωτογενείς ή δευτερογενείς ρύπους. Όταν βρεθούν σε μεγάλες συγκεντρώσεις μετατρέπουν το χρώμα του ουρανού σε γκρίζο ή λευκό, ή

σε καφεκόκκινο όταν προέρχονται από ερήμους. Αναλογικά με το μέγεθός τους διαχωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- $PM_{2.5}$ με αεροδυναμική διάμετρο έως 2,5 μm με χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα αρκετές εβδομάδες και δυνατότητα μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις.
- PM_{10} με αεροδυναμική διάμετρο έως 10 μm και χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα μερικές ώρες.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που ανήκουν στην κατηγορία PM_{10} ονομάζονται χονδρόκοκκα και αποτελούνται από άμμο, σκόνη, σωματίδια που προέρχονται από άστρωτη ασφάλτο, σωματίδια φυτικών οργανισμών, τρόχισμα διαφόρων υλικών, άλεσμα και θαλάσσια άλατα. Επίσης η γύρη και τα σπόρια θεωρούνται χονδρόκοκκα σωματίδια. Τα λεπτά σωματίδια $PM_{2.5}$ αποτελούνται κυρίως από προϊόντα ατελούς καύσης, καυσαέρια αυτοκινήτων, εργοστάσια και κυρίως παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οικιακές εστίες, τζάκια και φούρνους. Σε γενικές γραμμές τα χονδρόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται από γεωλογική δραστηριότητα, ενώ τα λεπτά σωματίδια από βιομηχανική δραστηριότητα και χημικές αντιδράσεις (Ζάνης, 2014).

Η επικινδυνότητα των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση και από το μέγεθός τους. Οι ομάδες πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες είναι τα μικρά παιδιά, οι ηλικιωμένοι και άνθρωποι με άσθμα ή άλλα αναπνευστικά προβλήματα, οι οποίοι θα πρέπει να είναι ιδιαίτερος προσεκτικοί σε περιβάλλοντα με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο επιβλαβή είναι για την υγεία καθώς τα μικρότερα σωματίδια εισέρχονται πιο βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα, εναποτίθενται στις κυψελίδες των πνευμόνων και σε βάθος χρόνου προκαλούν σοβαρά προβλήματα (Singh, 2006). Εκτός από ερεθισμό στο λαιμό και τη μύτη έχουν αναφερθεί βλάβες στους πνεύμονες και την καρδιά, ενώ σωματίδια που περιλαμβάνουν τοξικές ουσίες οδηγούν σε καρκινογενέσεις ή πρόωρο θάνατο (Ζάνης, 2014). Επιπρόσθετα παίζει σημαντικό ρόλο η χημική σύσταση του σωματιδίου καθώς υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης τοξικών ή επικίνδυνων συστατικών όπως βαρέα μέταλλα. Τέλος τα αιωρούμενα σωματίδια διαφοροποιούνται και ως προς τη βιοδιαθεσιμότητα. Τα σωματίδια που διαθέτουν συστατικά πιο ευδιάλυτα απορροφώνται και πιο εύκολα από τον εκάστοτε οργανισμό, σε αντίθεση με άλλα λιγότερο διαλυτά.



Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση κατανομής αιωρούμενων σωματιδίων (Πηγή Γεντεκάκης 1999)

Βενζόλιο: πρόκειται για χημική ένωση και συγκεκριμένα για έναν αρωματικό υδρογονάνθρακα. Αποτελείται από έξι άτομα άνθρακα και έξι άτομα υδρογόνου. Είναι υγρό και άχρωμο σε θερμοκρασία δωματίου με χαρακτηριστική γλυκιά οσμή. Πρόκειται για ένα εύφλεκτο αέριο, το οποίο κατά την καύση του εκλύει μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, ή αλλιώς καπναιθάλη. Λόγω χαμηλού σημείου ζέσεως συναντάται υπό μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και επίσης αναμιγνύεται εύκολα με τους περισσότερους οργανικούς διαλύτες. Εξαιτίας του χαμηλού σημείου βρασμού (80 °C) και της υψηλής πίεσης ατμών (9,95 KPa στους 20 °C), το βενζόλιο συνήθως συναντάται υπό τη μορφή ατμού στο περιβάλλον. Αναλογικά με τις υπάρχουσες καιρικές συνθήκες και τις συγκεντρώσεις άλλων ρύπων στην ατμόσφαιρα, η παραμονή του βενζολίου κυμαίνεται από λίγες ώρες μέχρι λίγες ημέρες. Το βασικό μέσο απομάκρυνσης του βενζολίου είναι η αντίδρασή του με ρίζες υδροξυλίου, καθώς και μέσω των κατακρημνίσεων.

Το βενζόλιο είναι πιθανό να προέρχεται από φυσικές πηγές και από ανθρωπογενείς. Είναι συστατικό του πετρελαίου, επομένως συναντάται στη θάλασσα και στα φυσικά αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στο περιβάλλον. Ωστόσο η βασική πηγή προέλευσης πτητικών υδρογονανθράκων, όπως βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο, είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα με βασικότερες τις μεταφορές και την παραγωγή ενέργειας. Επίσης το βενζόλιο εκπέμπεται κατά τη διαχείριση, διανομή και

αποθήκευση πετρελαίου, δηλαδή στις βιομηχανικές μονάδες, στα πρατήρια βενζίνης κ.ά.

Γενικά οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν πολλές χρήσεις στη βιομηχανία. Το βενζόλιο συναντάται κυρίως ως συστατικό της βενζίνης. Ενώ παλιότερα χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα ως διαλύτης, πλέον τείνει να εκλείψει η χρήση. Ωστόσο έχει παραμείνει σε επιστημονικά εργαστήρια, παραγωγή υποδημάτων και τεχνητού δέρματος, απολιπαντικά και ελαστικά υλικά. Επιπρόσθετα θα πρέπει να αναφερθεί και το κάπνισμα ως πηγή προέλευσης βενζολίου.

Οι επιπτώσεις της έκθεσης σε βενζόλιο στην ανθρώπινη υγεία ποικίλουν αναλογικά με το ποσοστό της έκθεσης, είτε πρόκειται για εργάτες που εκτίθενται στο χώρο εργασίας είτε για το γενικό πληθυσμό. Όταν εισπνέεται προκαλεί ζάλη, πονοκέφαλο, ταχυκαρδία, αναισθησία, τάση προς εμετό, αιμορραγία και φλεγμονή των πνευμόνων, εγκεφαλικό οίδημα και μπορεί να οδηγήσει και σε θάνατο. Η μακροχρόνια έκθεση αφορά κυρίως εργάτες σε διυλιστήρια, σε χημικά προϊόντα, υποδήματα και άλλες βιομηχανίες. Καταστρέφει το μυελό των οστών και μπορεί να προξενήσει αναιμία, λευκοπενία, θρομβοπενία. Θεωρείται καρκινογόνος ένωση και οδηγεί σε μυελογενή λευχαιμία (Αλεξόπουλος, 2002).

Μόλυβδος (Pb): είναι ένα χημικό μεταλλικό στοιχείο το οποίο χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο από τα αρχαία χρόνια. Ανήκει στην ομάδα των βαρέων μετάλλων, έχει μαλακή υφή και συναντάται σε πολλά μεταλλεύματα ως παραπροϊόν. Χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης ως αντικροτικό συστατικό στα καύσιμα οχημάτων. Αυτή η υπερβολική χρήση είχε ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση μόλυβδου στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με έρευνες τα σωματίδια μόλυβδου με μικρό όγκο έχουν την ικανότητα να ταξιδεύουν ακόμα και σε άλλη ήπειρο με τη βοήθεια του ανέμου (Harrison & Laxen, 1981).

Οι συγκεντρώσεις μόλυβδου στον αέρα, το έδαφος, το νερό αλλά και τα τρόφιμα των τελευταίων δεκαετιών, συγκριτικά με τη φυσική συγκέντρωση έχει αυξηθεί μέχρι και 10.000 φορές. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις συγκεντρώσεων παρατηρούνται σε αστικές περιοχές. Για παράδειγμα στον αέρα αστικής περιοχής η συγκέντρωση μόλυβδου μπορεί να είναι 100-10.000 φορές μεγαλύτερη από τη φυσική συγκέντρωση, ενώ σε αγροτική περιοχή να είναι 10-1.000 φορές μεγαλύτερη. Επίσης σε σύγκριση με άλλους ρυπαντές παραμένει στο περιβάλλον για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καθώς δεν αποικοδομείται μικροβιακά ενώ έχει και χαμηλή διαλυτότητα.

Προέρχεται με φυσικό τρόπο από την αποσάθρωση των βράχων, την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι κυριότερες πηγές είναι ανθρωπογενείς. Χρησιμοποιείται ως συστατικό στις μπαταρίες, τα χρώματα, σε επικαλύψεις καλωδίων, χημικές ουσίες, οικοδομικά και υδραυλικά υλικά, εκρηκτικά ενώ παράγεται και κατά την εξόρυξη μεταλλευμάτων. Τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί το ποσοστό έκλυσης

μόλυβδου από τα οχήματα καθώς έχει καταργηθεί η χρήση του ως αντικροτικό στη βενζίνη και πλέον χρησιμοποιείται αμόλυβδη βενζίνη για τις μεταφορές.

Οι επιπτώσεις του μόλυβδου στους φυτικούς και στους ζωικούς οργανισμούς είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς αποτελεί ένα από τα πιο τοξικά στοιχεία στη φύση. Στα φυτά απορροφάται από τα τριχίδια στις ρίζες τους και στη συνέχεια εισέρχεται στα κυτταρικά οργανίδια όπως πυρήνας και μιτοχόνδρια (Jones et al., 1982). Ο μόλυβδος προκαλεί βλάβες στη φωτοσύνθεση, τη μίτωση, την πρόσληψη νερού και οδηγεί σε προβλήματα όπως μικροφυλλία, νεκρώσεις, μαυρισμένες ρίζες κ.ά. Η τοξικότητα του μόλυβδου στους ζωικούς οργανισμούς καταστέλλει διάφορες ενζυμικές λειτουργίες. Το βασικότερο παράδειγμα είναι η παρεμπόδιση βιοσύνθεσης της αίμης το οποίο έχει σαν επακόλουθο τη μείωση της συγκέντρωσης της αιμοσφαιρίνης και του χρόνου ζωής των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Αυτές οι επιπτώσεις έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση αναιμίας. Γενικότερα προβλήματα σε περίπτωση χρόνιας δηλητηρίασης είναι τα εξής: τύφλωση, αναιμία, ανορεξία, αιμορραγία, απώλεια συντονισμού, βλάβη στα νεφρά και στον εγκέφαλο, μαθησιακές δυσκολίες κ.λπ. ενώ σε γυναίκες συχνά προκαλούνται αποβολές και γεννήσεις νεκρών εμβρύων (Ζάνης, 2014).



Εικόνα 11. Δηλητηριασμένο φλαμίνγκο έπειτα από κατάποση μολύβδινων σκαγιών, ανακτήθηκε από https://www.thermisnews.gr/2021/02/blog-post_228.html (27/6/2022)

Κάδμιο (Cd): πρόκειται για ένα βαρύ τοξικό μέταλλο, μαλακό στην υφή με ασημί-γαλάζιο χρώμα. Είναι σπάνιο μέταλλο και ανακαλύφθηκε σχετικά πρόσφατα το 1818

από το Γερμανό χημικό Φρίντριχ Στρομέγερ. Τα ποσοστά του καδμίου στο περιβάλλον έχουν παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια ραγδαία αύξηση λόγω των ανθρώπινων διεργασιών.

Οι φυσικές πηγές του καδμίου είναι το υποκείμενο πέτρωμα του εδάφους. Παράγεται κυρίως ανθρωπογενώς σε βιομηχανίες σιδήρου και σιδηρομεταλλευμάτων και μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων, από τα λάστιχα των οχημάτων και φωσφορικά λιπάσματα. Αποτελεί συστατικό των μπαταριών νικελίου-καδμίου, των χρωμάτων και των σταθεροποιητικών στα πλαστικά.

Οι φυτικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν το κάδμιο και από τις ρίζες και από το φύλλωμα. Τους προκαλεί προβλήματα στην ανάπτυξη και μικροφυλλία, εμφανίζεται καρούλιασμα στα φύλλα και καστανοί χρωματισμοί. Ωστόσο σε πολλά φυτά όπως το μαρούλι και το σπανάκι, τα οποία προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, δεν εμφανίζουν κανένα σύμπτωμα ενώ μπορούν να περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις καδμίου.

Στον άνθρωπο φθάνει κυρίως μέσω της διατροφής σε μικρές συγκεντρώσεις και συσσωρεύεται στους νεφρούς και το συκώτι. Η ύπαρξή του στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει χρόνια προβλήματα στους πνεύμονες, το συκώτι, τα νεφρά και τα οστά. Έχει κατηγορηθεί επίσης ότι συμβάλλει στην εμφάνιση καρκίνου του προστάτη και των πνευμόνων. Σε περίπτωση εισπνοής οξειδίων του καδμίου προκαλείται οξεία δηλητηρίαση με σοβαρά συμπτώματα όπως δύσπνοια, βήχα, αίσθημα καύσου, πνευμονικό οίδημα το οποίο μπορεί να οδηγήσει και στο θάνατο (Papaveriou et al., 2000).

Νικέλιο (Ni): είναι ένα ανθεκτικό και υψηλής σκληρότητας μέταλλο, έχει χρώμα ασημί-λευκό και συνδυάζεται εύκολα με το μεταλλικό σίδηρο και το χαλκό. Δεν συναντάται στη φύση σε μεταλλική μορφή, αλλά ως άλας ή σε μορφή οξειδίου. Το νικέλιο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό απέναντι στην οξείδωση και τη διάβρωση και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για τη δημιουργία κραμάτων ανοξειδωτού χάλυβα.

Οι φυσικές πηγές του νικελίου είναι η αποσάθρωση και η διάβρωση των ορυκτών και των πετρωμάτων. Από την άλλη οι ανθρωπογενείς πηγές είναι ποικίλες. Στη χημεία χρησιμοποιείται ως καταλύτης. Ωστόσο η χρήση του γίνεται κατά κύριο λόγο στη βιομηχανία. Αποτελεί συστατικό των μπαταριών νικελίου-καδμίου, χρησιμοποιείται σε μαγνητικά υλικά, ηλεκτρικό εξοπλισμό, ναυπηγία. Τα κράματα νικελίου χάρη στην αντοχή τους, χρησιμοποιούνται στον ιατρικό εξοπλισμό αλλά και στον εξοπλισμό της κουζίνας. Τα τελευταία χρόνια έχει εξελιχθεί σε σημαντικό ρύπο εξαιτίας της υπέρμετρης χρήσης γαιανθράκων και επεξεργασίας μετάλλου.

Σε μικρές συγκεντρώσεις στα φυτά θεωρείται ευεργετικό, όταν όμως βρίσκεται σε μεγάλη συγκέντρωση είναι τοξικό. Επηρεάζει κατά κύριο λόγο την ανάπτυξή τους.

Επιπρόσθετα επιδρά αρνητικά στη φωτοσύνθεση, την κυτταρική αναπνοή και τη διαδικασία κυτταρικής διαίρεσης. Όσον αφορά τις επιπτώσεις του νικελίου στον άνθρωπο, αυτές κυμαίνονται αναλογικά με το χρόνο επαφής αλλά και το είδος του κράματος νικελίου. Η συχνή επαφή με το νικέλιο μπορεί να προκαλέσει από αλλεργική αντίδραση ήπιας φάσης, μέχρι σοβαρό ερεθισμό, έγκαυμα και δερματίτιδα. Σε περίπτωση εισπνοής του μετάλλου προκαλείται ερεθισμός της αναπνευστικής οδού και των ματιών, βλάβες σε ήπαρ και νεφρά μέχρι και καρκίνο. Ωστόσο υπάρχουν ενώσεις νικελίου, όπως το καρβονύλιο του νικελίου, το οποίο είναι αποδεδειγμένα τοξικό, καρκινογόνο και οδηγεί σε θάνατο ακόμη και η εισπνοή του. Σε γενικές γραμμές η κατάποση μικρής ποσότητας νικελίου από τον άνθρωπο δεν μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην υγεία του. Σε μεγαλύτερες ποσότητες και σε μορφή ατομικού νικελίου είναι τοξικό. Η συνηθέστερη όμως μορφή του νικελίου είναι ως κράμα σε οικιακά σκεύη και μαχαιροπήρουνα τα οποία θεωρούνται απολύτως ασφαλή.

Αρσενικό (As): ανήκει στα μεταλλοειδή, διαθέτει μεταλλικό γκρίζο χρώμα και υπάρχει σε αφθονία στο φλοιό της γης. Αποτελεί συστατικό σε πάνω από 200 ορυκτά. Επίσης έχει ανιχνευθεί σε πόσιμο νερό σε χώρες όπως Ινδία, Χιλή, Μπαγκλαντές και Κίνα.

Ο βασικότερος τρόπος ρύπανσης υδάτων και εδάφους με αρσενικό είναι ανθρωπογενής και είναι η εξόρυξη ορυκτών. Καθώς το αρσενικό αποτελεί συστατικό του μόλυβδου, του χαλκού, του ψευδαργύρου και του χρυσού, κατά την εξόρυξή τους γίνεται και ρύπανση του περιβάλλοντος. Ιδιαίτερος στην περίπτωση του χρυσού ο οποίος αποτελεί ένα από τα πιο εμπορεύσιμα υλικά στον κόσμο, η εξόρυξη είναι αλόγιστη και με δυσκολία μπορεί να ελεγχθεί με δραματικά αποτελέσματα για την υγεία. Για παράδειγμα, σε μελέτες που έχουν γίνει σε περιοχές της Ινδίας, το νερό στην αρχή του δικτύου έχει περιεκτικότητα αρσενικού 3 mg/l, ενώ στο τέλος του δικτύου έφθανε τα 130 mg/l (Himwood et al., 1998). Εκτός από τις εξορύξεις η υπέρμετρη χρήση εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων την περίοδο του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα οδήγησε στη ρύπανση του εδάφους, των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων με πολλούς ρυπαντές που περιέχουν και αρσενικό.

Οι επιπτώσεις του αρσενικού στα φυτά είναι κοινές με τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα. Σε μικρές συγκεντρώσεις μπορεί να έχει ευεργετικό χαρακτήρα για αυτά, ενώ σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί βλάβες στην ανάπτυξη, στην παραγωγή καρπών κ.ά. Όσον αφορά τις επιπτώσεις που έχει στον άνθρωπο, το αρσενικό αποτελεί ένα από τα πιο βλαβερά στοιχεία για τη δημόσια υγεία. Μέσα από μελέτες έχει χαρακτηριστεί ως καρκινογόνος ουσία και είναι υπεύθυνο για τον καρκίνο του δέρματος, του πνεύμονα, της ουροδόχου κύστης, του προστάτη και του ήπατος. Η χρόνια έκθεση σε αρσενικό ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις προκαλεί δυσλειτουργίες στο διαβήτη, στο νευρικό σύστημα, στην καρδιά και στο αναπαραγωγικό σύστημα (Young, 2014).

Βενζο(α)πυρενιο: είναι οργανική χημική ένωση ανήκει στους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες και αποτελείται από συμπυκνωμένους βενζολικούς δακτυλίους. Σχηματίζεται από κορεσμένους υδρογονάνθρακες σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, κατά τη διαδικασία πυρόλυσης ή ατελούς καύσης. Βρίσκεται υπό μορφή υδρατμών ή σωματιδίων.

Φυσικές πηγές εκπομπής βενζο(α)πυρενίου είναι οι δασικές πυρκαγιές και τα ηφαίστεια. Ανθρωπογενώς προέρχονται από τη βιομηχανία και κυρίως την παραγωγή αλουμινίων και επεξεργασία ξύλου. Τα πετρελαιοκίνητα οχήματα αποτελούν επίσης βασική πηγή του συγκεκριμένου υδρογονάνθρακα. Γενικά η διαχείριση πετρελαίου όπως διύλιση, παραγωγή κωκ, χαλυβουργία αλλά και η αποτέφρωση απορριμμάτων εκλύουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες αρωματικών υδρογονανθράκων.

Εξαιτίας της περιβαλλοντικής ρύπανσης αλλά και διαφόρων διαδικασιών διαχείρισης τροφίμων, το βενζο(α)πυρένιο μπορεί να βρεθεί και σε τρόφιμα. Τέτοιες διαδικασίες περιλαμβάνουν συνήθως καπνισμό και αποξήρανση. Λόγω της τοξικότητας των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων τα θεσμοθετημένα όρια είναι αρκετά αυστηρά.

Αποτελεί ισχυρή καρκινογόνο ουσία. Συγκεκριμένα το βενζο(α)πυρένιο είναι μια προ-καρκινογόνος ουσία η οποία έπειτα από την είσοδο στον οργανισμό οξειδώνεται δημιουργώντας προϊόντα εξαιρετικά τοξικά για την υγεία καθώς αλλοιώνουν το DNA. Μέσω της διατροφής προκαλούνται καρκίνοι στο πεπτικό σύστημα και στην ουροδόχο κύστη. Από την επαφή με λιθανθρακόπισσα και πετρελαιοειδή εμφανίζεται καρκίνος στο δέρμα, ενώ μέσω της αναπνοής (κάπνισμα, καυσάερια οχημάτων) προκαλείται καρκίνος στους πνεύμονες, το όσχεο και την ουροδόχο κύστη.

Θεσμικό πλαίσιο για τους κυριότερους ρυπαντές

Στην Ελλάδα ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους εξής ρύπους: αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ_{2,5} και ΑΣ₁₀), διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, όζον, βενζόλιο, μόλυβδος, βενζο(α)πυρένιο, αρσενικό, νικέλιο και κάδμιο. Τα συγκεκριμένα όρια έχουν καθιερωθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχουν ως στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας αλλά και του οικοσυστήματος.

Η νομοθεσία που αφορά στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι η ακόλουθη:

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (ΚΥΑ ΗΠΙ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11).

- Οδηγία 2004/107/EK σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠΙ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).
- Οδηγία 2015/1480/EK για την τροποποίηση ορισμένων παραρτημάτων των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2004/107/EK και 2008/50/EK, οι οποίες ορίζουν τους κανόνες σχετικά με τις μεθόδους αναφοράς, την επικύρωση των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ΚΥΑ 174505/607, ΦΕΚ 1311Β/13.4.17).
- ΚΥΑ 70601 (ΦΕΚ 3272Β/23.12.13), Βραχυπρόθεσμα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια.
- Κ.Υ.Α 11824 (ΦΕΚ 369Β/24.5.93), Έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της πρωτεύουσας, όπως ισχύει κατόπιν τροποποίησής της με την ΚΥΑ ΗΠΙ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11.

Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας

Από την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν νομοθετηθεί ορισμένα όρια για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους ούτως ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα του αέρα. Τα όρια αυτά ισχύουν και στην Ελλάδα και αφορούν τους εξής ρύπους: όζον, διοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια, μόλυβδο και βενζόλιο. Βασικός στόχος αυτών των ορίων είναι η βελτίωση του περιβάλλοντος και της υγείας των πολιτών μέσω μέτρων πρόληψης ή διορθωτικών μέτρων.

Αναφορικά με την ποιότητα του αέρα παραθέτονται οι εξής ορισμοί, βάση της οδηγίας 2005/0183 υποβληθείσα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στις 21/09/2005:

- Οριακή τιμή: το επίπεδο που πρέπει να επιτευχθεί εντός συγκεκριμένης προθεσμίας και χωρίς υπερβάσεις, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να περιορίζονται οι επιζήμιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.
- Περιθώριο ανοχής: το ποσοστό της οριακής τιμής κατά το οποίο επιτρέπεται να γίνεται υπέρβασή της, σύμφωνα πάντα με τους όρους της παραπάνω οδηγίας.
- Όριο συναγερμού: το επίπεδο άνω του οποίου υπάρχει σημαντικός κίνδυνος για την υγεία και κατά την αναφορά του το κράτος υποχρεούται να λάβει άμεσα μέτρα.

Ρύπος	Οριακή Τιμή	Περιθώριο Ανοχής	Όριο συναγερμού
Διοξείδιο του θείου	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται πάνω από 24 φορές το χρόνο	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 500 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες
	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται πάνω από τρεις φορές το χρόνο	
Διοξείδιο του αζώτου	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ωριαία τιμή, να μην υπερβαίνεται πάνω από 18 φορές το χρόνο	Ωριαία τιμή μεγαλύτερη από 400 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ για τρεις συνεχόμενες ώρες
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ετήσια τιμή	
Αιωρούμενα σωματίδια (PM ₁₀)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ημερήσια τιμή, να μην υπερβαίνεται πάνω από 35 φορές το χρόνο	
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ετήσια τιμή	
Αιωρούμενα σωματίδια (PM _{2.5})	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ετήσια τιμή	
Μονοξείδιο του άνθρακα	10 mg/m^3	Μέγιστη ημερήσια οκτάωρη τιμή	
Μόλυβδος	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ετήσια τιμή	
Βενζόλιο	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ετήσια τιμή	
Βενζο(α)πυρένιο	1 ng/m^3	Μέση ετήσια τιμή	
Όζον	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέγιστη ημερήσια μέση οκτάωρη τιμή, να μην υπερβαίνεται περισσότερο από 25 φορές το χρόνο κατά μέση τιμή για διάστημα 3 ετών	Μέση ωριαία τιμή 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 1. Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας

Τρόποι μέτρησης των ρυπαντών

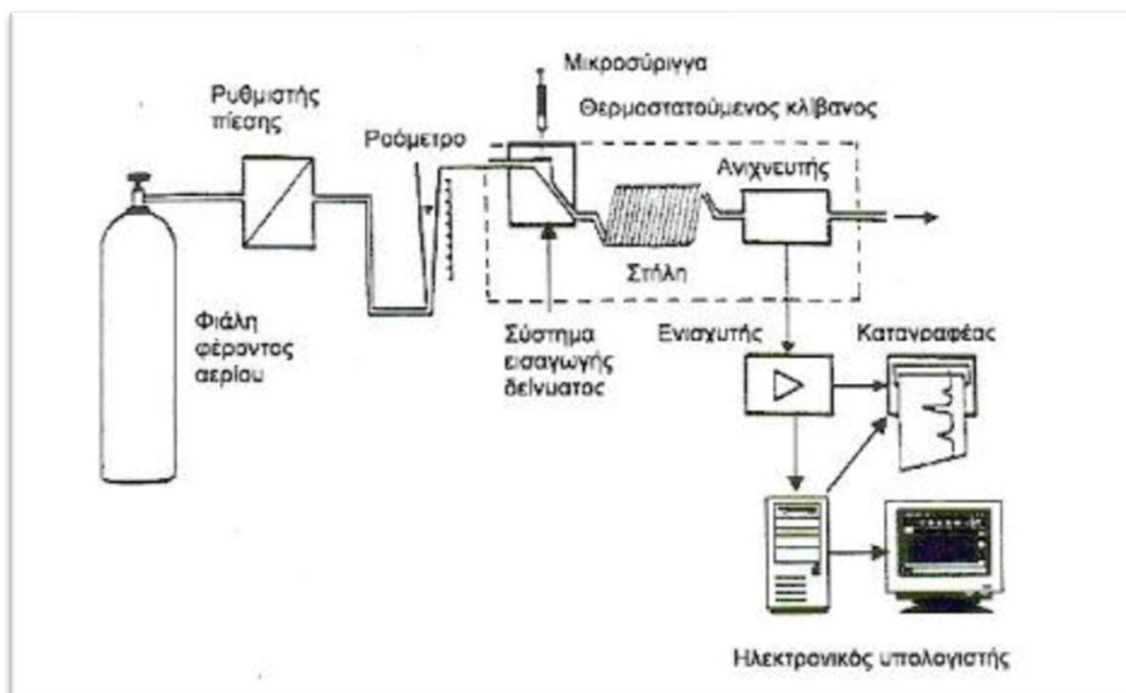
Χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας υπάρχει πληθώρα μεθόδων και οργάνων για τη μέτρηση και την παρακολούθηση των αέριων ρυπαντών. Η μέτρηση είναι συνεχής σε όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου. Κάθε αυτόματος αναλυτής έχει χρόνο απόκρισης περίπου ένα λεπτό. Σε κάθε αυτόματο σταθμό βρίσκεται μαζί με τον αναλυτή συνδεδεμένος ένας μικροεπεξεργαστής, ο οποίος υπολογίζει κάθε ώρα τις μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Μέσω τηλεφωνικής γραμμής οι μέσες ωριαίες τιμές αποστέλλονται στον κεντρικό υπολογιστή με σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση και τη διασφάλιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρούμενοι ρύποι και οι διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται.

Ρύπος	Μέθοδος Μέτρησης
CO	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
NO	Χημειοφωταύγεια
NO ₂	Χημειοφωταύγεια
SO ₂	Φθορισμομετρία
O ₃	Απορρόφηση στο υπεριώδες
PM _{2.5}	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
PM ₁₀	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Benz	Αέρια χρωματογραφία (GC)

Πίνακας 2. Μέθοδοι μέτρησης αέριων ρυπαντών

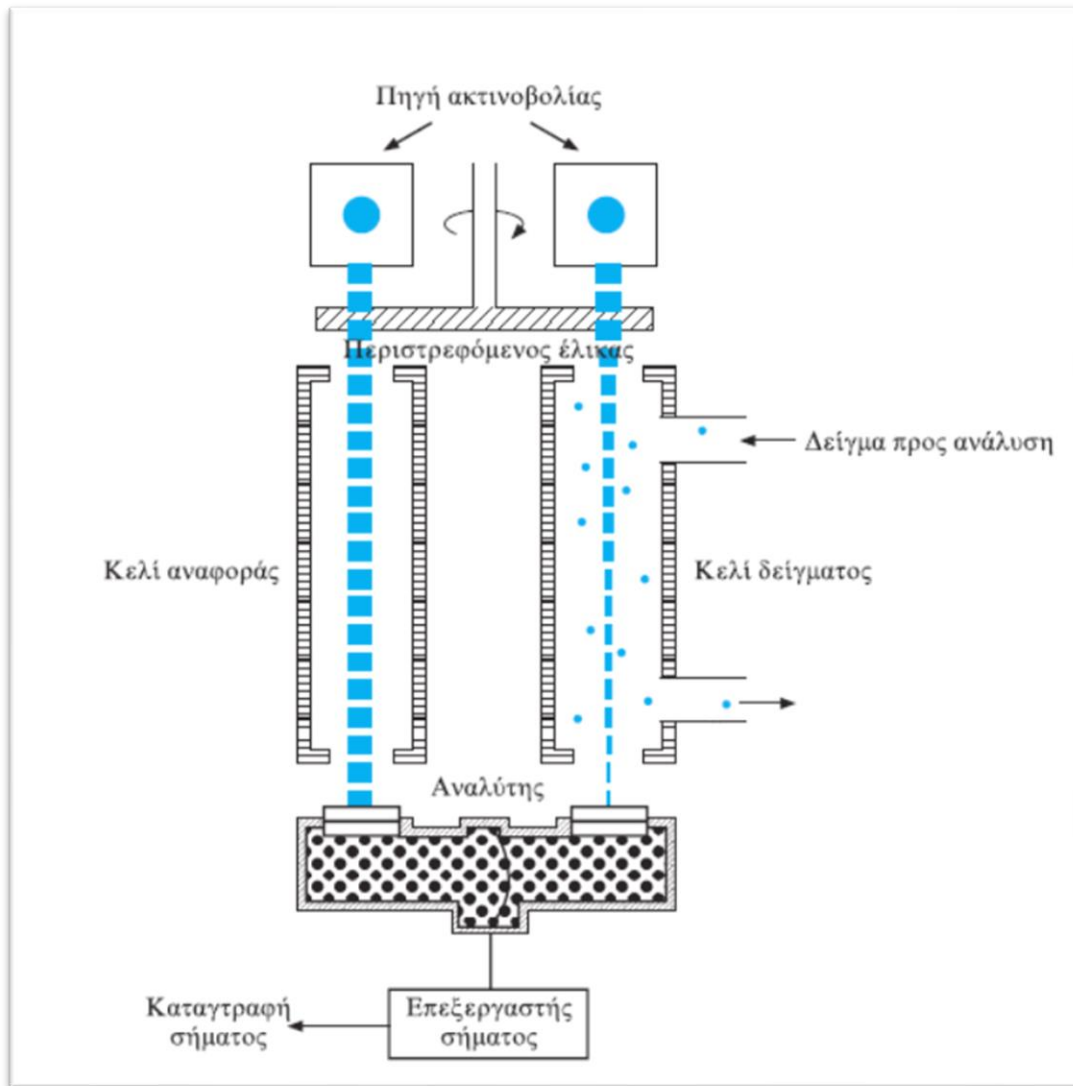
Αέρια χρωματογραφία: χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και το διαχωρισμό των υδρογονανθράκων (Xie et al., 2003). Η λειτουργία της παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 12. Σχηματική διάταξη αέριας χρωματογραφίας (Πηγή Κόκκινος 2009)

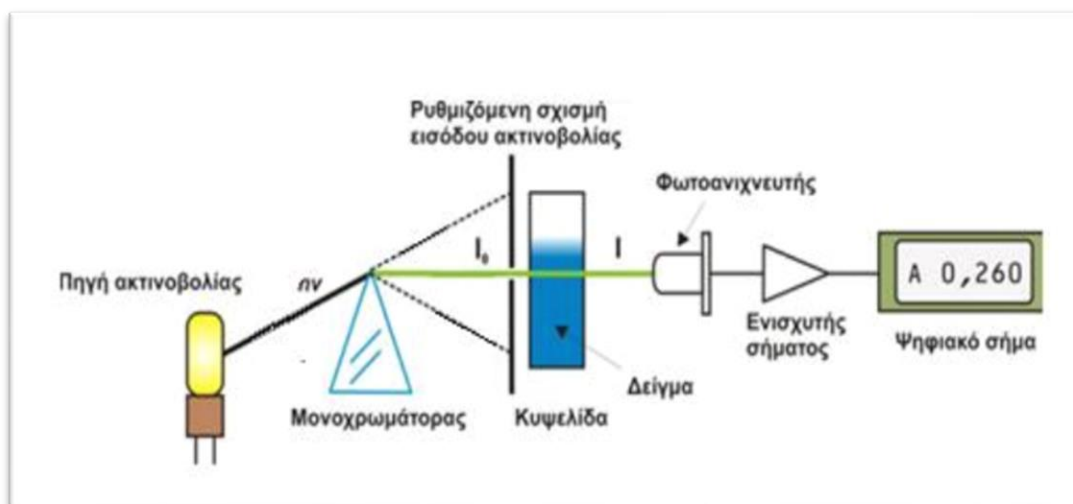
Στη φιάλη φέροντος αερίου χρησιμοποιείται συνήθως άζωτο, ήλιο, υδρογόνο και αργό. Η φιάλη αυτή είναι υψηλής πίεσης και από εκεί οδηγείται στη στήλη. Έπειτα εισάγεται το δείγμα αέρος μέσω της βαλβίδας εισαγωγής. Τα συστατικά του δείγματος συμπαρασύρονται με το φέρον αέριο και διαχωρίζονται. Τα επιμέρους κλάσματα ανιχνεύονται από τον ανιχνευτή, καταγράφονται και αποστέλλονται στον κεντρικό υπολογιστή (Κόκκινος, 2009).

Απορρόφηση στο υπέρυθρο: βασίζεται στη μη-σκεδαζόμενη υπέρυθρη φωτομετρία και στην αρχή της επιλεκτικής απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το μονοξείδιο του άνθρακα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στο δείγμα, πραγματοποιείται μέσω της εξασθένησης της ακτινοβολίας που εκπέμπεται λόγω απορρόφησης από το μονοξείδιο του άνθρακα. Υπάρχει μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, ένας περιστρεφόμενος έλικας, ένα κελί για το δείγμα, ένα κελί αναφοράς και ένας ανιχνευτής. Το κελί αναφοράς είναι εφοδιασμένο με συγκεκριμένο αέριο αναφοράς το οποίο δεν απορροφά στο υπέρυθρο ενώ στο κελί δείγματος διαχέεται ο προς ανάλυση ατμοσφαιρικός αέρας. Ο ανιχνευτής χωρίζεται σε δύο τμήματα, τα οποία περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα, με μια ελαστική μεμβράνη. Λόγω κίνησης της μεμβράνης αλλάζει η ηλεκτρική χωρητικότητα στο κύκλωμα ελέγχου. Έπειτα αυτή η αλλαγή καταγράφεται.



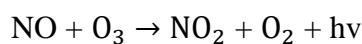
Εικόνα 13. Μη-σκεδαζόμενη υπέρυθρη φωτομετρία (Πηγή Ζάνης 2014)

Απορρόφηση στο υπεριώδες: αυτή η μέθοδος βασίζεται στην αρχή απορρόφησης συγκεκριμένου μήκους κύματος υπεριώδους ακτινοβολίας (253,7 nm) από το όζον. Χρησιμοποιείται ένα αέριο αναφοράς το οποίο αποτελεί τμήμα του προς εξέταση αερίου απαλλαγμένο από όζον. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του όζοντος γίνεται μέσω της μέτρησης της εξασθένησης της προσπίπτουσας στο δείγμα ακτινοβολίας. Στα θετικά αυτής της μεθόδου είναι η μεγάλη ευαισθησία με δυνατότητα ανίχνευσης πολύ μικρές συγκεντρώσεις μάζας, η μεγάλη ταχύτητα λήψης αποτελεσμάτων ενώ παρέχει πληροφορίες για την ποιότητα, την ποσότητα αλλά και τη δομή της ύλης που εξετάζεται. Ωστόσο υπολείπεται ακρίβειας συγκριτικά με άλλα όργανα μέτρησης, ενώ απαιτείται και πρότυπο διάλυμα κατά τη βαθμονόμησή του (Κόκκινος, 2008).

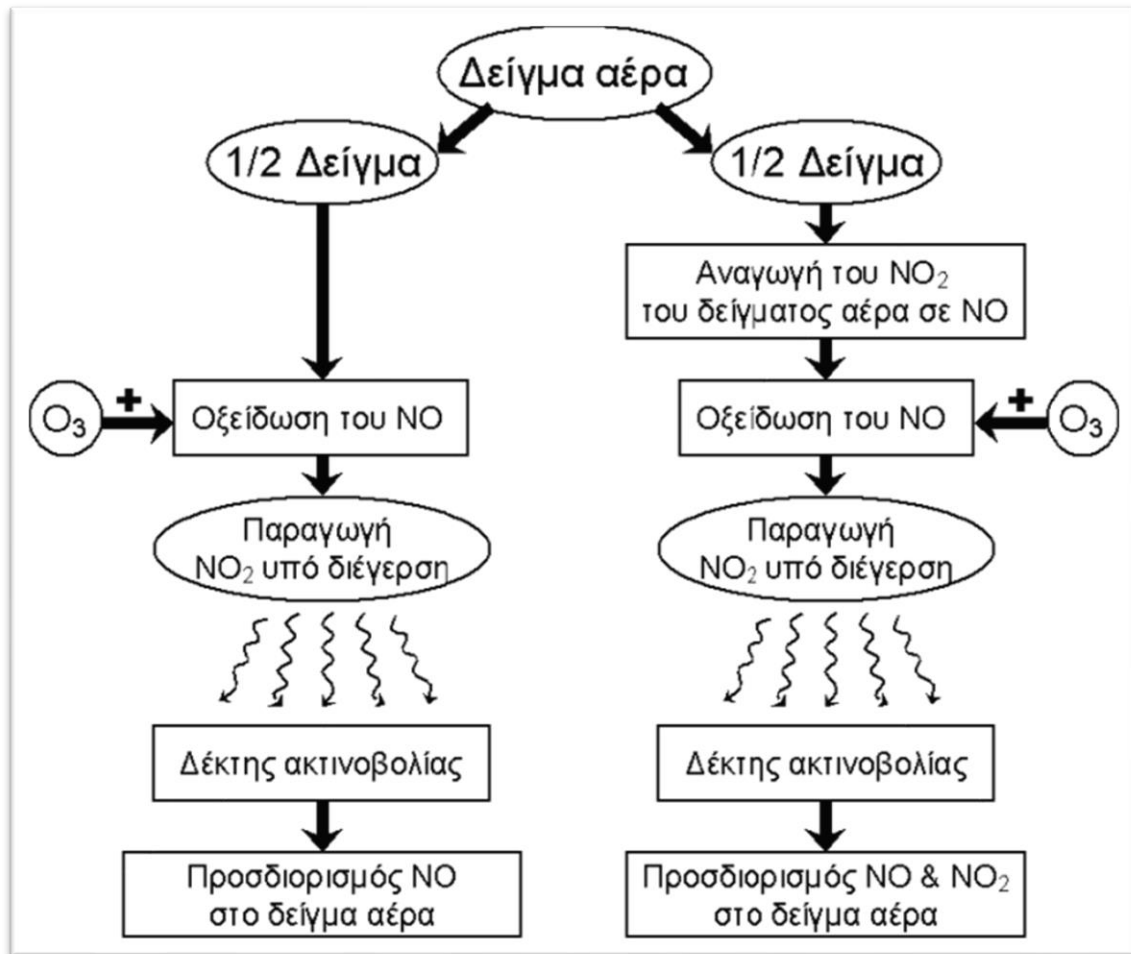


Εικόνα 14. Διάταξη φασματοφωτόμετρου υπεριώδους (Πηγή Ζάνης 2014)

Χημειοφωταύγεια: χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης οξειδίων του αζώτου. Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται μια ποσότητα όζοντος. Σε ένα εξεταζόμενο δείγμα που περιέχει μονοξείδιο του αζώτου προστίθεται μεγάλη ποσότητα όζοντος. Τα δύο χημικά στοιχεία αντιδρούν και παράγουν διοξείδιο του αζώτου και οξυγόνο ενώ εκλύεται φως.



Το φως που παράγεται υπολογίζεται από φωτοανιχνευτή και είναι ανάλογο της ποσότητας μονοξειδίου του αζώτου στο δείγμα. Για τη μέτρηση οξειδίων του αζώτου, το διοξείδιο του αζώτου ανάγεται σε μονοξείδιο του αζώτου και μετράται το σύνολο των οξειδίων ως μονοξείδιο του αζώτου.

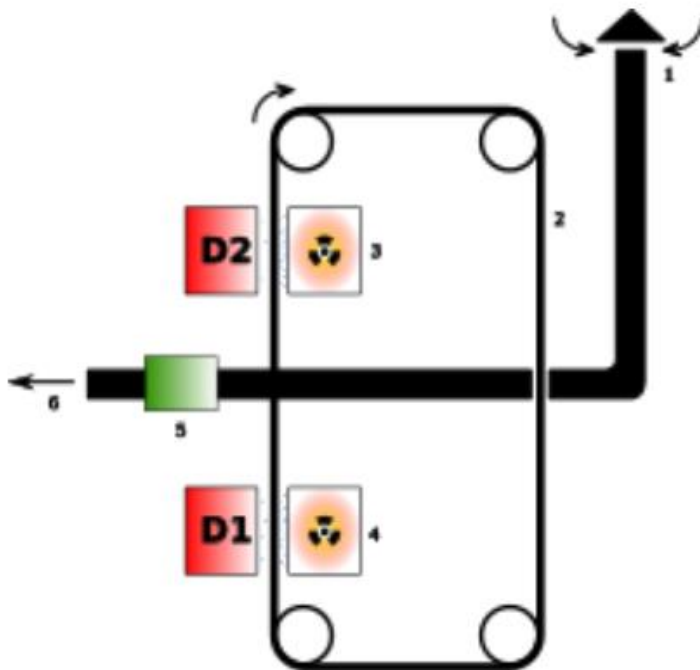


Εικόνα 15. Η αρχή της χημειοφωταύγειας στην οποία βασίζεται η μέτρηση οξειδίων του αζώτου (Πηγή Ζάνης 2014)

Φθορισμομετρία: αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τη συνεχή αυτοματοποιημένη μέτρηση συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου. βασίζεται στην αρχή του φθορισμού από υπεριώδη ακτινοβολία (UV-fluorescence) κατά την οποία το εξεταζόμενο δείγμα ακτινοβολείται με υπεριώδεις ακτίνες (220 nm) με αποτέλεσμα τα μόρια του διοξειδίου του θείου να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Η μέτρηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου προκύπτει από τη μέτρηση της έντασης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από τα διεγερμένα μόρια διοξειδίου του θείου(φθορισμός).

Απορρόφηση β' ακτινοβολίας: στη συγκεκριμένη μέθοδο εκπέμπονται β-σωματίδια, ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια. Κατά τη μέτρηση μέσα από μια μεμβράνη, της οποίας η ικανότητα απορρόφησης έχει μετρηθεί προηγουμένως, διαχωρίζονται με διήθηση τα αιωρούμενα σωματίδια. Στη συνέχεια για τον προσδιορισμό της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων υπολογίζεται η διαφορά ικανότητας απορρόφησης της μεμβράνης πριν και μετά τη διήθηση. Ο όγκος του αέρα που διηθήθηκε συσχετίζεται

με τη μάζα των συλλεχθέντων σωματιδίων και με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο περιβάλλον.



Εικόνα 16. Τοπική διάταξη μέτρησης απορρόφησης ακτινοβολίας β (Πηγή Ζάνης 2014)



Εικόνα 17. Όργανο μέτρησης ακτινοβολίας β (Πηγή Ζάνης 2014)

Ειδικό Μέρος

Σκοπός

Στην εν λόγω εργασία σκοπός είναι να μελετηθούν τα δεδομένα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αττική την περίοδο της πανδημίας με τα προηγούμενα έτη και να συγκριθούν μεταξύ τους. Επιμέρους σκοπός της εργασίας αποτελεί η σύγκριση των διαφορετικών σταθμών μέτρησης για τις δύο διαφορετικές περιόδους. Οι υπό εξέταση περίοδοι είναι οι εξής:

- Περίοδος Α: αφορά από τον Ιανουάριο 2018 μέχρι το Μάρτιο 2020
- Περίοδος Β: αφορά από τον Απρίλιο 2020 μέχρι και τον Δεκέμβριο 2020

Μεθοδολογία

Συγκεντρώθηκαν από την επίσημη σελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, τα δεδομένα μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα οποία δημοσιοποιούνται ανά σταθμό μέτρησης, δηλαδή ανά περιοχή, κάθε πέντε χρόνια. Για την παρούσα μελέτη, συλλέχθηκαν δεδομένα για τα έτη 2018, 2019 και 2020. Οι σταθμοί οι οποίοι κρίθηκαν αντιπροσωπευτικοί και εν τέλει μελετήθηκαν είναι οι εξής: Αθηνάς, Ελευσίνας, Κορωπίου, Λιοσίων, Λυκόβρυσης, Πατησίων και Πειραιά. Ενώ οι αέριοι ρύποι που μελετήθηκαν είναι NO, NO₂, O₃, CO, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ και βενζόλιο. Οι μετρήσεις από το υπουργείο συλλέχθηκαν σε μορφή αρχείου DAT και μετατράπηκαν σε αρχείο excel για να γίνει επεξεργασία. Στη συνέχεια για τις ώρες που δεν υπήρχε μέτρηση και απεικονίζονταν με '-999' έγινε αντικατάσταση με '0' ώστε να μην επηρεαστούν οι υπολογισμοί. Στα αρχεία οι μετρήσεις ήταν ωριαίες για κάθε μέρα κάθε χρόνου. Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε έτη από 01/01/2018-31/12/2018, 01/01/2019-31/12-2019, 01/01/2020-31/12/2020. Έπειτα υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για κάθε μήνα, κάθε ρύπο και σε κάθε σταθμό μέτρησης. Από εκείνο το σημείο χωρίστηκαν οι ρύποι και συγκεντρώθηκαν τα στοιχεία συνολικά από όλους τους σταθμούς, χωρισμένα ανά μήνα με σκοπό να προκύψουν οι μέσες τιμές κάθε ρύπου ανά μήνα για κάθε έτος. Έπειτα αυτές οι τιμές μετατράπηκαν σε γραφικές παραστάσεις προκειμένου να μελετηθούν τυχόν αλλαγές στις συγκεντρώσεις την περίοδο της πανδημίας και συγκεκριμένα του εγκλεισμού.

Βαθμονόμηση των οργάνων

Η βαθμονόμηση των αυτόματων αναλυτών αερίων γίνεται ανά τακτά διαστήματα σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN ή και ISO, μετά τη συντήρηση ή την επισκευή ενός αναλυτή. Περιέχει τον έλεγχο καλής λειτουργίας τους και τη ρύθμισή τους. Για τη διαδικασία αυτή παρασκευάζεται πρότυπο αέριο με γνωστή συγκέντρωση του αντίστοιχου ρύπου με διάταξη δυναμικής αραίωσης. Συγκεκριμένα παράγεται ‘καθαρός αέρας’, δηλαδή απαλλαγμένος από τους κύριους ρύπους, αφού έχει διαβιβαστεί από φίλτρα συγκράτησης ρύπων. Έπειτα συνδέεται μια πηγή του ‘καθαρού αέρα’ και ένας κύλινδρος που περιέχει το πρότυπο αέριο με άζωτο γνωστής πρότυπης συγκέντρωσης. Τροποποιώντας την παροχή του ‘καθαρού αέρα’ και του πρότυπου αερίου παράγονται μίγματα αερίων με τους ζητούμενους ρύπους σε γνωστές συγκεντρώσεις (ΥΠΕΝ, 2021)

Σταθμοί μέτρησης

Η Δ/ση ΚΑΠΑ του ΥΠΕΝ (Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας), το 2020 λειτούργησε δεκατέσσερις σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αττικής προκειμένου να συλλεχθούν δεδομένα για το Πρόγραμμα Διασυννοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης (EMEP) (ΥΠΕΝ, 2021).

Όνομα σταθμού	Χαρακτηρισμός σταθμού	Μετρούμενοι ρύποι							
		NO ₂	NO	O ₃	CO	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	Benz
Αθηνάς	Αστικός-Κυκλοφορίας								
Αριστοτέλους	Αστικός-Κυκλοφορίας								
Γεωπονική	Περιαστικός-Βιομηχανικός								
Λιόσια	Περιαστικός-Υποβάθρου								
Λυκόβρυση	Περιαστικός-Υποβάθρου								
Μαρούσι	Αστικός-Υποβάθρου								
Νέα Σμύρνη	Αστικός-Υποβάθρου								
Πατησίων	Αστικός-Κυκλοφορίας								
Πειραιάς	Αστικός-Κυκλοφορίας								
Περιστέρι	Αστικός-Υποβάθρου								

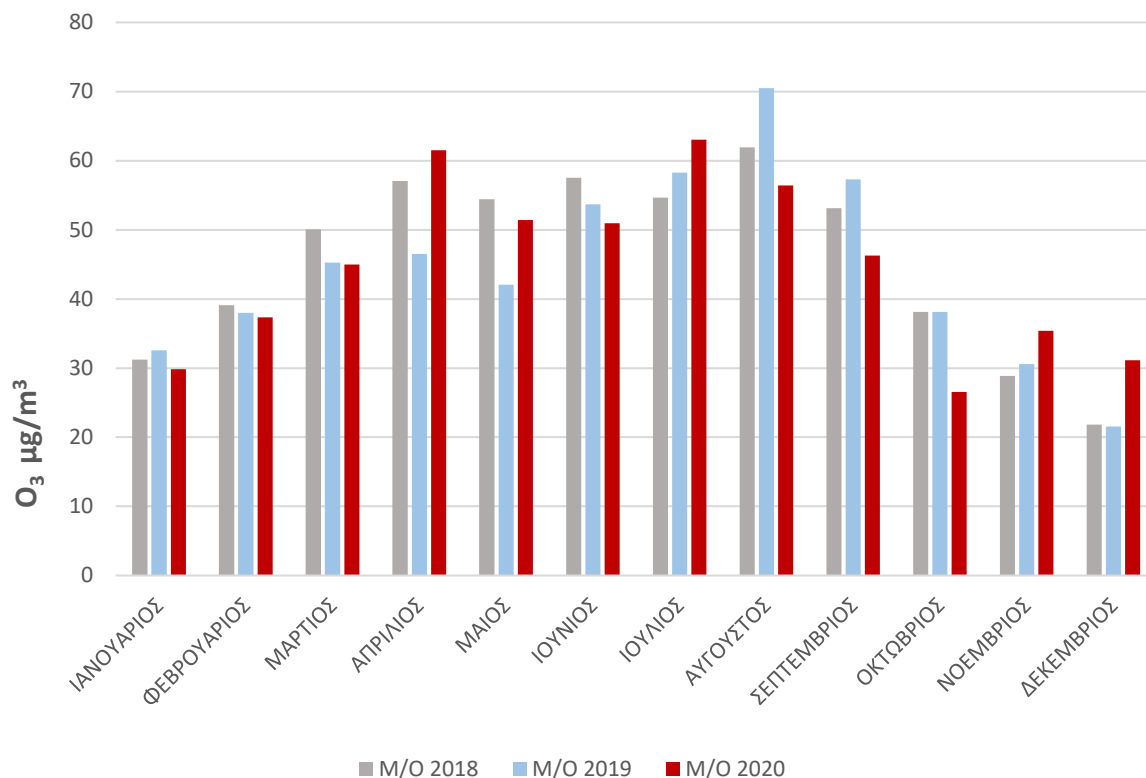
Αγ. Παρασκευή	Περιαστικός-Υποβάθρου	■	■	■	□	□	■	■	□
Ελευσίνα	Περιαστικός-Βιομηχανικός	■	■	■	□	■	□	□	□
Θρακομακεδόνες	Περιαστικός-Υποβάθρου	■	■	■	□	□	□	■	□
Κορωπί	Περιαστικός-Υποβάθρου	■	■	■	□	■	□	■	□

Πίνακας 3. Σταθμοί μέτρησης ρυπαντών στην Αττική

Αποτελέσματα

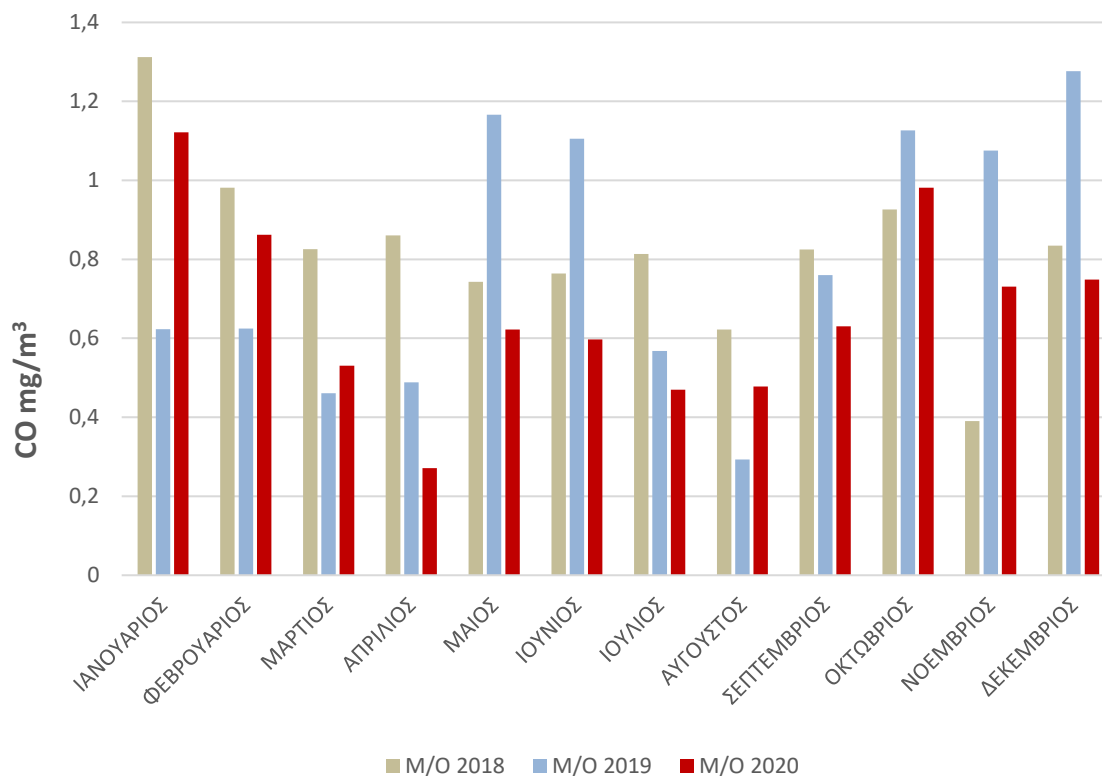
Μετρήσεις ανά ρύπο

Μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων από τους σταθμούς μέτρησης στην περιοχή της Αττικής προκύπτουν τα παρακάτω γραφήματα που οδηγούν στα ζητούμενα αποτελέσματα. Παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν ενώ παραθέτονται τα αποτελέσματα όπου παρατηρείται μείωση των ρύπων ανάμεσα στην περίοδο Α και την περίοδο Β.



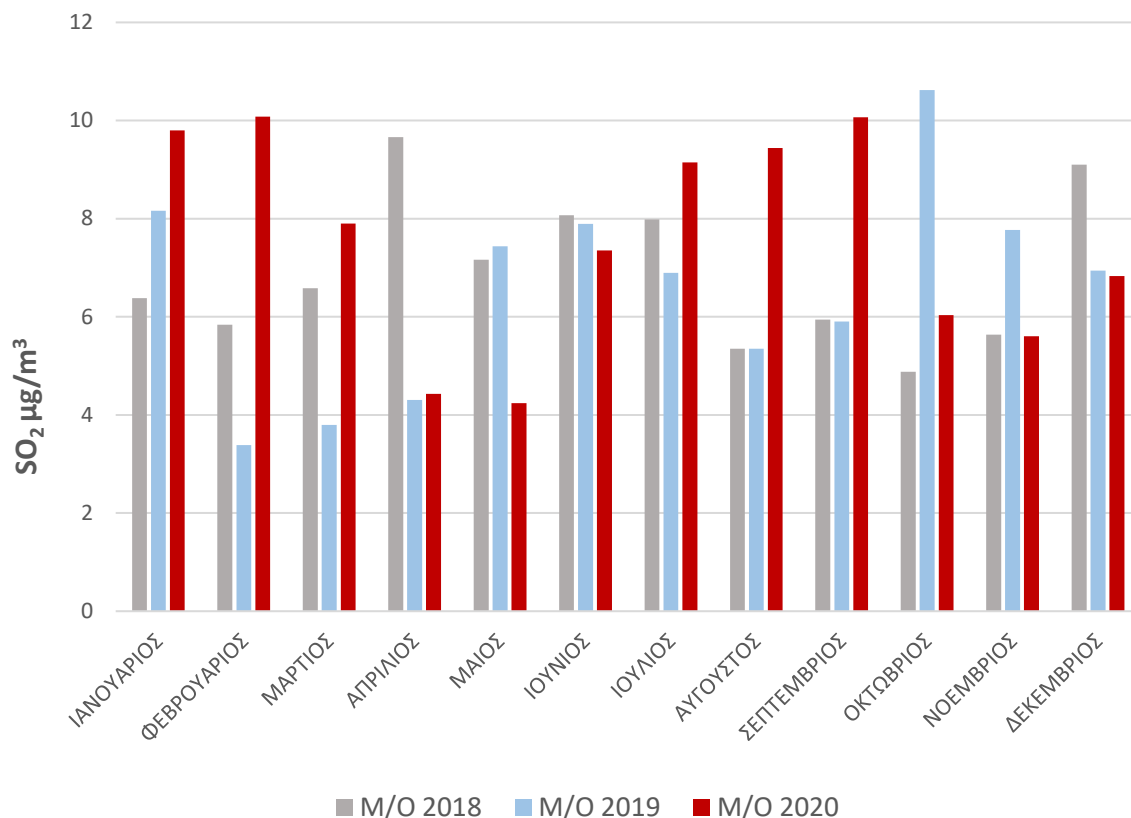
Γράφημα 1. Μέσες τιμές εκπομπών O₃ από τους σταθμούς μέτρησης στην Αττική

Όσον αφορά το όζον στο γράφημα 1 παρουσιάζονται οι καταγεγραμμένες μέσες τιμές για όλη την περιοχή της Αττικής κατά τις περιόδους Α και Β. Κατά την περίοδο Β παρατηρούνται μειωμένες τιμές σε σχέση με την περίοδο Α τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Πιο αναλυτικά τον Ιούνιο 2020 η μέση τιμή εκπομπής όζοντος έφτασε 50,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ για το 2018 και 2019 η συγκεντρώσεις έφτασαν τα 57,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 53,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Τον Αύγουστο του 2020 η μέση τιμή ήταν 56,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ το 2018 ήταν 61,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 70,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Έπειτα το Σεπτέμβριο του 2020 οι εκπομπές όζοντος έφθασαν 46,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, το 2018 ήταν 53,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 57,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Τον Οκτώβριο του 2020 η μέση τιμή συγκέντρωσης του όζοντος ήταν 26,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ το 2018 ήταν 38,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 ήταν 38,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



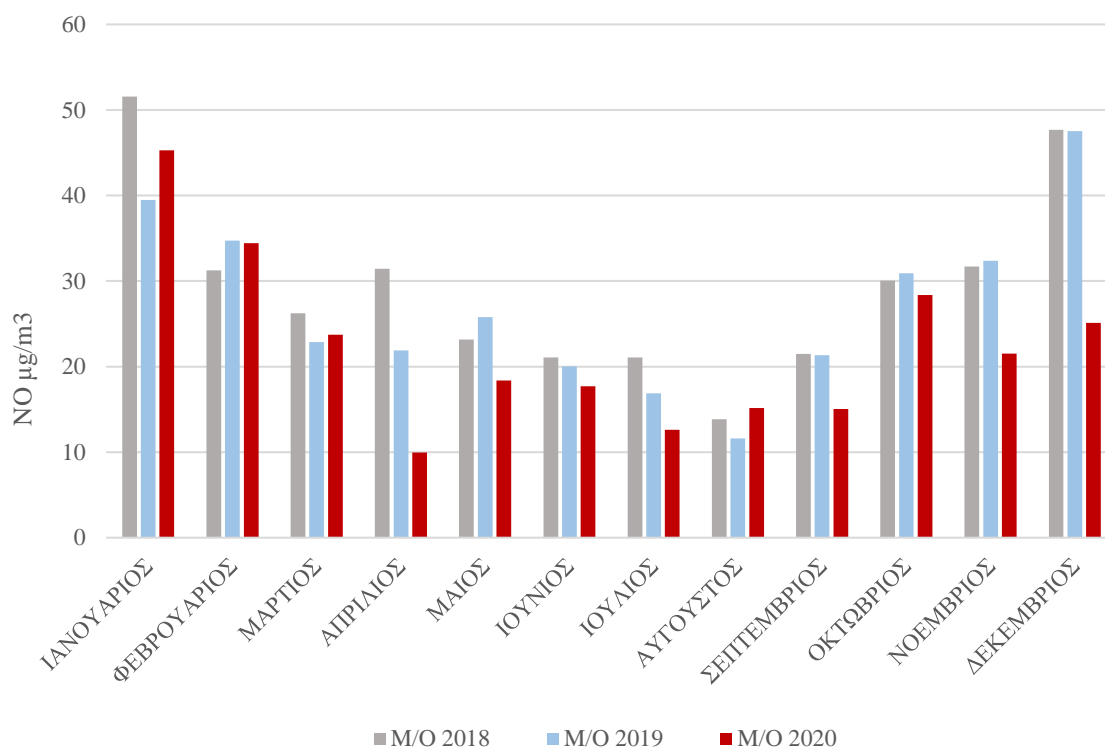
Γράφημα 2. Μέσες τιμές εκπομπών CO από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Στο γράφημα 2 υπάρχουν οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων για το μονοξείδιο του άνθρακα για τις δυο υπό εξέταση περιόδους. Παρατηρείται μείωση των εκπομπών στην περίοδο Β σε σύγκριση με την περίοδο Α τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο. Πιο αναλυτικά τον Απρίλιο του 2020 η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα έφθασε τα $0,27 \text{ mg/m}^3$ σε αντίθεση με το 2018 όπου σημειώθηκαν συγκεντρώσεις που έφθασαν τα $0,86 \text{ mg/m}^3$ και τα $0,49 \text{ mg/m}^3$ το 2019. Το Μάιο του 2020 ήταν $0,62 \text{ mg/m}^3$ ενώ του 2018 ήταν $0,74 \text{ mg/m}^3$ και το 2019 ήταν $1,17 \text{ mg/m}^3$. Στη συνέχεια για το μήνα Ιούνιο η μέση τιμή του 2020 ήταν $0,60 \text{ mg/m}^3$, το 2018 ήταν $0,76 \text{ mg/m}^3$ και το 2019 ήταν $1,10 \text{ mg/m}^3$. Οι εκπομπές τον Ιούλιο άγγιξαν τα $0,47 \text{ mg/m}^3$ το 2020, τα $0,81 \text{ mg/m}^3$ το 2018 και $0,57 \text{ mg/m}^3$ το 2019. Το Σεπτέμβριο οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα έφθασαν το 2020 τα $0,63 \text{ mg/m}^3$, το 2018 τα $0,82 \text{ mg/m}^3$ και το 2019 τα $0,76 \text{ mg/m}^3$. Τέλος το Δεκέμβριο του 2020 η συγκέντρωση του ρύπου ήταν $0,75 \text{ mg/m}^3$, το 2018 ήταν $0,83 \text{ mg/m}^3$ και το 2019 ήταν $1,28 \text{ mg/m}^3$.



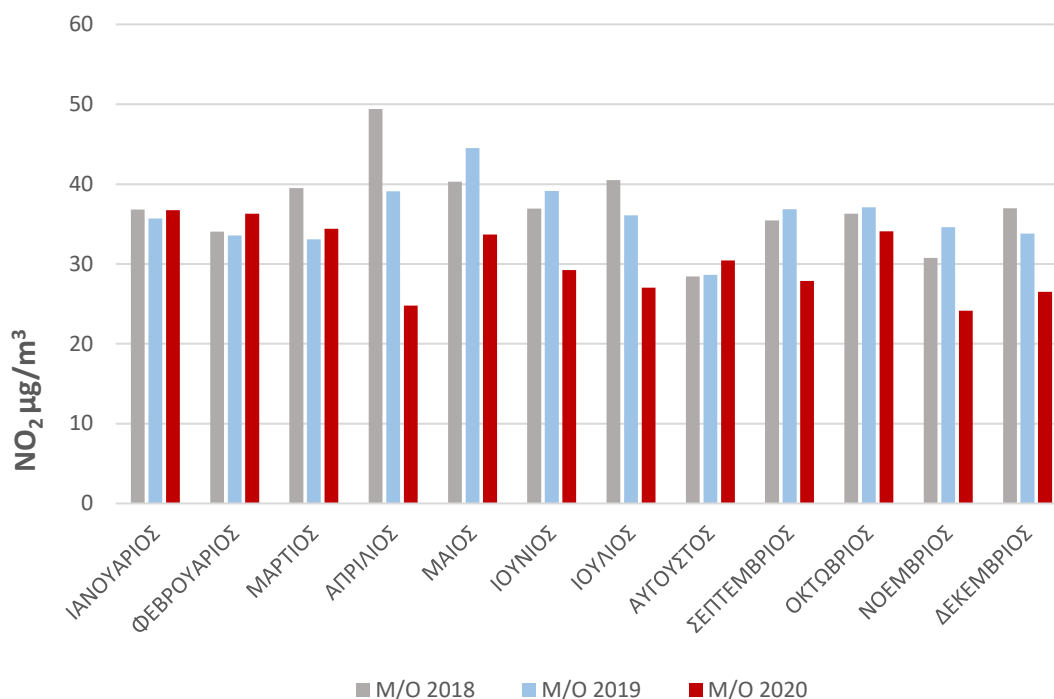
Γράφημα 3. Μέσες τιμές εκπομπών SO₂ από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Αναφορικά με το διοξείδιο του θείου, υπήρξε μείωση της συγκέντρωσής του κατά το μήνα Μάιο του 2020 και έπειτα κατά τους μήνες Νοέμβριο του 2020 και Δεκέμβριο του 2020. Σύμφωνα με το γράφημα 3 το Μάιο η συγκέντρωση διοξειδίου του θείου το 2020 ήταν 4,24 μg/m³, το 2018 ήταν 7,16 μg/m³ και το 2019 ήταν 7,43 μg/m³. Έπειτα το Νοέμβριο η μέση τιμή του ρύπου έφθασε 5,60 μg/m³ το 2020, ενώ το 2018 και 2019 έφθασε τα 5,64 μg/m³ και 7,77 μg/m³ αντίστοιχα. Τέλος για το Δεκέμβριο οι συγκεντρώσεις ήταν 6,83 μg/m³ το 2020, 9,09 μg/m³ το 2018 και 6,94 μg/m³ το 2019.



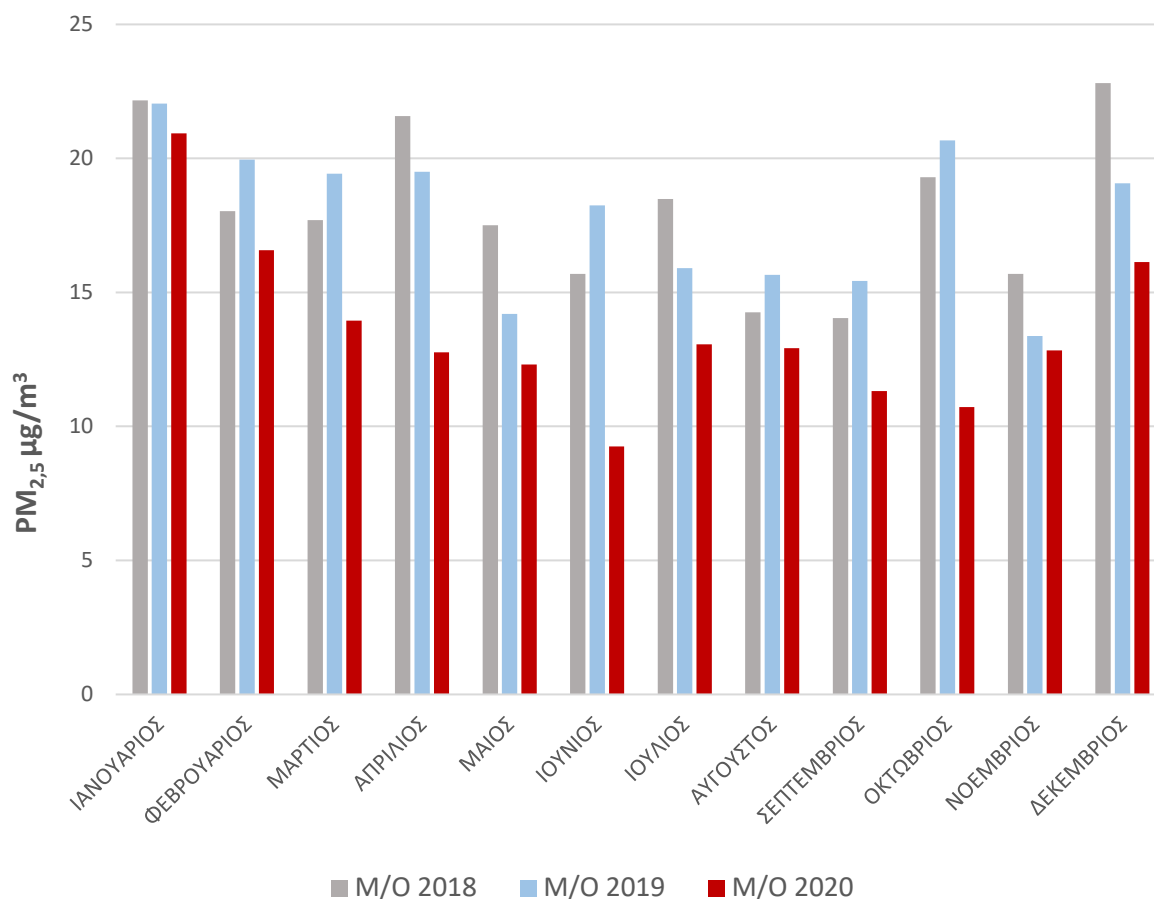
Γράφημα 4. Μέσες τιμές εκπομπών NO από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Σύμφωνα με το γράφημα 4 το οποίο αφορά στο μονοξειδίο του αζώτου από τον Απρίλιο του 2020 παρατηρείται μείωση του ρύπου συγκριτικά με την περίοδο Α, η οποία συνεχίζεται και τους επόμενους μήνες της περιόδου Β, εκτός από τον Αύγουστο του 2020. Αναλυτικότερα τον Απρίλιο η συγκέντρωση του ρύπου έφθασε τα 9,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2020, τα 31,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 και 21,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019. Το Μάιο η μέση τιμή μονοξειδίου του αζώτου ήταν 18,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2020, 23,17 το 2018 και 25,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019. Τον Ιούνιο του 2020 ήταν 17,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, του 2018 ήταν 21,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και του 2019 ήταν 20,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στη συνέχεια τον Ιούλιο οι συγκεντρώσεις άγγιξαν τα 12,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2020, τα 21,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 και τα 16,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019. Το Σεπτέμβριο του 2020 καταγράφηκαν 15,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μονοξειδίου του αζώτου, ενώ το 2018 και το 2019 ήταν 21,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 21,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Τον Οκτώβριο του 2020 οι εκπομπές ήταν 28,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, το 2018 ήταν 30,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 30,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019. Το Νοέμβριο ήταν 21,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2020, σε σύγκριση με το 2018 όπου ήταν 31,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 32,37 το 2019. Τέλος το Δεκέμβριος η μέση τιμή μονοξειδίου του αζώτου άγγιξε τα 25,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2020, τα 47,68 το 2018 και τα 47,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019.



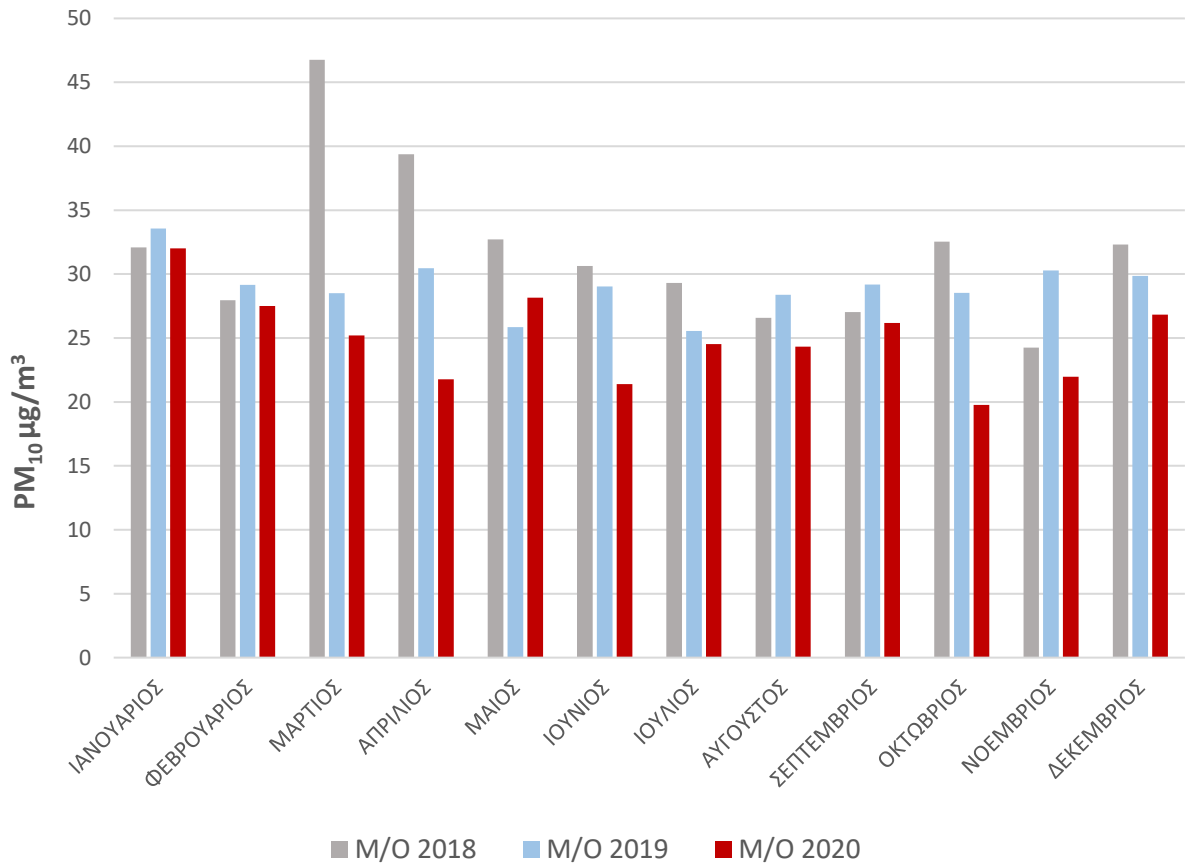
Γράφημα 5. Μέσες τιμές συγκεντρώσεων NO₂ από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Στη συνέχεια στο γράφημα 5 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου. Συγκεκριμένα από την αρχή της περιόδου Β παρατηρείται μείωση στις συγκεντρώσεις. Τον Απρίλιο του 2020 το διοξείδιο του αζώτου ήταν 24,77 μg/m³, το 2018 ήταν 49,40 μg/m³ και το 2019 ήταν 39,11 μg/m³. Το Μάιο έφθασε τα 33,69 μg/m³ το 2020, ενώ το 2018 τα 40,32 μg/m³ και το 2019 τα 44,52 μg/m³. Έπειτα τον Ιούνιο η μέση τιμή του ρυπαντή ήταν 22,29 μg/m³ το 2020, 36,94 μg/m³ το 2018 και 39,15 μg/m³ το 2019. Παρομοίως τον Ιούλιο καταγράφηκαν 27,03 μg/m³ για το 2020, 40,50 μg/m³ το 2018 και 36,09 μg/m³ το 2019. Στη συνέχεια το Σεπτέμβριο του 2020 η μέση τιμή ήταν 27,89 μg/m³, το 2018 ήταν 35,43 μg/m³ και το 2019 ήταν 36,84 μg/m³. Τον Οκτώβριο, η μέση τιμή συγκέντρωσης του ρύπου άγγιξε τα 34,08 μg/m³ το 2020, τα 36,31 μg/m³ το 2018 και 37,11 μg/m³ το 2019. Το Νοέμβριο του 2020 οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου ήταν 24,15 μg/m³, το 2018 ήταν 30,76 μg/m³ και 34,59 μg/m³ το 2019. Τέλος το Δεκέμβριο του 2020 η συγκέντρωση έφθασε τα 26,51 μg/m³, ενώ το 2018 και 2019 ήταν 36,99 μg/m³ και 33,80 μg/m³ αντίστοιχα.



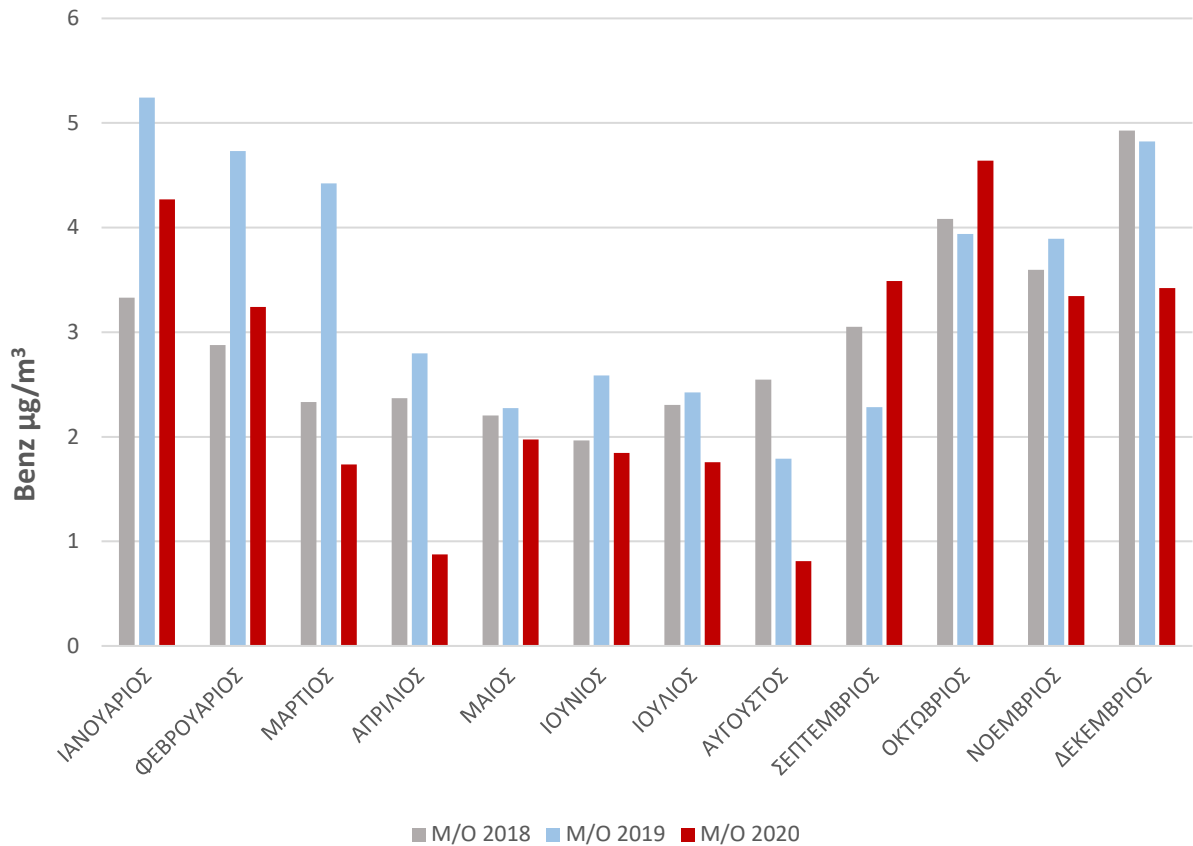
Γράφημα 6. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{2,5} από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Στο γράφημα 6 απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5}. Αναλυτικά για τον Ιανουάριο του 2020 η συγκέντρωση ήταν 20,92 μg/m³, το 2018 ήταν 22,17 μg/m³ και το 2019 ήταν 22,05 μg/m³. Το Φεβρουάριο του 2020 ήταν 16,58 μg/m³, το 2018 ήταν 18,03 μg/m³ και το 2019 ήταν 19,95 μg/m³. Το Μάρτιο ήταν 13,95 μg/m³ το 2020, 17,7 μg/m³ το 2018 και 19,42 μg/m³ το 2019. Τον Απρίλιο οι εκπομπές έφθασαν 12,77 μg/m³ το 2020, 21,58 μg/m³ το 2018 και 19,50 μg/m³ το 2019. Το Μάιο του 2020 η μέση τιμή του ρύπου ήταν 12,31 μg/m³, το 2018 ήταν 17,51 μg/m³ και το 2019 ήταν 14,20 μg/m³. Τον Ιούνιο καταγράφηκαν 9,26 μg/m³ το 2020, ενώ 15,70 μg/m³ το 2018 και 18,25 μg/m³ το 2019. Έπειτα τον Ιούλιο του 2020 η συγκέντρωση του ρυπαντή ήταν 13,07 μg/m³, το 2018 ήταν 18,49 μg/m³ και 15,09 μg/m³ το 2019. Τον Αύγουστο ήταν 12,92 μg/m³ το 2020, το 2018 ήταν 14,26 μg/m³, και το 2019 ήταν 15,65 μg/m³. Το Σεπτέμβριο ήταν 11,32 μg/m³ το 2020, ενώ το 2018 και 2019 ήταν 14,04 μg/m³ και 15,42 μg/m³ αντίστοιχα. Τον Οκτώβριο του 2020 έφθασε τα 10,73 μg/m³, το 2018 τα 19,30 μg/m³ και τα 20,67 μg/m³ το 2019. Στη συνέχεια το Νοέμβριο τα αιωρούμενα σωματίδια ήταν σε συγκέντρωση 12,83 μg/m³ το 2020, ενώ το 2018 ήταν 15,69 μg/m³ και το 2019 ήταν 13,38 μg/m³. Τέλος το Δεκέμβριο του 2020 ήταν 16,13 μg/m³, του 2018 ήταν 22,82 μg/m³ και 19,07 μg/m³ το 2019.



Γράφημα 7. Μέσες τιμές εκπομπών PM10 από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Για τα PM₁₀ οι συγκεντρώσεις που καταγράφηκαν τις περιόδους Α και Β απεικονίζονται στο γράφημα 7. Ξεκινώντας από τον Ιανουάριο, το 2020 η μέση τιμή του ρύπου ήταν 32,02 μg/m³, ενώ το 2018 ήταν 32,09 μg/m³ και 33,57 μg/m³ το 2019. Το Φεβρουάριο ήταν 27,50 μg/m³ το 2020, 27,96 μg/m³ το 2018 και 29,15 μg/m³ το 2019. Το Μάρτιο έφθασε τα 25,20 μg/m³ το 2020, τα 46,76 μg/m³ το 2018 και 28,50 μg/m³ το 2019. Τον Απρίλιο του 2020 οι εκπομπές άγγιξαν τα 21,77 μg/m³, το 2018 και το 2019 τα 39,38 μg/m³ και 30,45 μg/m³ αντίστοιχα. Για τον Ιούνιο του 2020 καταγράφηκαν 21,39 μg/m³, για το 2018 30,64 μg/m³ και 29,04 μg/m³ για το 2019. Τον Ιούλιο οι συγκεντρώσεις ήταν 24,52 μg/m³ το 2020, 29,30 μg/m³ το 2018 και 25,56 μg/m³ το 2019. Τον Αύγουστο άγγιξαν τα 24,32 μg/m³ το 2020, τα 26,57 μg/m³ το 2018 και 28,37 μg/m³ το 2019. Έπειτα το Σεπτέμβριο του 2020 η μέση τιμή ήταν 26,18 μg/m³, το 2018 ήταν 27,04 μg/m³ και 29,17 μg/m³ το 2019. Τον Οκτώβριο του 2020 ήταν 19,77 μg/m³, του 2018 ήταν 32,53 μg/m³ και του 2019 ήταν 28,53 μg/m³. Το Νοέμβριο ήταν 21,97 μg/m³ το 2020 και 24,25 μg/m³ και 30,28 μg/m³ ήταν το 2018 και 2019 αντίστοιχα. Τέλος το Δεκέμβριο του 2020 τα αιωρούμενα σωματίδια ήταν σε συγκέντρωση 26,82 μg/m³, ενώ το 2018 σε 32,32 μg/m³ και 29,87 μg/m³ το 2019.



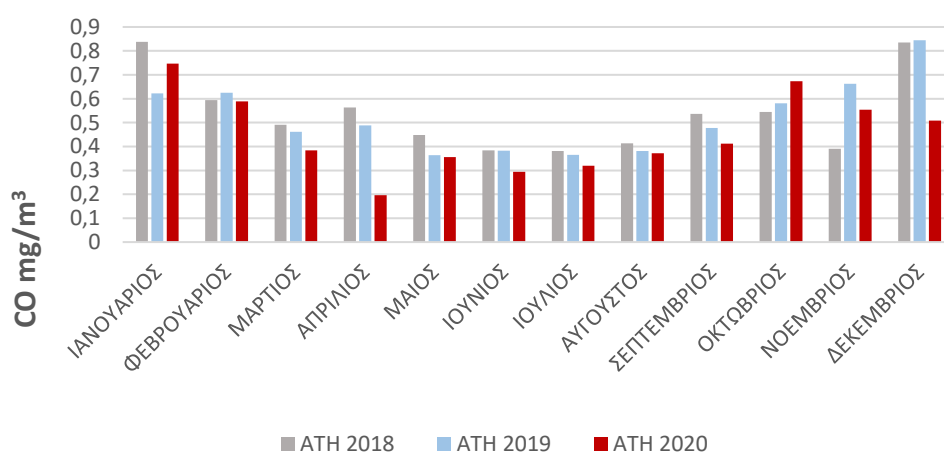
Γράφημα 8. Μέσες τιμές εκπομπών Βενζολίου από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής

Ο τελευταίος προς εξέταση ρύπος, το βενζόλιο, παρουσιάζεται στο γράφημα 8. Πιο αναλυτικά το Μάρτιο καταγράφηκαν 1,73 µg/m³ το 2020, ενώ το 2018 2,33 µg/m³ και το 2019 4,42 µg/m³. Τον Απρίλιο του 2020 0,87 µg/m³, του 2018 2,37 µg/m³ και 2,8 µg/m³ το 2019. Στη συνέχεια το Μάιο η συγκέντρωση βενζολίου έφθασε τα 1,98 µg/m³ το 2020, 2,20 µg/m³ το 2018 και 2,27 µg/m³ το 2019. Τον Ιούνιο του 2020 οι εκπομπές ήταν 1,85 µg/m³, ενώ το 2018 ήταν 1,96 µg/m³ και το 2019 ήταν 2,58 µg/m³. Τον Ιούλιο του 2020 έφθασαν τα 1,76 µg/m³, του 2018 τα 2,30 µg/m³ και 2,42 µg/m³ το 2019. Τον Αύγουστο η συγκέντρωση του ρύπου ήταν 0,81 µg/m³ για το 2020, 2,55 µg/m³ για το 2018 και 1,79 µg/m³ για το 2019. Τον Νοέμβριο του 2020 ήταν 3,35 µg/m³, 3,6 µg/m³ το 2018 και 3,89 µg/m³ το 2019. Το Δεκέμβριο η μέση τιμή συγκέντρωσης βενζολίου ήταν 3,42 µg/m³ το 2020, ενώ το 2018 και το 2019 ήταν 4,93 µg/m³ και 4,82 µg/m³ αντίστοιχα.

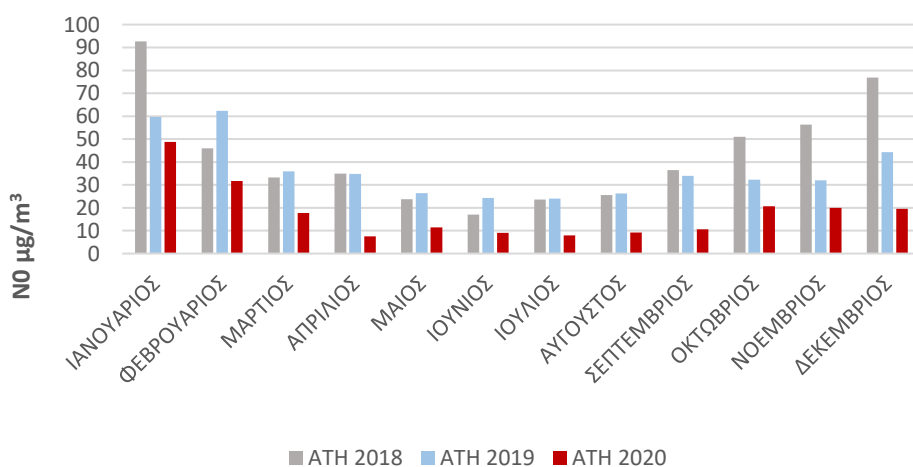
Μετρήσεις ανά σταθμό

Στη συνέχεια διαχωρίστηκαν οι μετρήσεις ανά σταθμό μέτρησης ούτως ώστε να παρατηρηθούν τυχόν αλλαγές σε πιο περιορισμένη γεωγραφικά περιοχή και με διαφορετικό χαρακτηρισμό (αστική, βιομηχανική περιοχή κλπ.)

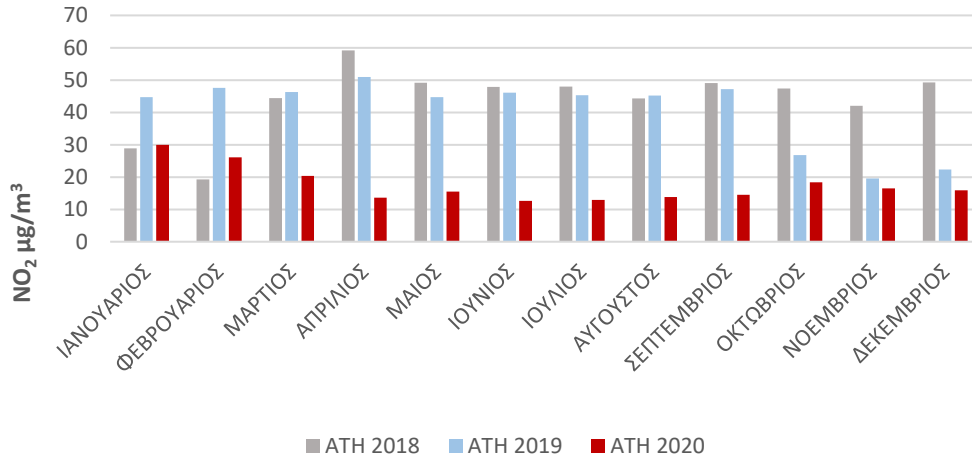
Σταθμός Αθηνάς



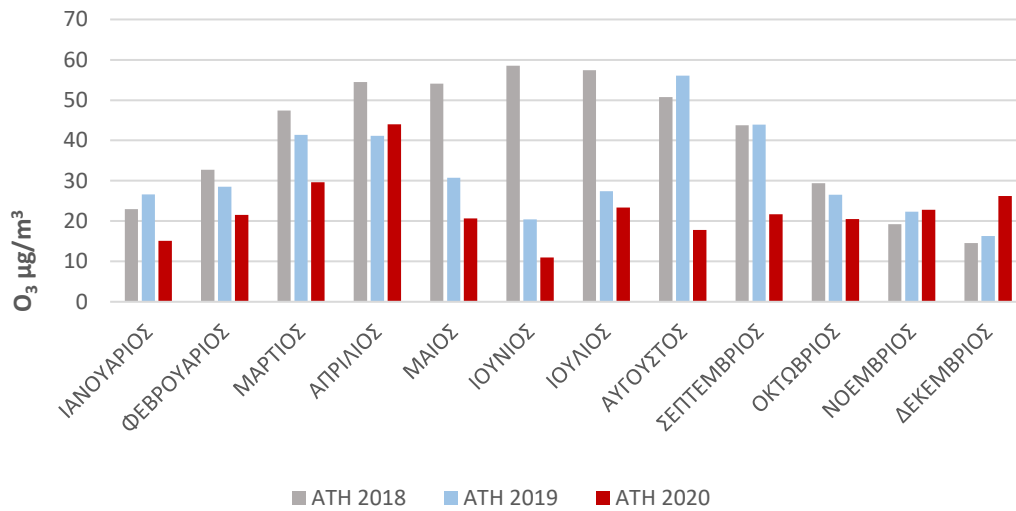
Γράφημα 9. Μέσες τιμές εκπομπών CO από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς



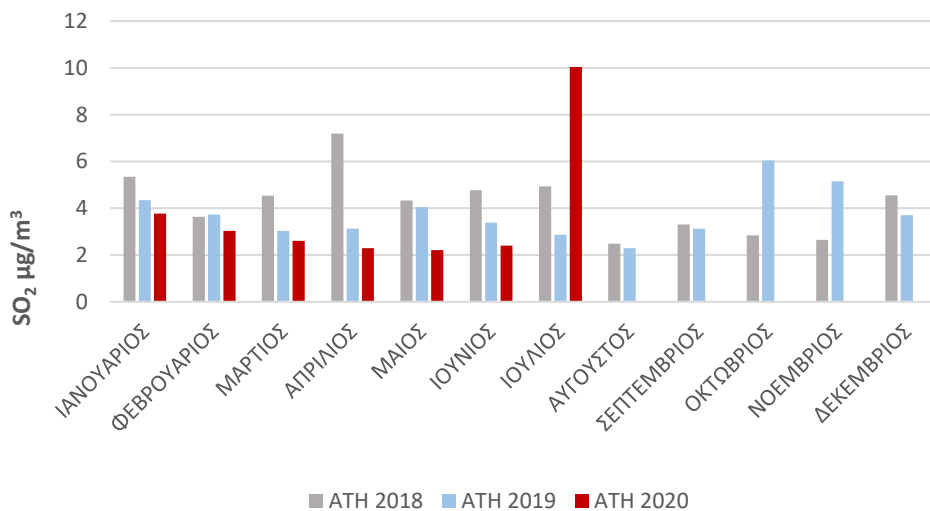
Γράφημα 10. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς



Γράφημα 11. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς



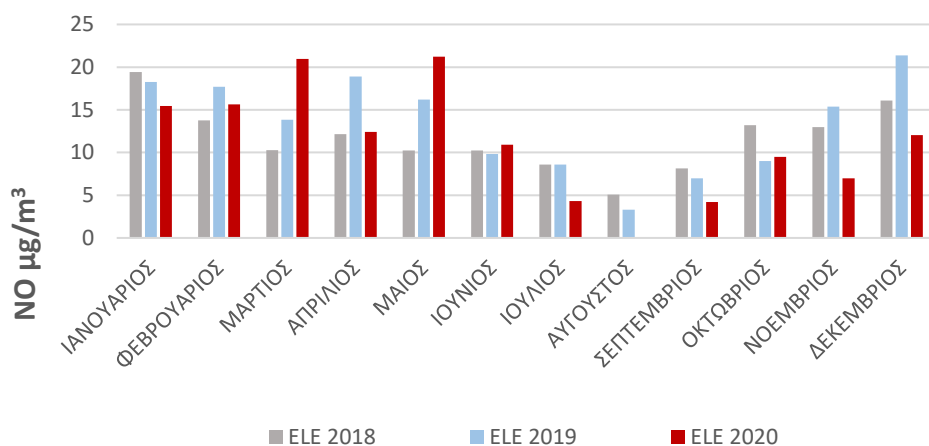
Γράφημα 12. Μέσες τιμές εκπομπών O₃ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς



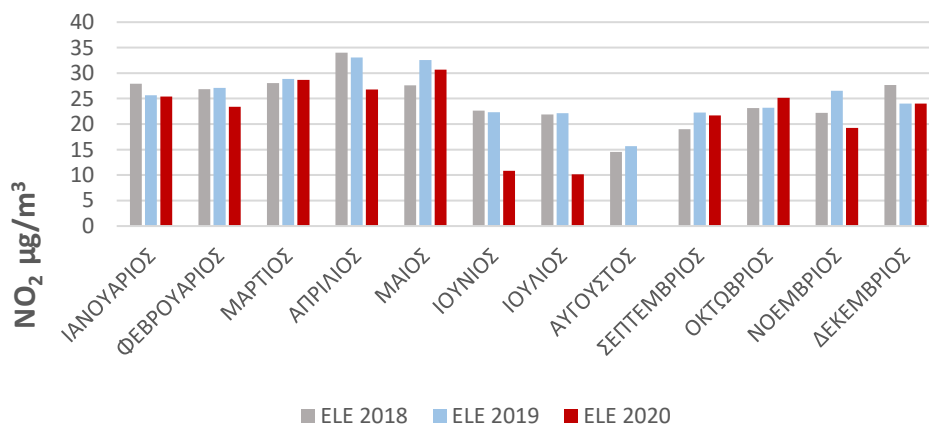
Γράφημα 13. Μέσες τιμές εκπομπών SO₂ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς

Εξετάζοντας τις μετρήσεις από τον σταθμό Αθηνάς, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως αστικός και συχνής κυκλοφορίας, προκύπτει από το γράφημα 9 έως το γράφημα 13, ότι κατά την περίοδο Β υπάρχει μείωση στις εκπομπές όλων των ρύπων. Συγκεκριμένα για το μονοξειδίο του άνθρακα υπάρχει μείωση από το Φεβρουάριο του 2020 συγκριτικά με τα έτη 2018 και 2019 και τον Ιανουάριο 2020 (γράφημα 9). Οι εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου παρουσιάζουν μείωση καθ' όλη τη διάρκεια του 2020 συγκριτικά με τα έτη 2018 και 2019 (γράφημα 10). Το διοξείδιο του αζώτου από το Μάρτιο του 2020 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2020 είναι μειωμένο σε σχέση με την περίοδο Ιανουάριος 2018 έως Φεβρουάριος 2020 (γράφημα 11). Οι μέσες τιμές εκπομπών του όζοντος από τον Ιανουάριο του 2020 μέχρι και τον Οκτώβριο του 2020, εκτός του Απριλίου 2020, είναι μικρότερες σε αντιπαράθεση με τα έτη 2018, 2019 (γράφημα 12). Τέλος, για το διοξείδιο του θείου, υπάρχουν μετρήσεις μέχρι και τον Ιούλιο του 2020, και όπως φαίνεται και στο γράφημα 13, από τον Ιανουάριο 2020 μέχρι και τον Ιούνιο 2020 οι εκλύσεις του ρύπου στην ατμόσφαιρα είναι λιγότερες σε αντιπαράθεση με τα έτη 2018, 2019.

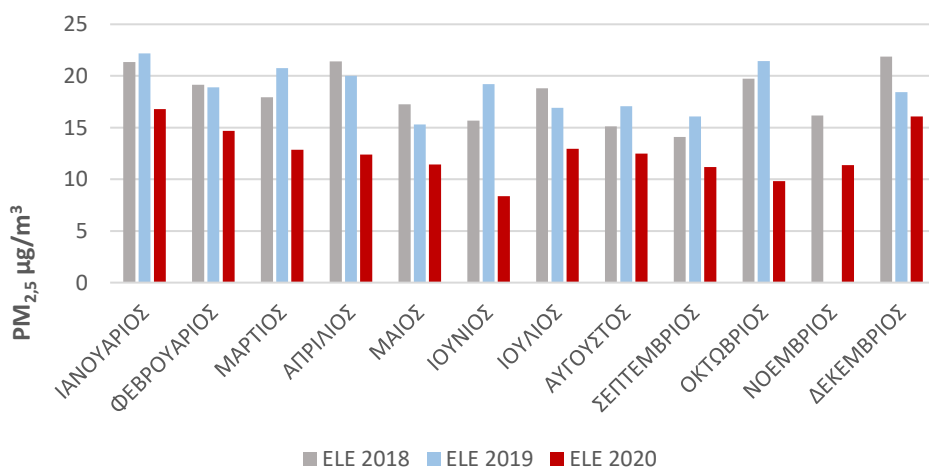
Σταθμός Ελευσίνας



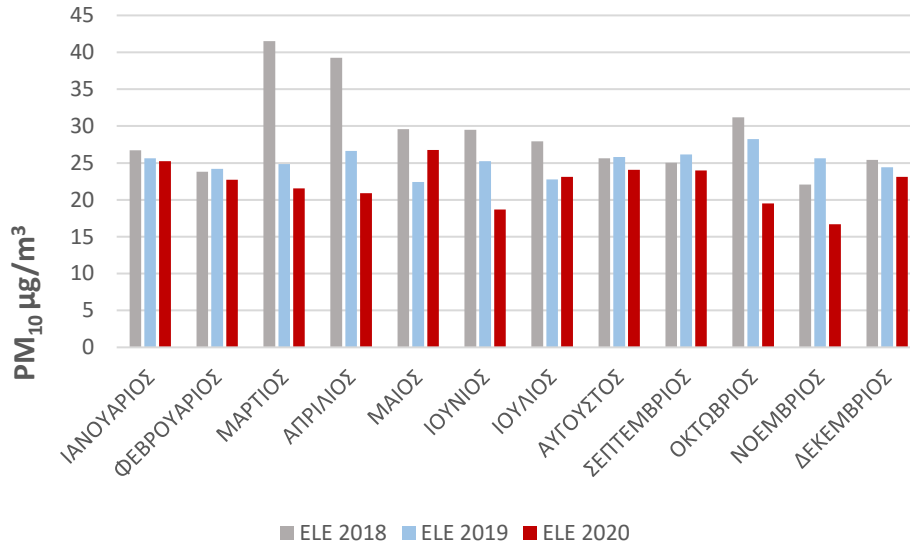
Γράφημα 14. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας



Γράφημα 15. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας



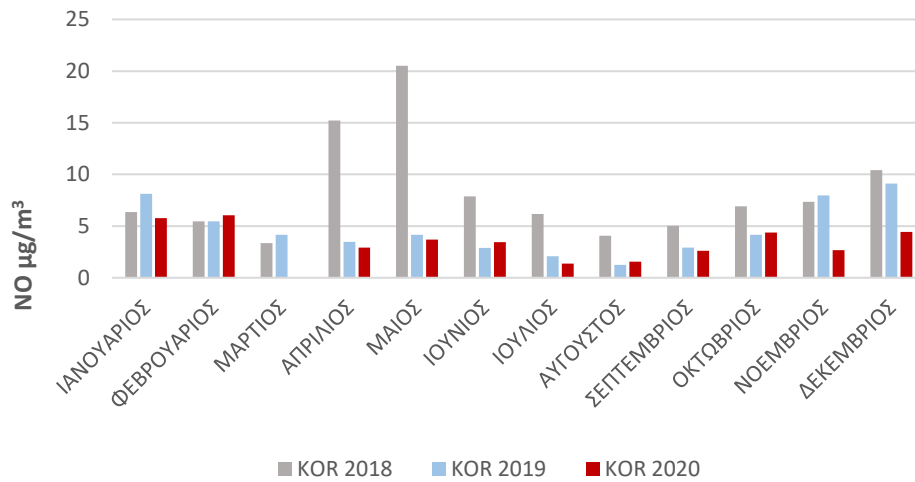
Γράφημα 16. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{2.5} από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας



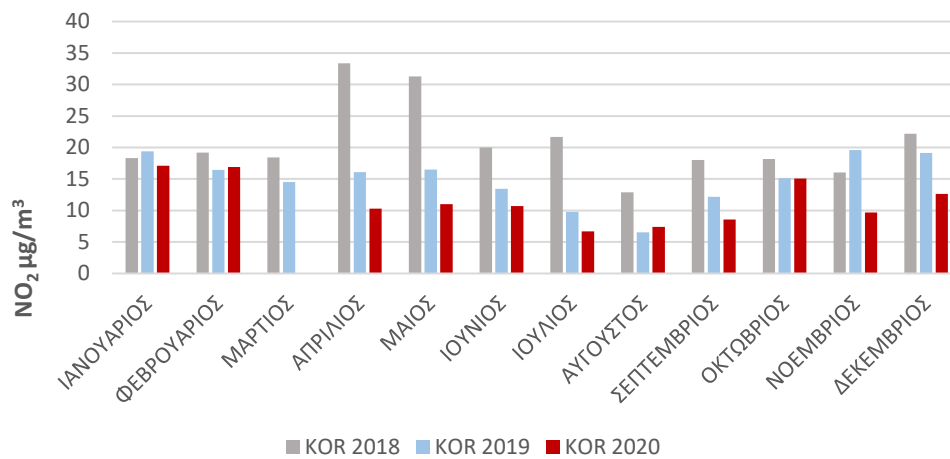
Γράφημα 17. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{10} από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας

Ο σταθμός μέτρησης στην Ελευσίνα χαρακτηρίζεται ως περιαστικός και βιομηχανικός. Σύμφωνα με τα γραφήματα, από το γράφημα 14 έως το γράφημα 17, οι εκπομπές των υπό παρακολούθηση ρύπων παρουσιάζουν μείωση σε ορισμένες περιπτώσεις. Αναλυτικά, στο γράφημα 14 για το μονοξείδιο του αζώτου παρατηρείται μείωση από τον Ιούνιο 2020, μέχρι το Δεκέμβριο 2020 (εκτός από τον Αύγουστο 2020 όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα). Όσον αφορά το διοξείδιο του αζώτου, υπάρχει μείωση ορισμένων μηνών του 2020, συγκεκριμένα τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Απρίλιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Νοέμβριο, ενώ για τον Αύγουστο 2020 δεν υπάρχουν δεδομένα από το ΥΠΕΝ (γράφημα 15). Στο γράφημα 16 για τα $PM_{2,5}$ οι μέσες τιμές εκπομπών παρουσιάζουν μείωση καθ' όλη τη διάρκεια του 2020 συγκριτικά με τα έτη 2018, 2019. Επίσης, για τα PM_{10} υπάρχει μείωση για όλο το 2020 εκτός από τον Ιούλιο 2020 όπου παρατηρείται μια μικρή αύξηση σε σχέση με τον Ιούλιο 2019.

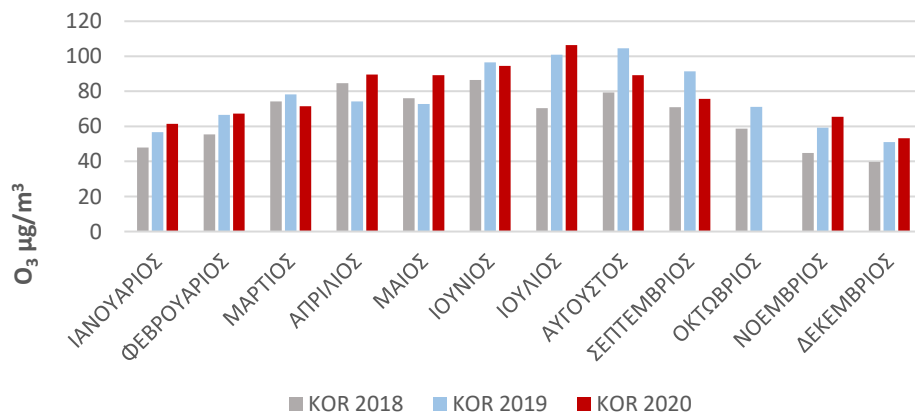
Σταθμός Κορωπίου



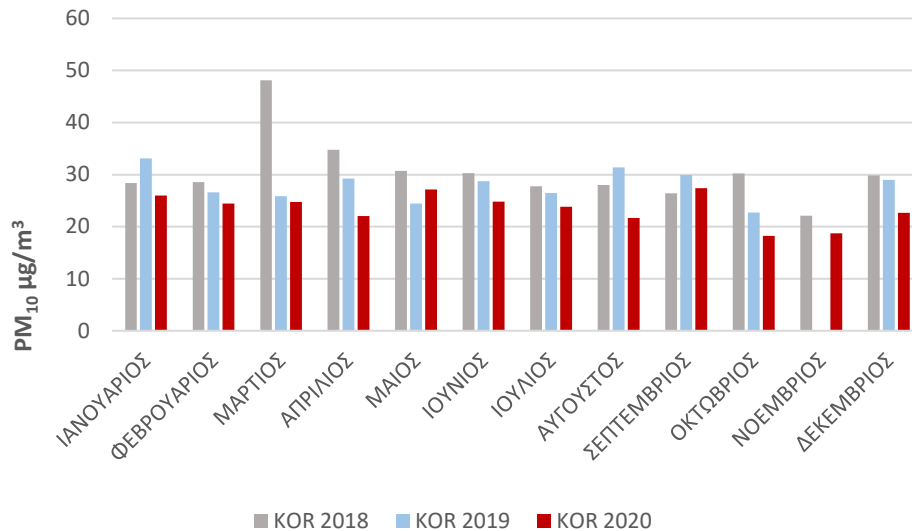
Γράφημα 18. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου



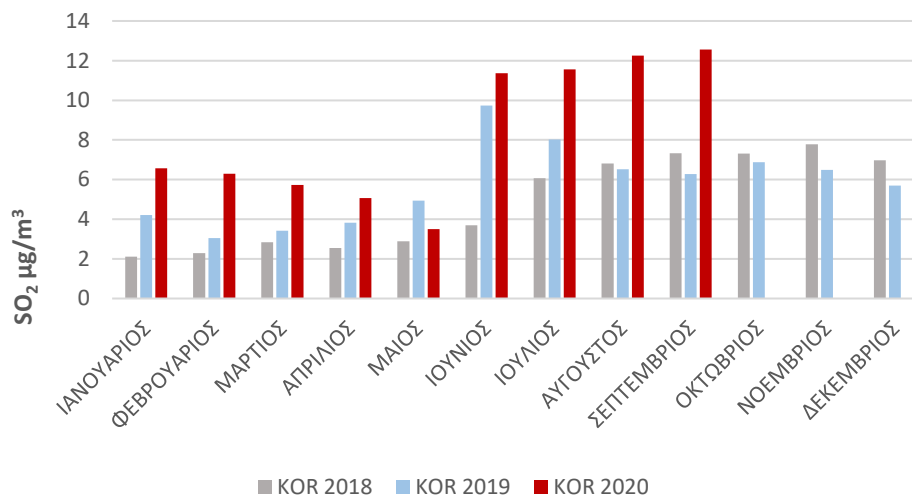
Γράφημα 19. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου



Γράφημα 20. Μέσες τιμές εκπομπών O₃ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου



Γράφημα 21. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{10} από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου

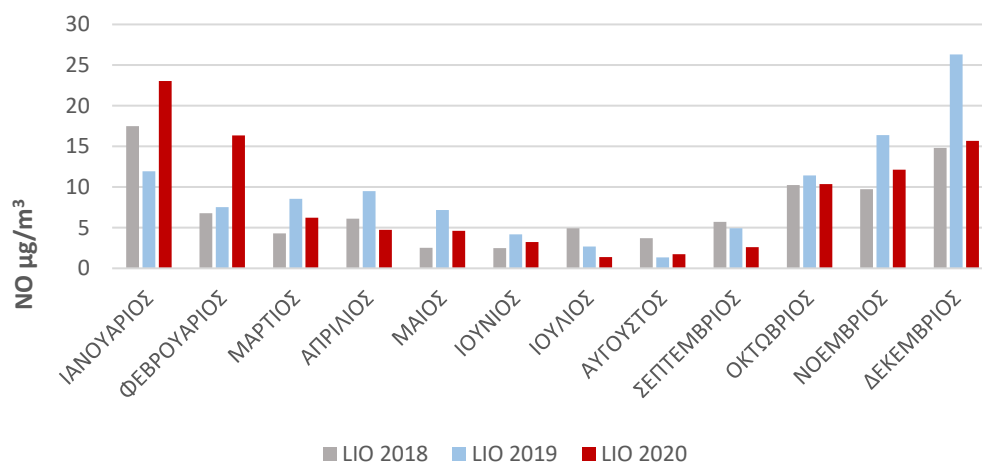


Γράφημα 22. Μέσες τιμές εκπομπών SO_2 από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου

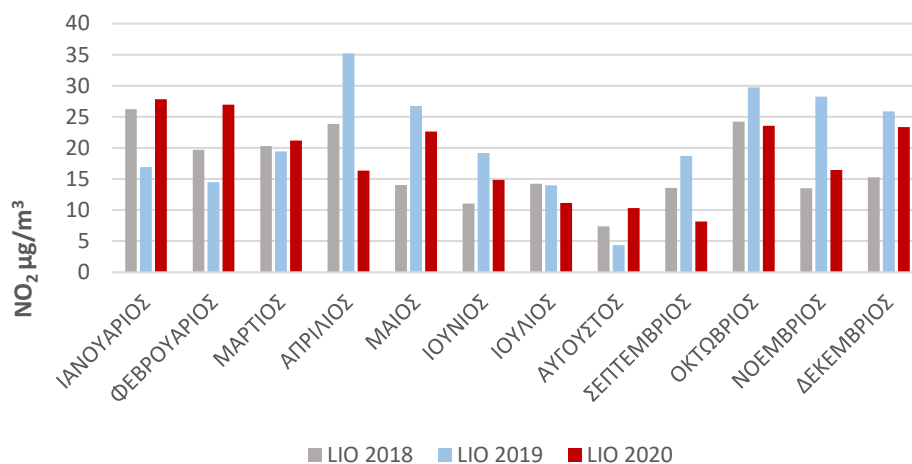
Για το σταθμό μέτρησης Κορωπίου, που χαρακτηρίζεται περιαστική περιοχή, από τα γραφήματα 18 έως 22, παρατηρούνται διακυμάνσεις καθώς σε ορισμένους ρύπους υπάρχει μείωση για το 2020 και την περίοδο της πανδημίας, ενώ σε άλλους υπάρχει αύξηση. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με το γράφημα 18 υπήρξε μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο για το έτος 2020. Όσο για το διοξείδιο του αζώτου παρατηρείται μείωση των εκπομπών του για 2020 εκτός από το Φεβρουάριο, το Μάρτιο και τον Αύγουστο. Οι εκπομπές του όζοντος παρουσιάζουν αύξηση κατά τη διάρκεια του 2020 με μοναδική εξαίρεση το Μάρτιο 2020 όπου υπάρχει μια μικρή μείωση (γράφημα 20). Όσον αφορά τα PM_{10} κατά τη διάρκεια του 2020, με εξαίρεση το Μάιο 2020 και το Σεπτέμβριο 2020, υπάρχει ελάττωση στις εκπομπές τους

(γράφημα 21). Παρατηρώντας το γράφημα 22 υπάρχει εμφανής αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του θείου κυρίως από τον Ιούνιο του 2020 και μέχρι και το Σεπτέμβριο, έως ότου υπάρχουν δεδομένα μετρήσεων.

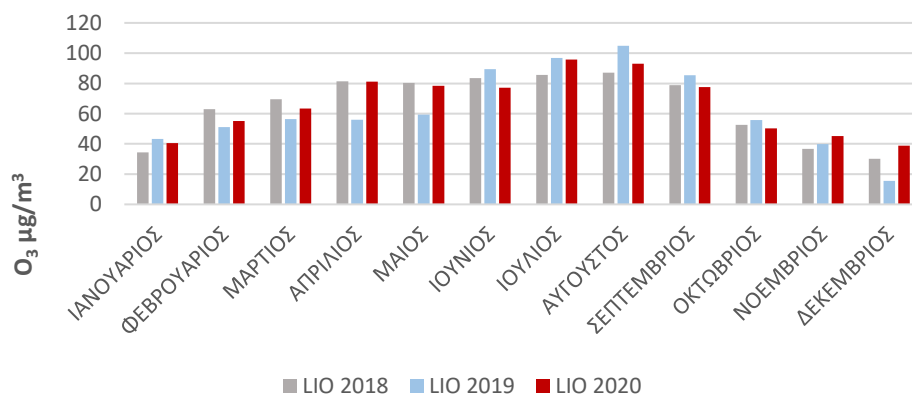
Σταθμός Λιοσίων



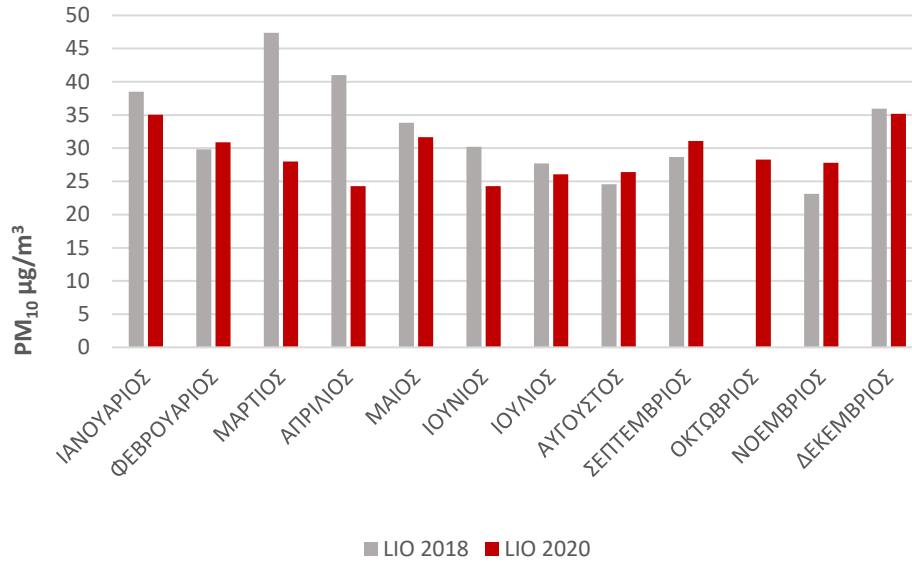
Γράφημα 23. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων



Γράφημα 24. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων



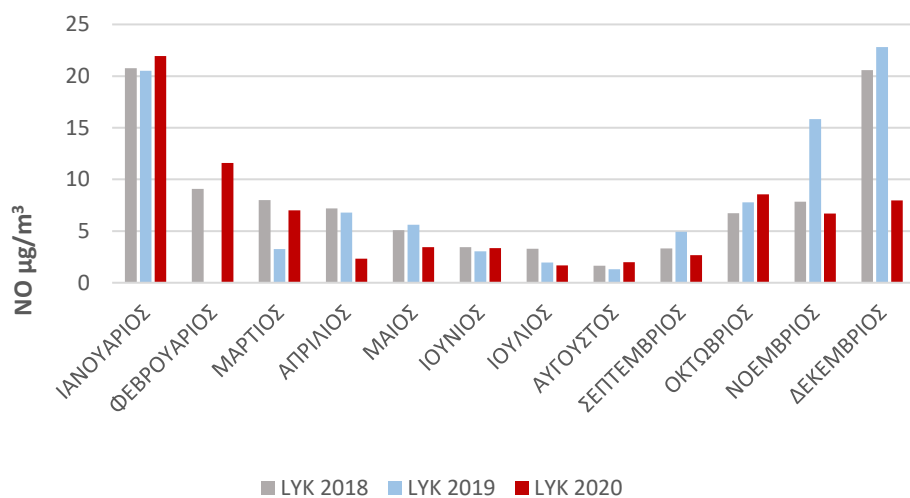
Γράφημα 25. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων



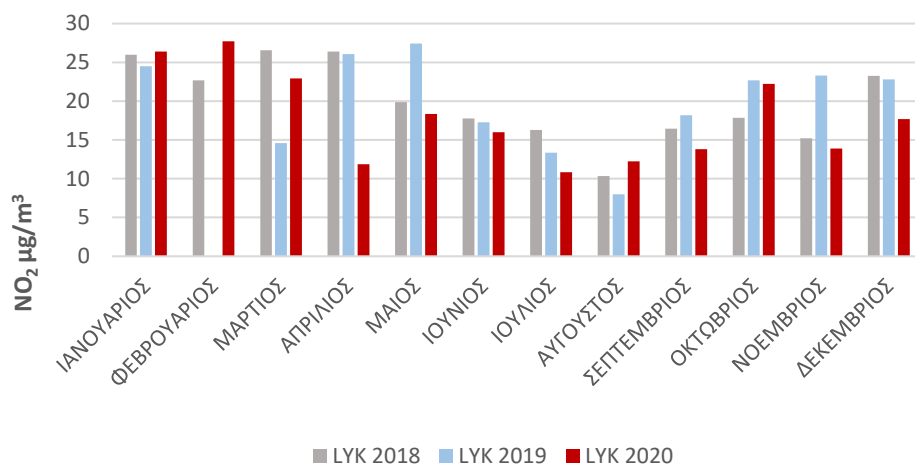
Γράφημα 26. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{10} από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων

Μελετώντας τις μετρήσεις του σταθμού των Λιοσίων ο οποίος χαρακτηρίζεται περιαστική περιοχή, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Στο γράφημα 23 υπάρχει μείωση στις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου τους μήνες Απρίλιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο του 2020 σε σχέση με τους αντίστοιχους μήνες των 2018 και 2019. Αντίστοιχα για το διοξείδιο του αζώτου παρατηρείται μείωση τους ίδιους μήνες (γράφημα 24). Στο γράφημα 25 διακρίνεται μείωση των εκπομπών όζοντος κατά τη διάρκεια του Ιουνίου 2020, Σεπτεμβρίου 2020 και Οκτωβρίου 2020. Τέλος για τις εκπομπές PM_{10} υπάρχει μείωση για τους μήνες Ιανουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Δεκέμβριο του 2020, ωστόσο δεν υπάρχουν δεδομένα για το 2019 και για τον Οκτώβριο του 2018 (γράφημα 26).

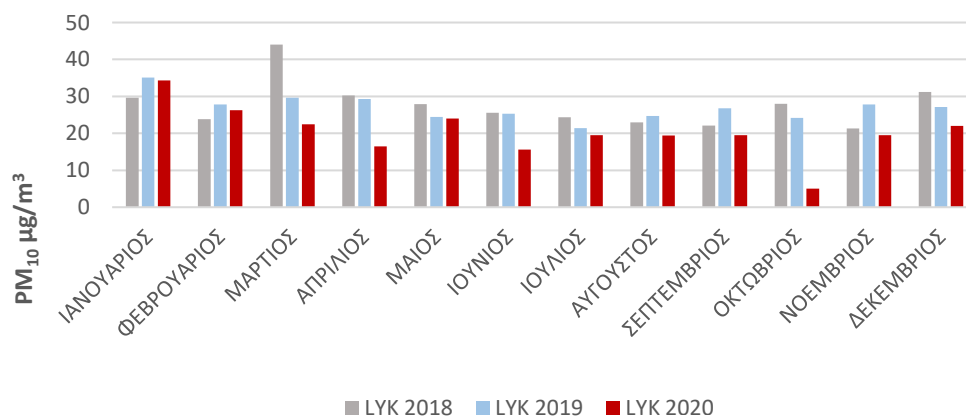
Σταθμός Λυκόβρυσης



Γράφημα 27. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης



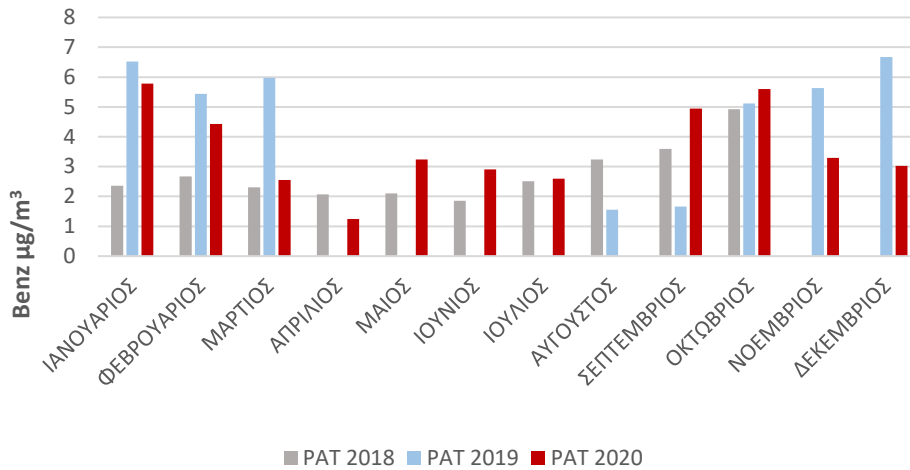
Γράφημα 28. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης



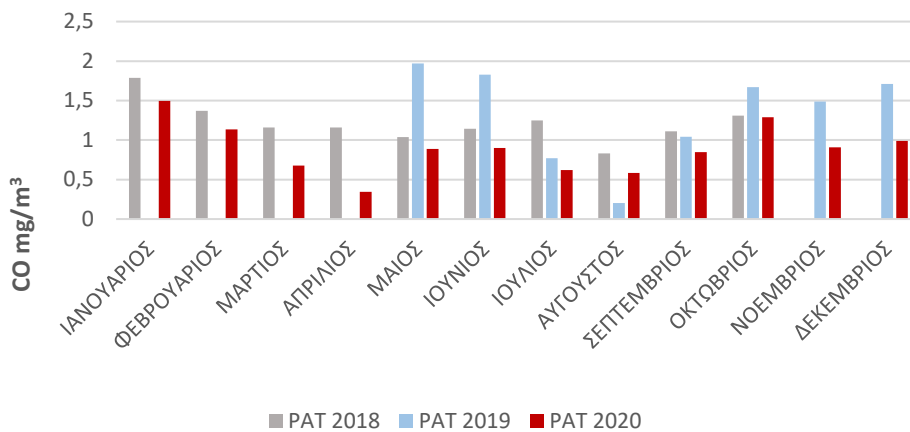
Γράφημα 29. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης

Σύμφωνα με τα γραφήματα 27, 28 και 29 από το σταθμό μετρήσεων της Λυκόβρυσης ο οποίος χαρακτηρίζεται ως περιστατικός οι εκπομπές ρύπων εμφανίζουν διακυμάνσεις. Στο γράφημα 27 για το μονοξείδιο του αζώτου, συγκριτικά με τα έτη 2018, 2019 υπάρχει μείωση το 2020 τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Από το γράφημα 29 προκύπτει μείωση του διοξειδίου του αζώτου κατά την περίοδο Β εκτός από τον Αύγουστο και τον Οκτώβριο του 2020. Όσον αφορά τα PM_{10} από το Μάρτιο του 2020 μέχρι και το τέλος του έτους παρουσιάζουν μείωση των εκπομπών τους.

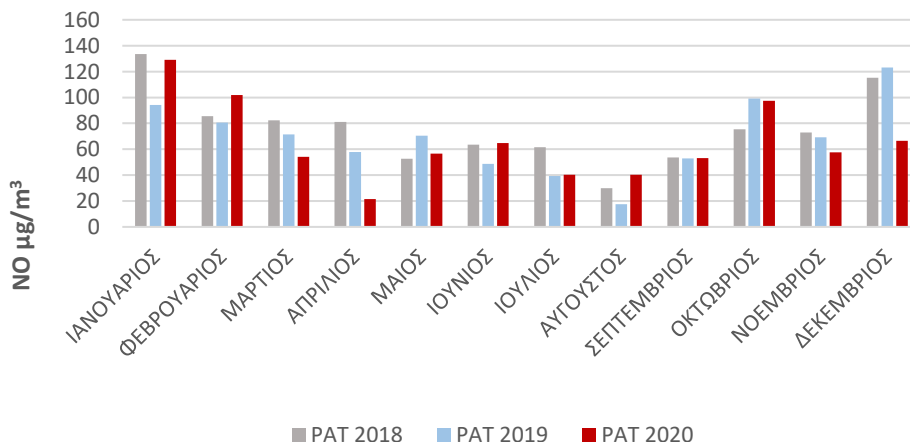
Σταθμός Πατησίων



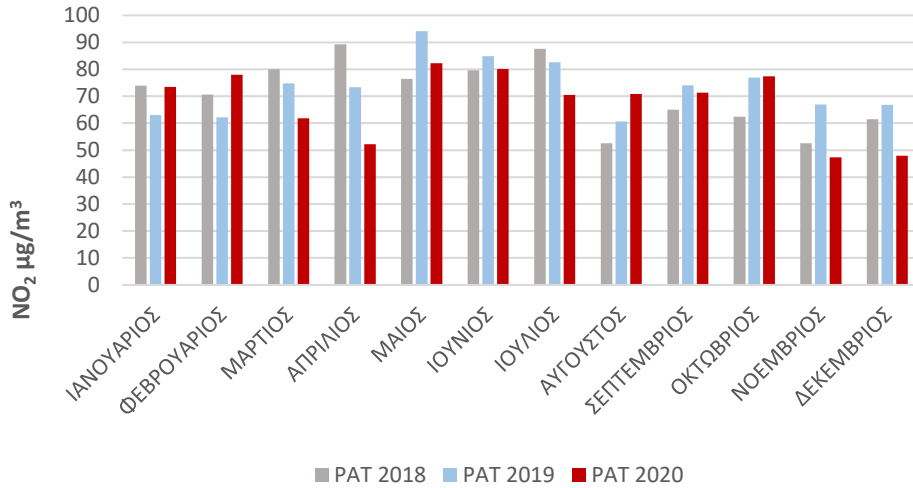
Γράφημα 30. Μέσες τιμές εκπομπών βενζολίου από το σταθμό μέτρησης Πατησίων



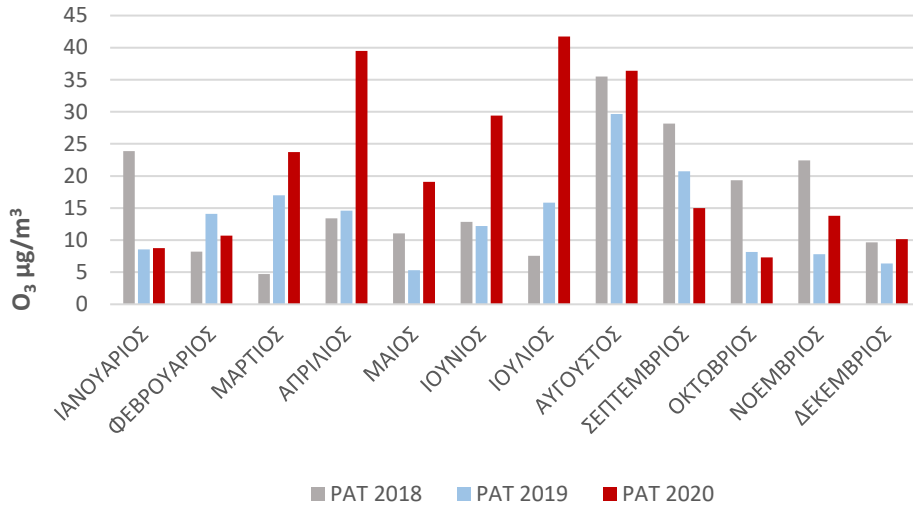
Γράφημα 31. Μέσες τιμές εκπομπών CO από το σταθμό μέτρησης Πατησίων



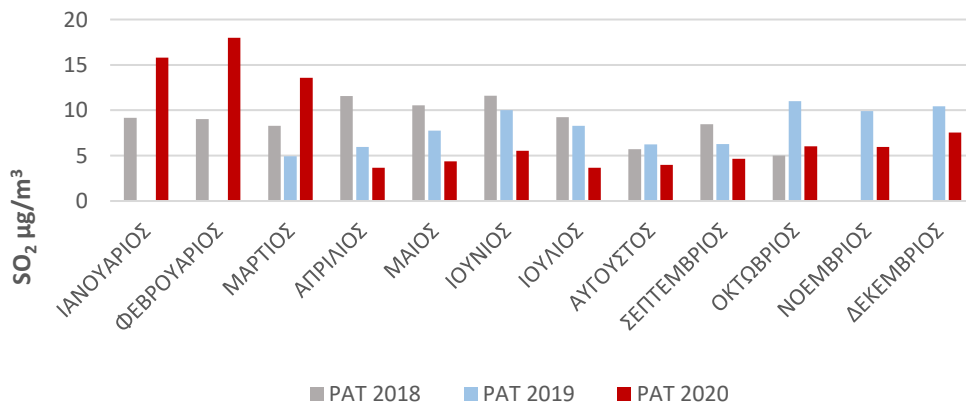
Γράφημα 32. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Πατησίων



Γράφημα 33. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων



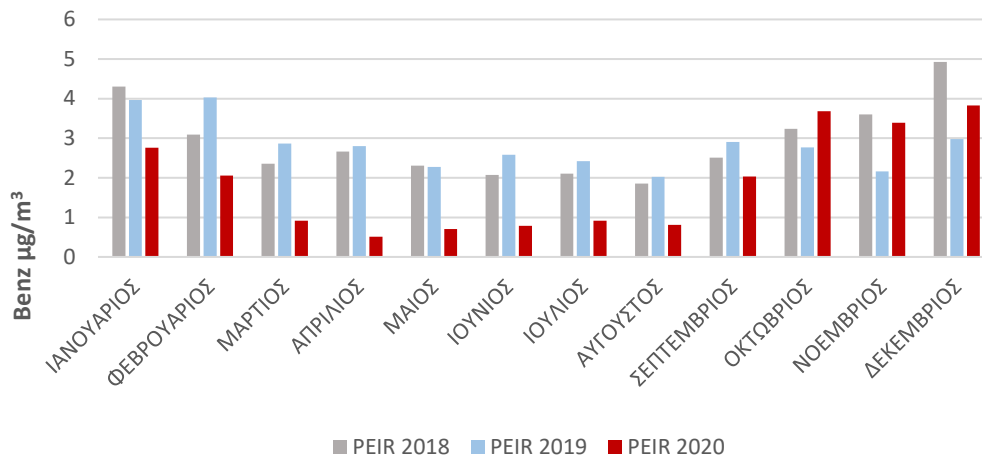
Γράφημα 34. Μέσες τιμές εκπομπών O₃ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων



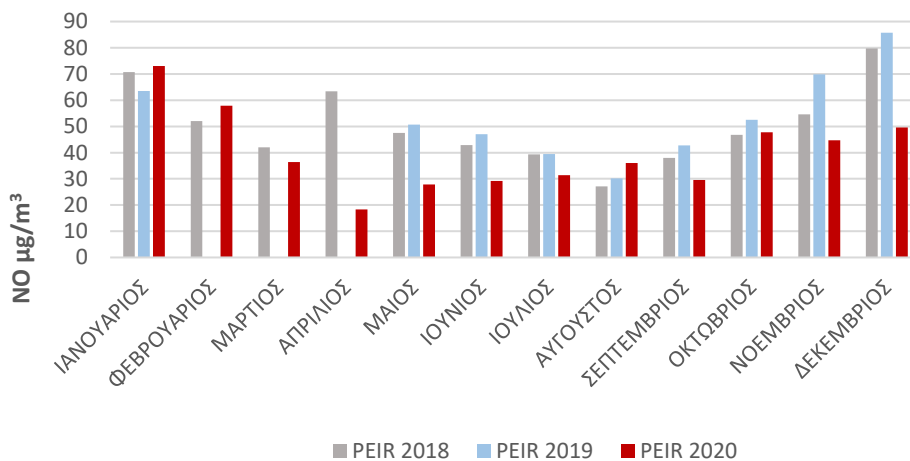
Γράφημα 35. Μέσες τιμές εκπομπών SO₂ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων

Ο σταθμός μέτρησης Πατησίων θεωρείται αστικός και διαθέτει αρκετούς ρύπους υπό παρακολούθηση. Ξεκινώντας με το βενζόλιο στο γράφημα 30 παρατηρούμε ότι υπάρχει μείωση των εκπομπών του τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2020. Για το μονοξείδιο του άνθρακα υπάρχουν επαρκή δεδομένα τριών ετών (2018-2020) την περίοδο από το Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο, όπου παρατηρείται μείωση των εκπομπών σε όλους τους μήνες εκτός του Αυγούστου (γράφημα 31). Το μονοξείδιο του αζώτου εμφανίζει μείωση τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2020 (γράφημα 32). Κατά τους ίδιους μήνες συν τον Ιούλιο 2020, παρουσιάζει μείωση και το διοξείδιο του αζώτου (γράφημα 33). Το όζον εμφανίζει μεγάλες αυξήσεις τους περισσότερους μήνες του 2020 με εξαίρεση τους Σεπτέμβριο και Οκτώβριο που παρουσιάζει μια πτώση στις εκπομπές του (γράφημα 34). Τέλος το διοξείδιο του θείου εμφανίζει μείωση από τον Απρίλιο του 2020 μέχρι το Σεπτέμβριο του 2020, ενώ για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για σύγκριση (γράφημα 35).

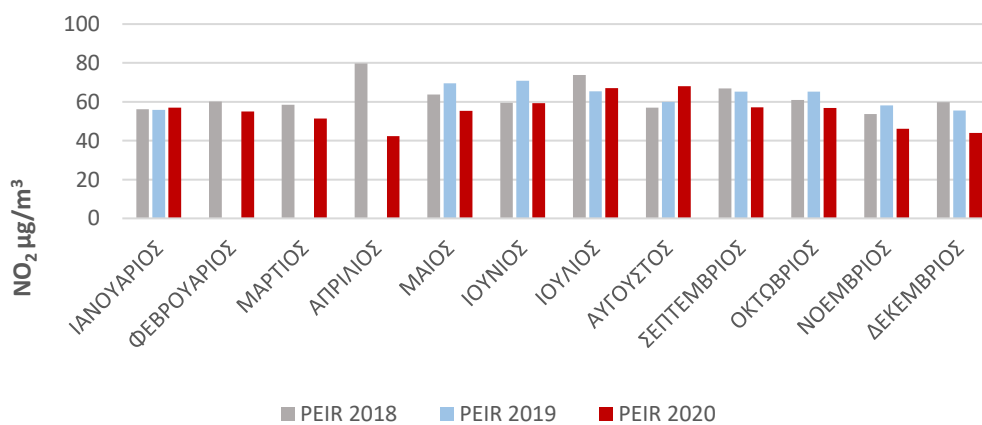
Σταθμός Πειραιά



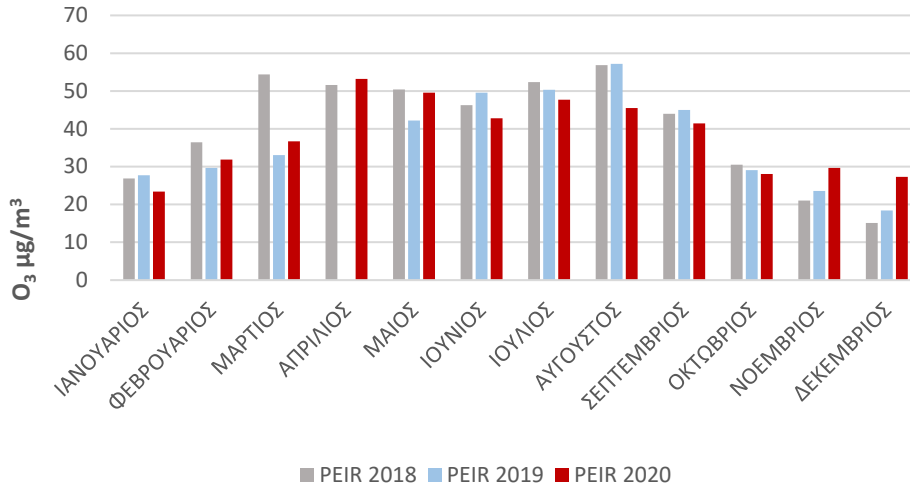
Γράφημα 36. Μέσες τιμές εκπομπών βενζολίου από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



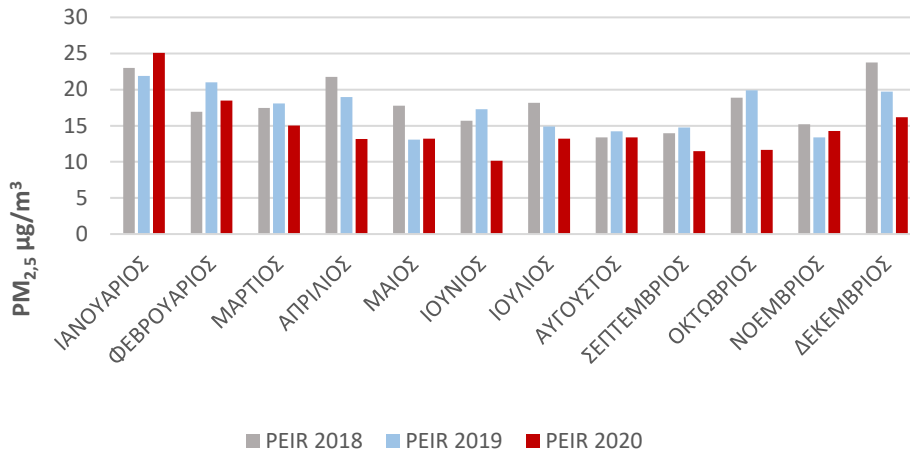
Γράφημα 37. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



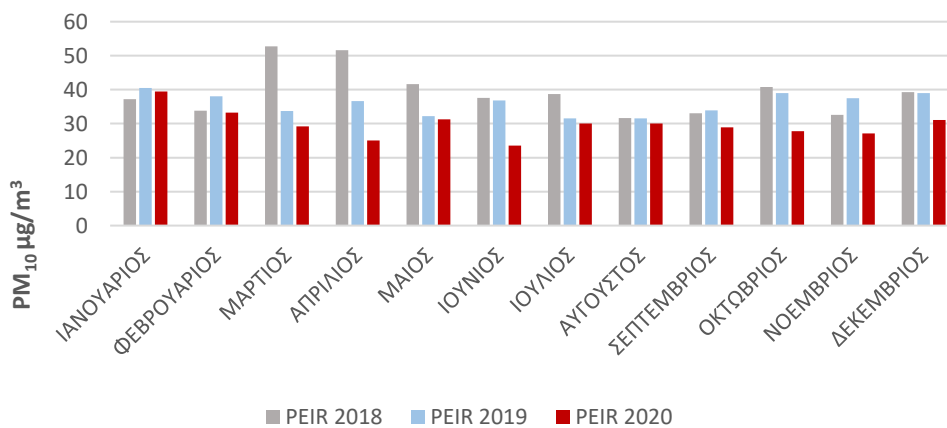
Γράφημα 38. Μέσες τιμές εκπομπών NO₂ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



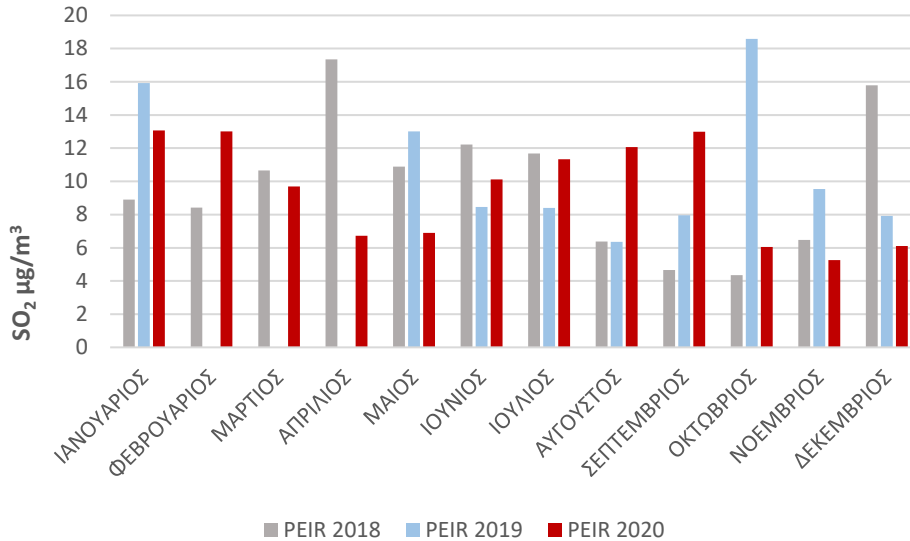
Γράφημα 39. Μέσες τιμές εκπομπών O₃ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



Γράφημα 40. Μέσες τιμές εκπομπών PM_{2.5} από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



Γράφημα 41. Μέσες τιμές εκπομπών PM₁₀ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά



Γράφημα 42. Μέσες τιμές εκπομπών SO₂ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά

Ο σταθμός μέτρησης του Πειραιά βρίσκεται σε αστική περιοχή και με συχνή κυκλοφορία οχημάτων. Μελετώντας τα γραφήματα, από το γράφημα 36 έως το γράφημα 42, διαπιστώνουμε την ποικιλία στις εκπομπές αέριων ρύπων κατά τις περιόδους Α και Β, οι οποίες ως επί το πλείστον παρουσιάζουν πτωτική τάση. Αναλυτικότερα, οι εκπομπές βενζολίου από την αρχή του έτους, Ιανουάριος 2020, μέχρι και Σεπτέμβριος 2020 παρουσιάζουν εμφανή μείωση συγκριτικά με τους αντίστοιχους μήνες των 2018 και 2019 (γράφημα 36). Στο γράφημα 37 είναι εμφανής η μείωση εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου από το Μάρτιο του 2020 μέχρι το τέλος του έτους με μοναδική εξαίρεση τον Αύγουστο του 2020. Επιπρόσθετα το διοξείδιο του αζώτου εμφανίζει πτώση από το Φεβρουάριο 2020 μέχρι το Δεκέμβριο 2020 εκτός από τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του ίδιου έτους (γράφημα 38). Όσον αφορά το όζον στο γράφημα 39 διακρίνεται μείωση των εκπομπών του τον Ιανουάριο 2020 και έπειτα από τον Ιούνιο 2020 μέχρι και τον Οκτώβριο 2020. Στη συνέχεια τα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{2,5} παρουσιάζουν μικρότερες τιμές εκπομπών το 2020 τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο. Ενώ τους υπόλοιπους μήνες οι μέσες τιμές του 2020 κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με το 2018 και 2019 (γράφημα 40). Τα PM₁₀ στο γράφημα 41 εμφανίζουν μείωση των εκπομπών τους από το Μάρτιο 2020 και καθ' όλη την περίοδο Β. Τέλος, το διοξείδιο του θείου παρουσιάζει μείωση τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο το 2020 σε σύγκριση με τους αντίστοιχους μήνες του 2018 και 2019 (γράφημα 42).

Συζήτηση-Συμπεράσματα

Από τα τέλη του 2019, όταν πρωτοεμφανίστηκε ο άγνωστος μέχρι τότε ιός τύπου SARS- CoV 2, η καθημερινότητα σε όλο τον κόσμο άλλαξε συλλήβδην. Μέσα σε λίγους μόλις μήνες ο ιός εξαπλώθηκε σε κάθε ήπειρο προκαλώντας αμέτρητα προβλήματα υγειονομικά, οικονομικά και κοινωνικά. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συνέστησε μέτρα περιορισμού του ιού. Μέσα σε αυτά τα μέτρα ήταν και ο εγκλεισμός των πολιτών και η διακοπή κάθε μετακίνησης ακόμα και για εργασία ή εκπαίδευση. Από τον Μάρτιο του 2020 υπεβλήθησαν αυτά τα μέτρα και στην Ελλάδα διακόπτοντας σχεδόν κάθε δραστηριότητα.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα από τις 10 Μαρτίου 2020 αναστάλθηκε η λειτουργία εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και από τις 13 Μαρτίου η λειτουργία των χώρων εστίασης, ψυχαγωγίας και αθλητισμού. Στις 23 Μαρτίου απαγορεύθηκαν οι διανομαρχιακές μετακινήσεις. Στις 11 Μαΐου αποσύρθηκαν τα μέτρα περιορισμού. Στη συνέχεια λόγω αύξησης κρουσμάτων στις 7 Νοεμβρίου 2020 επιβλήθηκε ξανά ο εγκλεισμός με όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά και συνεχίστηκε και μετά το πέρας του έτους.

Ως αποτέλεσμα όλων αυτών των αλλαγών ήταν και η πρόκληση του επιστημονικού ενδιαφέροντος για τις επιδράσεις αυτών, είτε στο παρόν είτε στο μέλλον. Η ύφεση που προκλήθηκε δημιούργησε υποθέσεις για την οικονομία στον κόσμο η οποία αναμφίβολα πλήχθηκε, για τη δημόσια υγεία αλλά και για το περιβάλλον. Υπήρξαν πολυάριθμοι ισχυρισμοί οι οποίοι είτε επιβεβαιώθηκαν, καταρρίφθηκαν ή ερευνώνται ακόμη.

Η υπόθεση αναφορικά με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την περίοδο της πανδημίας, μπορεί να επιβεβαιωθεί μέσω των διαθέσιμων μετρήσεων αέριων ρυπαντών (CO , NO , NO_2 , O_3 , SO_2 , $PM_{2.5}$, PM_{10} , C_6H_6 ,) που συλλέγονται καθημερινά από επίγειους σταθμούς μετρήσεων ανά τον κόσμο καθώς και μέσω δορυφορικών δεδομένων. Τέτοιου είδους μελέτες έχουν εκπονηθεί για διάφορες χώρες με ποικίλα ευρήματα. Στην περίπτωση των ΗΠΑ μελετήθηκαν οι ποσότητες ρυπαντών σε πέντε πολιτείες κατά το πρώτο τρίμηνο του 2019 και του 2020 και προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα: οι συγκεντρώσεις των CO , NO_2 , $PM_{2.5}$ παρουσίασαν μείωση κατά 19,28%, 36,7% και 1,10% αντίστοιχα και τα PM_{10} , SO_2 αύξηση κατά 27,81% και 3,81% αντίστοιχα (Shakoor et al., 2020).

Όσον αφορά την Κίνα μελετήθηκαν οι αλλαγές στην ποιότητα του αέρα και παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στην πλειοψηφία των ρυπαντών. Αναλυτικότερα το CO παρουσίασε μείωση κατά 26,53%, το NO_2 38,98%, το SO_2 18,36%, το $PM_{2.5}$ 17,78% και το PM_{10} 37,85% (Shakoor et al. 2020). Αντιθέτως το O_3 παρουσίασε σημαντική αύξηση την περίοδο του εγκλεισμού (Li et al. 2020). Εντυπωσιακή μείωση παρατηρήθηκε και στην Ινδονησία με πιο χαρακτηριστική το SO_2 με μείωση 98,9% και ακολούθησαν NO_2 34,79%, CO 12,7%, PM_{10} 11,54% (Rendana, 2021). Αντίστοιχα

αποτελέσματα προέκυψαν και από μετρήσεις στην περιοχή της Βόρειας Ιταλίας με μείωση στους περισσότερους ρυπαντές και αύξηση στις εκπομπές όζοντος (Putaud et al., 2021).

Στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν τα δεδομένα από τους σταθμούς μέτρησης που αφορούσαν στην ρύπανση της ατμόσφαιρας στην περιοχή της Αττικής, για την περίοδο Α (Ιανουάριος 2018 έως Μάρτιος 2020) και την περίοδο Β (Απρίλιος 2020 έως Δεκέμβριος 2020). Οι ρύποι που μελετήθηκαν είναι οι εξής: NO, NO₂, O₃, CO, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ και το βενζόλιο. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τους σταθμούς μέτρησης στην Πατησίων, τη Λυκόβρυση, τον Πειραιά, το Κορωπί, την Ελευσίνα, την Αθηνάς και τα Λιόσια. Εφόσον έγινε η απαραίτητη επεξεργασία των δεδομένων, παρουσιάστηκαν στα ανωτέρω γραφήματα (γράφημα 1 – γράφημα 42) και οδήγησαν στα παρακάτω συμπεράσματα.

Μελετώντας αρχικά τους ρυπαντές μεμονωμένα αλλά για όλη την περιφέρεια της Αττικής προκύπτει ότι το όζον παρουσίασε μείωση την περίοδο Β μόνο κατά τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο επομένως δεν μπορεί να συσχετιστεί αυτή η ελάττωση με τα μέτρα εγκλεισμού που επιβλήθηκαν εκείνη την περίοδο. Στην συνέχεια αναφορικά με το μονοξείδιο του άνθρακα παρατηρείται μείωση από την αρχή της περιόδου Β, από τον Απρίλιο του 2020, εκτός από τους μήνες Αύγουστο, Οκτώβριο και Νοέμβριο. Πιθανώς η σχετική χαλάρωση των περιοριστικών μέτρων τους θερινούς μήνες μέχρι το Νοέμβριο να οδήγησε στην αύξηση των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα. Αναφορικά με το διοξείδιο του θείου, οι εκπομπές του παρουσίασαν μεγάλη μείωση το Μάιο του 2020 και στη συνέχεια μια μικρή ελάττωση τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Ως εκ τούτου δεν μπορεί να γίνει συσχέτιση με τον εγκλεισμό λόγω Covid-19.

Στη συνέχεια τα οξείδια του αζώτου (NO, NO₂) παρουσιάζουν κοινές μεταβολές κατά την περίοδο Β. Από τον Απρίλιο του 2020 οι εκπομπές μειώνονται μέχρι το τέλος του 2020 με μοναδική εξαίρεση τον Αύγουστο όπου παρατηρείται αυξημένη έκλυση οξειδίων αζώτου. Τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία επηρεάζονται από την κυκλοφορία των οχημάτων και τους καυστήρες θέρμανσης, μικρής (>2.5mm) και μεγάλης διαμέτρου (>10mm) μειώθηκαν από την αρχή του 2020 και παρουσίασαν μειωμένες εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε ο Μάιος του 2020 όπου τα αιωρούμενα σωματίδια μεγάλης διαμέτρου εμφάνισαν μια μικρή αύξηση. Τέλος το βενζόλιο που αποτελεί ρύπο ο οποίος επηρεάζεται κατ' εξοχήν από την κυκλοφορία των οχημάτων, από το Μάρτιο του 2020 παρατηρήθηκε μείωση κυρίως τους μήνες Απρίλιο, Αύγουστο και Δεκέμβριο. Ωστόσο το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, όπου δεν ίσχυαν και μέτρα περιορισμού, η μέση τιμή εκπομπών βενζολίου παρουσίασε αυξητική τάση.

Εξετάστηκαν έπειτα επιμέρους οι σταθμοί μέτρησης και κάθε ρύπος που καταγράφεται στον εκάστοτε σταθμό. Ως εκ τούτου προέκυψε ότι μπορεί να θεωρηθεί πως τα περιοριστικά μέτρα επηρέασαν ορισμένους ρύπους σε κάθε σταθμό. Συγκεκριμένα στο σταθμό Αθηνάς υπήρξε μείωση στα CO, NO, NO₂ και στο O₃. Αυτό

μπορεί να εξηγηθεί από τη μείωση και της κυκλοφορίας στο κέντρο της Αθήνας κατά την περίοδο Β. Στο σταθμό Ελευσίνας παρόλο τα περιοριστικά μέτρα προφανώς η βιομηχανική δραστηριότητα δεν μειώθηκε αρκετά ώστε να προκύψει και μείωση των εκπομπών ρύπων, καθώς μόνο τα $PM_{2,5}$ παρουσίασαν μείωση την περίοδο Β και τα PM_{10} ορισμένους μήνες. Στο σταθμό μέτρησης στο Κορωπί το NO_2 και τα PM_{10} εμφάνισαν μείωση η οποία μπορεί να συσχετιστεί με τα μέτρα εγκλεισμού επομένως και τη μείωση της κυκλοφορίας στους δρόμους. Σύμφωνα με τις μετρήσεις στο σταθμό των Λιοσίων οι εκπομπές ρυπαντών δεν επηρεάστηκαν από τις αλλαγές του εγκλεισμού. Στη Λυκόβρυση τα NO , NO_2 και PM_{10} τους μήνες που ήταν σε ισχύ τα περιοριστικά μέτρα εμφάνισαν πτωτική τάση. Στο σταθμό Πατησίων υπήρξε ελάττωση των εκπομπών CO , NO , NO_2 και SO_2 σε όλη τη διάρκεια της περιόδου Β με κάποιες εξαιρέσεις ορισμένους μήνες όπου τα περιοριστικά μέτρα δεν ήταν τόσο αυστηρά (μεταξύ Ιουνίου 2020 με Οκτώβριο 2020). Τέλος στον Πειραιά το βενζόλιο, NO και PM_{10} παρουσίασαν μια μικρή μείωση ορισμένους όμως μήνες επομένως δεν μπορεί να θεωρηθεί ο εγκλεισμός αποτέλεσμα αυτής της μείωσης.

Εν κατακλείδι, τα μέτρα περιορισμού που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα για την διακοπή της εξάπλωσης της πανδημίας επηρέασαν ως ένα βαθμό τις συγκεντρώσεις των ρυπαντών κυρίως στο κέντρο της Αθήνας και τον Πειραιά. Ωστόσο για μια πιο ολοκληρωμένη και εμπεριστατωμένη άποψη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα μετεωρολογικά φαινόμενα τα οποία επικρατούσαν σε κάθε περιοχή τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο και να συγκριθούν με αυτά των προηγούμενων ετών, ούτως ώστε να θεωρηθεί σωστή η συσχέτιση ή μη των περιοριστικών μέτρων με τις αλλαγές στις εκπομπές ρύπων.

Επίλογος

Συμπερασματικά, η πανδημία Covid-19 απασχόλησε και συνεχίζει να απασχολεί τους φορείς υγείας, ωστόσο δεν θα πρέπει να αμελούμε τα υπόλοιπα θέματα δημόσιας υγείας όπως η ποιότητα του αέρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εργασίας σε ορισμένες περιοχές τα ποσοστά ρυπαντών συνέχισαν να αυξάνονται την ίδια ώρα που όλοι οι πολίτες, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, παρέμεναν στις οικίες τους. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να θορυβήσει τους υπεύθυνους για τη δημόσια υγεία και όχι μόνο.

Η έρευνα πάνω στις μεταβολές της ατμόσφαιρας την περίοδο των περιοριστικών μέτρων θα πρέπει να συνεχιστεί όταν γίνουν διαθέσιμα τα δεδομένα του έτους 2021, εφόσον συνεχίστηκε ο εγκλεισμός μέχρι το Μάιο του 2021.

Πέρα από τη συνέχεια της έρευνας και την παρακολούθηση των ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ σημαντικό να γίνει και σωστή ενημέρωση στους πολίτες, με τη συμβολή της επιστημονικής κοινότητας. Κυρίως αυτή την περίοδο που ο πλανήτης βρίσκεται μπροστά σε μια ενεργειακή κρίση, η οποία είναι άγνωστο που θα οδηγήσει και ποιες εναλλακτικές μεθόδους θα χρησιμοποιήσει η κόσμος για να ανταπεξέλθει. Σε παρόμοια περίπτωση, την περίοδο της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα είναι γνωστό πως τα αποτελέσματα της ρύπανσης στον αέρα του λεκανοπεδίου ήταν ανησυχητικά. Εφόσον υπάρχει η γνώση από προηγούμενα έτη, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη εστιασμένης πληροφόρησης μεταξύ πολιτών

Κατάλογος εικόνων, πινάκων, γραφημάτων

Εικόνα 1. Λος Άντζελες με φωτοχημικό νέφος Πηγή: slideplayer.gr	10
Εικόνα 2. Νέφος καπνομίχλης στο Λονδίνο Πηγή: unblock.gr	11
Εικόνα 3. Βιομηχανική ατμοσφαιρική ρύπανση στην κοιλάδα Meuse Πηγή: academic.oup.com	12
Εικόνα 4. Η Αθήνα κατά τη διάρκεια φωτοχημικού νέφους Πηγή: oikoinfo.wordpress.com .	13
Εικόνα 5. Κατανομή των πρωτογενών αέριων ρύπων που εκπέμπονται από ανθρωπογενείς πηγές στην ατμόσφαιρα (Πηγή: Μελάς κ.ά. 2015)	17
Εικόνα 6. Τα συμπτώματα δηλητηρίασης από CO αναλογικά με τις συγκεντρώσεις στον αέρα και οι ποσότητες CO όπως προκύπτουν από κάθε πηγή (Πηγή: http://195.134.76.37/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm)	19
Εικόνα 7. Κατανομή πηγών SO ₂ και NO _x (Πηγή Μελάς κ.ά. 2015)	21
Εικόνα 8. Κατανομή όζοντος στη γη (Πηγή Ζάνης 2014)	22
Εικόνα 9. Βλάβες στο φύλλωμα των φυτών εξαιτίας του όζοντος. Πηγή: metroworld.com ..	23
Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση κατανομής αιωρούμενων σωματιδίων (Πηγή Γεντεκάκης 1999).....	25
Εικόνα 11. Δηλητηριασμένο φλαμίνγκο έπειτα από κατάποση μολύβδινων σκαγιών. Πηγή thermisnews.gr	27
Εικόνα 12. Σχηματική διάταξη αέριας χρωματογραφίας (Πηγή Κόκκινος 2009).....	34
Εικόνα 13. Μη-σκεδαζόμενη υπέρυθη φωτομετρία (Πηγή Ζάνης 2014)	35
Εικόνα 14. Διάταξη φασματοφωτόμετρου υπεριώδους (Πηγή Ζάνης 2014).....	36
Εικόνα 15. Η αρχή της χημειοφωταύγειας στην οποία βασίζεται η μέτρηση οξειδίων του αζώτου (Πηγή Ζάνης 2014).....	37
Εικόνα 16. Τυπική διάταξη μέτρησης απορρόφησης ακτινοβολίας β (Πηγή Ζάνης 2014)	38
Εικόνα 17. Όργανο μέτρησης ακτινοβολίας β (Πηγή Ζάνης 2014).....	38
Πίνακας 1. Όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας	32
Πίνακας 2. Μέθοδοι μέτρησης αέριων ρυπαντών	33
Πίνακας 3. Σταθμοί μέτρησης ρυπαντών στην Αττική	41
Γράφημα 1. Μέσες τιμές εκπομπών O ₃ από τους σταθμούς μέτρησης στην Αττική	42
Γράφημα 2. Μέσες τιμές εκπομπών CO από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής	43
Γράφημα 3. Μέσες τιμές εκπομπών SO ₂ από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής.....	44
Γράφημα 4. Μέσες τιμές εκπομπών NO από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής	45
Γράφημα 5. Μέσες τιμές συγκεντρώσεων NO ₂ από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής..	46
Γράφημα 6. Μέσες τιμές εκπομπών PM _{2,5} από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής	47
Γράφημα 7. Μέσες τιμές εκπομπών PM ₁₀ από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής	48
Γράφημα 8. Μέσες τιμές εκπομπών Βενζολίου από τους σταθμούς μέτρησης της Αττικής ..	49
Γράφημα 9. Μέσες τιμές εκπομπών CO από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς	50
Γράφημα 10. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς	50
Γράφημα 11. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς.....	51
Γράφημα 12. Μέσες τιμές εκπομπών O ₃ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς.....	51

Γράφημα 13. Μέσες τιμές εκπομπών SO ₂ από το σταθμό μέτρησης Αθηνάς.....	51
Γράφημα 14. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας.....	53
Γράφημα 15. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας	53
Γράφημα 16. Μέσες τιμές εκπομπών PM _{2.5} από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας.....	53
Γράφημα 17. Μέσες τιμές εκπομπών PM ₁₀ από το σταθμό μέτρησης Ελευσίνας	54
Γράφημα 18. . Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου.....	55
Γράφημα 19. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου.....	55
Γράφημα 20. Μέσες τιμές εκπομπών O ₃ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου.....	55
Γράφημα 21. Μέσες τιμές εκπομπών PM ₁₀ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου	56
Γράφημα 22. Μέσες τιμές εκπομπών SO ₂ από το σταθμό μέτρησης Κορωπίου	56
Γράφημα 23. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων	58
Γράφημα 24. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων.....	58
Γράφημα 25. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων	58
Γράφημα 26. Μέσες τιμές εκπομπών PM ₁₀ από το σταθμό μέτρησης Λιοσίων	59
Γράφημα 27. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης.....	60
Γράφημα 28. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης.....	60
Γράφημα 29. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Λυκόβρυσης.....	60
Γράφημα 30. Μέσες τιμές εκπομπών βενζολίου από το σταθμό μέτρησης Πατησίων	62
Γράφημα 31 . Μέσες τιμές εκπομπών CO από το σταθμό μέτρησης Πατησίων	62
Γράφημα 32. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Πατησίων	62
Γράφημα 33. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων.....	63
Γράφημα 34. Μέσες τιμές εκπομπών O ₃ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων.....	63
Γράφημα 35. Μέσες τιμές εκπομπών SO ₂ από το σταθμό μέτρησης Πατησίων.....	63
Γράφημα 36. Μέσες τιμές εκπομπών βενζολίου από το σταθμό μέτρησης Πειραιά	65
Γράφημα 37. Μέσες τιμές εκπομπών NO από το σταθμό μέτρησης Πειραιά.....	65
Γράφημα 38. Μέσες τιμές εκπομπών NO ₂ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά	65
Γράφημα 39. Μέσες τιμές εκπομπών O ₃ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά	66
Γράφημα 40. Μέσες τιμές εκπομπών PM _{2.5} από το σταθμό μέτρησης Πειραιά	66
Γράφημα 41. Μέσες τιμές εκπομπών PM ₁₀ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά	66
Γράφημα 42. Μέσες τιμές εκπομπών SO ₂ από το σταθμό μέτρησης Πειραιά.....	67

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C., & Garry, R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature medicine*, 26(4), 450-452.

Boubel, R. W., Vallero, D., Fox, D. L., Turner, B., & Stern, A. C. (2013). *Fundamentals of air pollution*. Elsevier.

Brauer, M. (2010). How much, how long, what, and where: air pollution exposure assessment for epidemiologic studies of respiratory disease. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 7(2), 111-115.

Ciotti, M., Ciccozzi, M., Terrinoni, A., Jiang, W. C., Wang, C. B., & Bernardini, S. (2020). The COVID-19 pandemic. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, 57(6), 365-388.

Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., ... & Forouzanfar, M. H. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907-1918.

Colville, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric environment*, 35(9), 1537-1565.

Davis, D. L. (2002). A look back at the London smog of 1952 and the half century since. *Environmental health perspectives*, 110(12), A734-A735.

Dutheil, F., Baker, J. S., & Navel, V. (2020). COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environmental pollution*, 263, 114466.

Harrison, R. M., & Laxen, D. P. H. (1981). Lead pollution. *Causes and Control*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.

Hinwood, A., Bannister, R., Shugg, A., & Sim, M. (1998). Environmental arsenic in rural Victoria: an update. *Water*, 25(4), 34-36.

Hong, Y. S., Song, K. H., & Chung, J. Y. (2014). Health effects of chronic arsenic exposure. *Journal of preventive medicine and public health*, 47(5), 245.

Incecik, S., & Im, U. (2012). Air pollution in mega cities: a case study of istanbul. *Air Pollution-Monitoring, Modelling and Health, Croatia, InTech*, 77-116.

Jones, D., Wilson, M. J., & Laundon, J. R. (1982). Observations on the location and form of lead in *Stereocaulon vesuvianum*. *The Lichenologist*, 14(3), 281-286.

- Kassomenos, P., Karakitsios, S., & Pilidis, G. (2009). Daily variation of traffic emissions in Athens, Greece. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3), 324-335.
- Lagzi, I., Mészáros, R., Gelybó, G., & Leelőssy, Á. (2013). Atmospheric Chemistry. Eötvös Loránd University.
- Li, L., Li, Q., Huang, L., Wang, Q., Zhu, A., Xu, J., ... & Chan, A. (2020). Air quality changes during the COVID-19 lockdown over the Yangtze River Delta Region: An insight into the impact of human activity pattern changes on air pollution variation. *Science of the Total Environment*, 732, 139282.
- McCabe, L. C., & Clayton, G. D. (1952). Air Pollution by Hydrogen Sulfide in Poza Rica, Mexico. An Evaluation of the Incident of Nov. 24, 1950. *Arch. Indust. Hyg. & Occupational Med.*, 6(3), 199-213.
- Nemery, B., Hoet, P. H., & Nemmar, A. (2001). The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The lancet*, 357(9257), 704-708.
- Papavergou, A., Georgantelis, D., & Vareltzis, K. (2000). Food contamination with cadmium-A review. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 51(3), 205-212.
- Putaud, J. P., Pozzoli, L., Pisoni, E., Martins Dos Santos, S., Lagler, F., Lanzani, G., ... & Colette, A. (2021). Impacts of the COVID-19 lockdown on air pollution at regional and urban background sites in northern Italy. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(10), 7597-7609.
- Rendana, M. (2021). Air pollutant levels during the large-scale social restriction period and its association with case fatality rate of COVID-19. *Aerosol and Air Quality Research*, 21, 200630-200630.
- Seinfeld, J., & Pandis, S. (2008). Atmospheric Chemistry and Physics. 1997. *New York*.
- Shakoor, A., Chen, X., Farooq, T. H., Shahzad, U., Ashraf, F., Rehman, A., & Yan, W. (2020). Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China: two sides of COVID-19 pandemic. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13(11), 1335-1342.
- Singh, Y. K. (2006). *Environmental science*. New Age International.
- Skinner, I., Farmer, A., & Kuik, O. (2006). The Thematic Strategy on Air Pollution. *Policy Brief for the EP Environment Committee*.
- Snyder, L. P. (1994). "The death-dealing smog over Donora, Pennsylvania": industrial air pollution, public health policy, and the politics of expertise, 1948–1949. *Environmental History Review*, 18(1), 117-139.

Varotsos, C., Christodoulakis, J., Kouremadas, G. A., & Fotaki, E. F. (2021). The signature of the coronavirus lockdown in air pollution in Greece. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(3), 1-12.

Von Gunten, U. (2003). Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water research*, 37(7), 1443-1467.

Watkins, J. (2020). Preventing a covid-19 pandemic. *Bmj*, 368.

World Health Organization (WHO) (2021). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project.

Wu, F., Zhao, S., Yu, B., Chen, Y.M., Wang, W., Song, Z.G., Hu, Y., Tao, Z.W., Tian, J.H., Pei, Y.Y. and Yuan, M.L., 2020. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*, 579(7798), pp.265-269.

Xie, M. X., Xie, F., Deng, Z. W., & Zhuang, G. S. (2003). Determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in aerosol by solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrum. *Talanta*, 60(6), 1245-1257.

Ελληνική βιβλιογραφία:

Αλεξόπουλος, Ε. (2002). *Εκτίμηση επαγγελματικής και περιβαλλοντικής έκθεσης σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Βενζόλιο και δείκτες βιολογικής έκθεσης* (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Επιστημών Υγείας. Τμήμα Ιατρικής. Τομέας Κοινωνικής Ιατρικής-Ψυχιατρικής και Νευρολογίας. Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας).

Ανδρεοπούλου, Ε. (2011). *Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα* (Doctoral dissertation).

Γεντεκάκης Ιωάννης Β., Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1999.

Γεωργόπουλος, Α. (1996). *Γη, Ένας Μικρός και Εύθραυστος Πλανήτη* (No. ΙΚΕΕBOOK-2018-037). Aristotle University of Thessaloniki.

Ζάνης, Π. (2014). ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*.

Καραθανάσης, Σ. (2006). Ατμοσφαιρική ρύπανση. *Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη*.

Μελάς, Δ., Μπάης, Α., & Μπαλής, Δ. (2015). Ατμοσφαιρική τεχνολογία.

Μπεργελές, Γ. (2006). Πηγές, Διασπορά και Έλεγχος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Σεραφειμίδης, Π. (2020). Ρύπανση της ατμόσφαιρας. Μια διδακτική προσέγγιση.

Internet:

NASA - Earth Observatory. Global Maps- Carbon Monoxide. Ανακτήθηκε από https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOP_CO_M (8/4/2022)

Ετήσια έκθεση ποιότητας ατμόσφαιρας-2020, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Γεν. Διεύθυνση Περιβαλλοντικής Πολιτικής Δ/νση Κλιματικής Αλλαγής & Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας. Ανακτήθηκε από: <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/ektheseis/> (1/3/2022)

Η χημική ένωση του μήνα, 2009, Θανάσης Βαλαβανίδης, Κωνσταντίνος Ευσταθίου. Ανακτήθηκε από: http://195.134.76.37/chemicals/chem_ozone.htm#09. (5/3/2022)

Κόκκινος, Χ. (2008). Φασματοφωτομετρία UV-VIS. Χημικό εργαστήριο. Ανακτήθηκε από: <http://chimikoergastirio.blogspot.com/2008/09/uv-vis.html> (12/3/2022)

Κόκκινος, Χ. (2009). Αέριο χρωματογραφία- Φασματομετρία μαζών (MS). Χημικό εργαστήριο. Ανακτήθηκε από: <http://chimikoergastirio.blogspot.com/2009/11/s.html> (11/3/2022)

Περιοχές φωτοχημικού νέφους στο λεκανοπέδιο, 2011. Ανακτήθηκε από <https://oikoinfo.wordpress.com> (5/3/2022)

Τι είναι το φωτοχημικό νέφος,2015, Αγιανδρίτης Στέφανος. Ανακτήθηκε από: <https://slideplayer.gr/slide/2393218/> (5/3/2022)

Τι συμβαίνει με τα φλαμίνγκο στη Χαλκιδική. Ανακτήθηκε από https://www.thermisnews.gr/2021/02/blog-post_228.html (27/6/2022)