



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Χωροχρονική εξέλιξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ ΣΟΦΙΑ (ΑΜ 47697)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

| α/α | Όνοματεπώνυμο | Υπογραφή |
|------------|------------------------------|-----------------|
| 1 | ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ | |
| 2 | ΝΤΟΥΡΟΥ ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ | |
| 3 | ΣΙΓΑΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ ΣΟΦΙΑ του ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ με αριθμό μητρώου 47697 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα


Σοφία Δασκαλάκη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Με την περάτωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μουστρή Κωνσταντίνο, που μου δίδαξε το μάθημα της «Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης» και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό. Επιπλέον, είμαι ευγνώμων για την άψογη συνεργασία που είχαμε, για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές του και την προθυμία του να μου μεταδώσει όλες αυτές τις γνώσεις, που αποκόμισα κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Στις σπουδές μου, καθοριστική ήταν η συμβολή των καθηγητών μου στα γνωστικά και τεχνολογικά αντικείμενα που παρακολούθησα, στους οποίους απευθύνω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για την συνεισφορά τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς, συγγενείς, συμφοιτητές και φίλους μου, καθώς με την υποστήριξή τους με ενδυνάμωναν, πίστευαν σε εμένα και με παρότρυναν να συνεχίσω την πορεία μου κατά την διάρκεια των σπουδών μου και μέχρι το τέλος του πτυχίου μου.

Περίληψη

Ο 21^{ος} αιώνας απαρτίζεται από σημαντικά θέματα που αφορούν την βιωσιμότητα του πλανήτη. Ένα πολυσυζητημένο θέμα παγκοσμίως, που βρίσκεται συνεχώς στην επικαιρότητα, είναι το φαινόμενο της «Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης». Στον Ελλαδικό χώρο, τόσο οι έρευνες, όσο και η εξέλιξη των τεχνολογιών, έχουν συμβάλει στην κατάλληλη διαχείριση των εκπομπών, ρυπαντών της ατμόσφαιρας. Για να μπορέσει να γίνει αυτό, βασική προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη προηγούμενων ερευνών που να υποδεικνύουν την τάση και την εξέλιξη του φαινομένου τόσο στον χρόνο, όσο και στον χώρο.

Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, θα γίνει μελέτη της χωροχρονικής διακύμανσης των ατμοσφαιρικών ρύπων SO₂, NO₂, CO και O₃, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης για την χρονική περίοδο 2001-2019. Για το σκοπό αυτό, θα αντληθούν σχετικές μετρήσεις, από τη βάση δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, οι οποίες θα μας δώσουν μία χρονική και χωρική κατανομή της ποιότητας του αέρα στην υπό μελέτη περιοχή. Η μελέτη έχει ως στόχο να διερευνήσει τις τάσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και να παρουσιάσει μία συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Summary

The 21st century is composed of important issues concerning the sustainability of the planet. A controversial issue worldwide, which is constantly in the news, is the phenomenon of "Atmospheric Pollution". In Greece, both research and the development of technologies have contributed to the appropriate management of emissions of atmospheric pollutants. For this to be possible, a basic prerequisite is the existence of previous research indicating the trend and evolution of the phenomenon both in time and space.

In this Diploma Thesis, the spatio-temporal variation of the air pollutants SO₂, NO₂, CO and O₃ in the wider area of Thessaloniki for the period 2001-2019 will be assessed. For this purpose, relevant measurements will be extracted from the air pollution database of the Ministry of Environment and Energy, which will give us a temporal and spatial distribution of air quality in the study area. The survey aims to investigate air pollution trends over the last two decades in the wider Thessaloniki area and to present an overall picture of the results obtained.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ..... | 2 |
| ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 3 |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | 4 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 5 |
| SUMMARY | 5 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: «ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ» | 10 |
| 1.1 Ορισμός Ρύπανσης | 10 |
| 1.2 Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης | 11 |
| 1.3 Τύποι Αέριας Ρύπανσης | 11 |
| 1.3.1 Χειμερινή Αιθαλομίχλη | 12 |
| 1.3.2 Φωτοχημική Αιθαλομίχλη | 12 |
| 1.4 Πηγές Προέλευσης | 12 |
| 1.4.1 Φυσικές πηγές | 12 |
| 1.4.2 Ανθρωπογενείς πηγές | 13 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: «ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ» | 14 |
| 2.1 Πηγές Προέλευσης | 14 |
| 2.1.1 Φυσικές πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων | 14 |
| 2.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων | 14 |
| 2.2 Ρύπος Ορισμός | 16 |
| 2.3 Βασικοί Ατμοσφαιρικοί Ρύποι | 16 |
| 2.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα CO | 17 |
| 2.3.2 Διοξείδιο του αζώτου NO ₂ | 19 |
| 2.3.3 Όζον O ₃ | 22 |
| 2.3.4 Διοξείδιο του θείου SO ₂ | 25 |
| 2.4 Όρια Κοινού και Συναγερμού | 27 |
| 2.4.1 Ορολογία | 27 |
| 2.4.2 Νομοθεσία σχετικά με την Ποιότητα της Ατμόσφαιρας | 27 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: «ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ» | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: «ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ» | 31 |
| 4.1 Μεθοδολογική Προσέγγιση και Παραδοχές | 31 |
| 4.2 Βήματα Μεθοδολογίας | 34 |
| 4.3 Μέθοδος Kriging Interpolation Method | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: «ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑ ΡΥΠΟ ΚΑΙ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ» | 42 |
| 5.1 Μονοξείδιο του άνθρακα CO | 42 |
| 5.2 Διοξείδιο του αζώτου NO ₂ | 51 |

| | | |
|--|---|----|
| 5.3 | Διοξείδιο του θείου SO ₂ | 64 |
| 5.4 | Όζον O ₃ | 73 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: «ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΧΟΛΙΑ» | | 89 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | | 92 |

Εισαγωγή

Στον 21 αιώνα που διανύουμε ένα από τα θέματα της επικαιρότητας είναι η βιωσιμότητα του πλανήτη και το οικολογικό μέλλον του. Ιδιαίτερη σημασία σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στον Ελλαδικό χώρο έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες επί του θέματος, που αποσκοπούν στην κατανόηση του φαινομένου, στα επίπεδα της ρύπανσης, καθώς και στην ανάπτυξη τεχνολογιών με σκοπό την βέλτιστη διαχείριση και αντιμετώπιση του, όπου κρίνεται απαραίτητο.

Ξεκινώντας χρονολογικά από έρευνες που έγιναν πριν το 2000, σημαντικά δεδομένα μας προσφέρουν οι «H.Güsten, G.Heinrich, E.Mönnich, J.Weppner, T.Cvitaš, L.Klasinc, C.A.Varotsos, D.N.Asimakopoulos» μέσα από έρευνα που διεκπεραίωσαν τον Σεπτέμβριο/ Οκτώβριο του 1991 στην Θεσσαλονίκη, σχετικά με την συγκέντρωση του όζοντος. Κάνοντας ένα πείραμα, κατά το οποίο είχαν δεμένο ένα μπαλόνι με όζον ενσωματώνοντας παράλληλα ένα μικρό αισθητήρα, κατάφεραν να βγάλουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η συγκέντρωση του όζοντος αυξάνεται τις πρωινές ώρες, καθώς επηρεάζεται από μετεωρολογικά γεγονότα που προκαλούν το φως του ηλίου, ενώ μειώνεται κατά τις απογευματινές.
- Η κατεύθυνση του ανέμου αποτελεί παράγοντα επιρροής για την συγκέντρωση του ρύπου
- Τις βραδινές ώρες η ποσότητα του όζοντος ελαχιστοποιείται εξαιτίας αντιδράσεων του με το NO. [24]

Κατά την περίοδο 1995, έγινε μία μελέτη που διήρκησε 3 χρόνια με σκοπό την απογραφή εκπομπών από ανθρωπογενείς και βιομηχανικές πηγές. Οι «George Tsilingiridis, Theodoros Zachariadis, Zissis Samaras», μέσω διαγραμμάτων μηνιαίας και ωριαίας διακύμανσης, υπέδειξαν πως οι συγκεντρώσεις εντοπίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό τους χειμερινούς μήνες και τις πρωινές ώρες. Επιπλέον τόνισαν ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της ποιότητας του αέρα θα μειωθούν περισσότερο στις περιοχές με υψηλότερη πυκνότητα εκπομπών, ενδεχομένως λόγω χρήσης πιο βιώσιμων τεχνολογιών. [25]

Δύο χρόνια αργότερα τον Ιανουάριο-Ιούλιο του 1997 οι «Kostas A Kourtidis, Ioannis Ziomas, Christos Zerefos, Evangelos Kosmidis, Panayotis Symeonidis, Epaminondas Christophilopoulos, Stavros Karathanassis, Antonios Mploutsos» ασχολήθηκαν με το ίδιο θέμα, σε πιο περιορισμένη τοπική έκταση και συγκεκριμένα για το κέντρο της Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματά τους ήταν:

- Τον χειμώνα εντοπίζεται αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων συγκριτικά με το καλοκαίρι, με εξαίρεση το O₃.
- Οι πρωτογενείς ρύποι αυξάνονται με την μείωση του ανέμου «μείωση αερισμού της ατμόσφαιρας», με εξαίρεση το O₃.
- Το NO₂ αυξάνεται ελαφρώς όσον αφορά την προηγούμενη περίπτωση, καθώς έχει πρωτογενείς πηγές καύσης και δευτερογενείς, μέσω της αντίδρασης NO + O₃. [26]

Η επόμενη έρευνα έγινε από τους «N.Moussiopoulos, Ch.Vlachokostas, G.Tsilingiridis, I.Douros, E.Hourdakakis, C.Naneris, C.Sidiropoulos», την περίοδο 2002-2010 και αποτελεί χωροχρονική μελέτη. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν:

- Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων CO & SO₂ δεν δυσχεραίνουν την ποιότητα του αέρα, καθώς κυμαίνονται εντός ορίων που έχουν θεσπιστεί.
- Τα οξειδία του αζώτου και το NO₂ τείνουν να συγκεντρώνονται προς τις αστικές περιοχές της Θεσσαλονίκης και κατά μήκος των δρόμων στις περιαστικές, ωστόσο σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 40 μg/m³ (όριο προστασίας για την υγεία/ έτος).
- Ύπαρξη αρκετών υπερβάσεων στην συγκέντρωση του όζοντος και ιδιαίτερα στις περιοχές που εκλείπει το NO. [27]

Σε συνέχεια της προηγούμενης έρευνας οι «Victoria Aleksandropoulou, Mihalis Lazaridis» πραγματοποιούν αντίστοιχη έρευνα για το χρονικό διάστημα 2010-2013 σε τρεις περιοχές (Αθήνα, Βόλο, Θεσσαλονίκη). Οι συγκεκριμένοι έφτασαν στο αποτέλεσμα, πως οι πτητικές ενώσεις παρουσιάζουν ανοδική πορεία σε αντίθεση με τα αιωρούμενα σωματίδια εξαρτώμενα από μετεωρολογικές συνθήκες. Επιπλέον, προχώρησαν στην δημιουργία σεναρίων για την μελλοντική εξέλιξη των ρύπων και υπέδειξαν ότι η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις δεν επηρεάζουν σημαντικά την πορεία τους. [28]

Για ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το προηγούμενο στα πλαίσια Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας ο «Στογιάννης Κλεόνικος» έκανε χωροχρονική μελέτη των επιπέδων εκπομπής των ατμοσφαιρικών ρύπων CO, SO₂, NO, NO₂, O₃, PM_{2,5} και PM₁₀ στα δύο μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε για το χρονικό διάστημα 2010-2017 και υπέδειξε:

- Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά κέντρα και τις περιαστικές περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, κυρίως το ψυχρό μέρος του έτους, ενώ εξαίρεση σε αυτό αποτέλεσε το όζον.
- Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα προκύπτει από την κίνηση οχημάτων, την θέρμανση κτηρίων, την εισροή πληθυσμού και την εκβιομηχανοποίηση σε μεγάλη κλίμακα. [29]

Σε συνέχεια της προηγούμενης έρευνας έρχεται να καλύψει το κενό η μελέτη των «Christina Mitsakoua, James P. Adamson, Artemis Doutsis, Huw Brunt, Sarah J. Jones, Alison M. Gowers, Karen S. Exley» που πραγματοποιήθηκε το χρονικό διάστημα 2016-2020. Η έρευνα έγινε πιο στοχευμένα πάνω στην σύνδεση μεταξύ ατμοσφαιρικής ρύπανσης και M.M.M. (Μέσα Μαζικής Μεταφοράς) και κατέληξαν στο συμπέρασμα:

- Οι μέσες τιμές έκθεσης των μηχανοκίνητων οχημάτων, έχει υψηλότερες συγκεντρώσεις από το ποδήλατο ή το περπάτημα.
- Η συγκέντρωση των ρύπων είναι 3 φορές υψηλότερη εντός πόλεων, σε αντίθεση με τις περιαστικές περιοχές
- Η ποσότητα των ρύπων που εισπνέει ένας άνθρωπος που χρησιμοποιεί ποδήλατο ή περπάτημα για την μετακίνησή του, είναι 4 φορές υψηλότερη στο οδόστρωμα, από ότι στους ποδηλατοδρόμους. [30]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται άμεσα με τις βιομηχανίες και την ποιότητα του κυκλοφοριακού ζητήματος. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το φαινόμενο, είναι η ναυτιλία. Ο «Παπαχατζής Παναγιώτης» στα πλαίσια Διπλωματικής Εργασίας εκπόνησε έρευνα πάνω στην

Ελληνική Ακτοπλοΐα και την σχέση της με το φαινόμενο. Τα δεδομένα που συμπεριέλαβε ήταν από το 1983 έως το 2009 και κατέληξε στο συμπέρασμα:

- Η Παγκόσμια Ναυτιλία είναι υπεύθυνη για το 3,3% των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων, με κλιμάκωση το 2020 που υπολογίζεται ότι θα είναι για το 6%.
- Το CO₂ αποτελεί την κυριότερη μόλυνση της ατμόσφαιρας.
- Η στροφή σε λειτουργικές εφαρμογές και τεχνολογίες στον κλάδο της ναυτιλίας, είναι ικανή να αποφέρει σημαντική μείωση του φαινομένου. [31]

Σε ίδια γραμμή πλεύσης κυμαίνεται και η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους «Sandra Sorte, Vera Rodrigues, Carlos Borrego, Alexandra Monteiro». Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αντανακλούν στα παραπάνω, καθώς οι λιμενικές περιοχές και οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν πηγές εκπομπής ρύπων του αέρα και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητά του. Επιπλέον, συγκεκριμένα για το λιμάνι της Θεσσαλονίκης ποσοτικοποιήθηκε η ποσότητα των PM_{2.5} με χρήση τεχνικών κατανομής και το αποτέλεσμα ήταν η συμβολή του ρύπου κατά 10-14% στις συνολικές εκπομπές των ρύπων της περιοχής. [32]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ατμόσφαιρα αποτελεί το προστατευτικό στρώμα, όπου συντηρεί τη ζωή στη γη. Είναι πηγή του διοξειδίου του άνθρακα για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, του οξυγόνου για την αναπνοή και προμηθεύει άζωτο τους οργανισμούς για τη σύνθεση των δομικών τους μορίων. Αποτελείται από τέσσερις στιβάδες εκ των οποίων, στα πλαίσια της συγκεκριμένης Διπλωματικής εργασίας θα ασχοληθούμε με το κατώτερο της στρώμα την «τροπόσφαιρα». [4]

1.1 Ορισμός Ρύπανσης

Η έννοια της ρύπανσης έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες σημαντικό κομμάτι της καθημερινότητάς και όπως κι αν την ερμηνεύσουμε, ως φαινόμενο είναι αποτέλεσμα του «πολιτισμού». Σήμερα, μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας ασχολείται με όλα τα θέματα που σχετίζονται με τη ρύπανση, όπως η διαχείριση απορριμμάτων, οι σχετικές υποδομές, η ανακύκλωση, η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της ρύπανσης.

"Ρύπανση" σημαίνει την παρουσία ενός ρύπου (δηλαδή οποιασδήποτε ουσίας, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλης μορφής ενέργειας) στο περιβάλλον σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που ενδέχεται να επηρεάσει δυσμενώς την υγεία, τους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα ή υλικές ζημιές και γενικά περιβάλλον ακατάλληλο για την προβλεπόμενη χρήση του.

Όσον αφορά τη μορφή της ρύπανσης, είναι διαφορετικές, ανάλογα με το τμήμα του περιβάλλοντος που επηρεάζεται και τη μορφή του ρύπου.

Η ρύπανση εμφανίζεται όταν αλλάζει η χημική σύσταση των βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος. Η ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους προκαλεί αναδιάταξη των οικοσυστημάτων και μείωση του μεγέθους των πιο ευαίσθητων πληθυσμών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας μπορεί να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα σε ορισμένες ομάδες ανθρώπων, όπως σε ηλικιωμένους ή σε άτομα με άσθμα.

Παλαιότερα οι συγκεντρώσεις αυτές ήταν χαμηλές, πάντα κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, τα καυσαέρια από εργοστάσια, οχήματα, δασικές πυρκαγιές κ.λπ. έχουν αυξηθεί και το φαινόμενο του θερμοκηπίου οδήγησε σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Οι μορφές ρύπανσης που έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στη ζωή μας σήμερα και πρέπει να αντιμετωπιστούν άμεσα είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ρύπανση του εδάφους και η ρύπανση των ωκεανών. [2]

1.2 Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), η ποιότητα του αέρα «περιορίζεται σε καταστάσεις όπου το εξωτερικό περιβάλλον περιέχει συστατικά σε συγκεντρώσεις που θεωρούνται επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον τους».

Κάθε είδος ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα, είτε φυσική είτε ανθρωπογενής, ονομάζεται ατμοσφαιρική και οι παράγοντες που την προκαλούν ονομάζονται ατμοσφαιρικοί ρύποι. Το γενικό πλαίσιο ορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση ως μια κατάσταση ατμοσφαιρικής ανισορροπίας. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην εισαγωγή ξένων ουσιών στον αέρα από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές, με αποτέλεσμα ο αέρας να γίνεται επιβλαβής, συχνά για τις βιολογικές και ιδιαίτερα για τις ανθρώπινες κοινότητες.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στις πόλεις είναι κυρίως ένα μείγμα πολλών διαφορετικών ρύπων, μερικοί από τους οποίους είναι ορατοί, όπως η σκόνη και η αιθάλη, και πολλοί είναι άορατοι, όπως πολύ μικρά σωματίδια ή αέρια. Τα ορατά συστατικά είναι οπτικά διακριτά, ενώ αναμένονται μικρά σωματίδια και αέρια. Η ρύπανση ταξινομείται ως πρωτογενής ή δευτερογενής. Οι πρωτογενείς ρύποι είναι ουσίες που παράγονται απευθείας από διεργασίες, όπως η τέφρα από ηφαιστειακές εκρήξεις ή το μονοξείδιο του άνθρακα στα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Δεν εκπέμπονται δευτερογενείς ρύποι. Δημιουργούνται στον αέρα όταν αντιδρούν ή αλληλεπιδρούν σημαντικοί ρύποι. [1]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Στην Ευρώπη, αυτό το φαινόμενο είναι ένα σημαντικό ζήτημα και έχει μελετηθεί και παρακολουθείται συνεχώς. Έχει παρατηρηθεί ότι οι εκπομπές πολλών ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του αέρα στην περιοχή. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων παραμένουν εξαιρετικά υψηλές και τα προβλήματα ποιότητας του αέρα συνεχίζονται.

‘Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι επιβλαβής για την υγεία μας και τα οικοσυστήματα. Μεγάλο τμήμα του πληθυσμού δεν ζει σε υγιές περιβάλλον, σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα. Για μια βιώσιμη πορεία, η Ευρώπη πρέπει να είναι φιλόδοξη και να μην περιορίζεται στις τρέχουσες νομοθετικές ρυθμίσεις.’

Hans Bruyninckx, εκτελεστικός διευθυντής του ΕΟΠ.[3]

1.3 Τύποι αέριας ρύπανσης

Το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό στις ενεργειακές απαιτήσεις που συνεχώς αυξάνονται για να καλύψουν τις σύγχρονες ανάγκες. Είναι γνωστό στα αστικά κέντρα, τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς να αποτελούν την βασική πηγή προέλευσης των περισσότερων ρύπων της ατμόσφαιρας. Η κατανάλωση συμβατικών καυσίμων, (κυρίως ορυκτών) βρίσκεται στην ρίζα του προβλήματος αυτού του φαινομένου, το οποίο κλιμακώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα.

Δύο τύποι αέριας ρύπανσης κυριάρχησαν στα μεγάλα αστικά κέντρα η «χειμερινή αιθαλομίχλη» και η «φωτοχημική αιθαλομίχλη».

1.3.1 Χειμερινή Αιθαλομίχλη

Ο πρώτος όπως προαναφέρθηκε, έχει σχέση με την καύση άνθρακα και άλλων καυσίμων, υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Αστικές περιοχές με αυτόν τον συγκεκριμένο τύπο ρύπανσης του αέρα, εντοπίζονταν συνήθως, σε τοποθεσίες με ψυχρά κλίματα, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η οικιακή θέρμανση με χρήση καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, όπως ο άνθρακας και το μαζούτ, ήταν οι κύριες πηγές εκπομπής ρύπων. Αξίζει να σημειωθεί το πολύ γνωστό επεισόδιο του Λονδίνου, το Δεκέμβριο του 1952 που χαρακτηρίστηκε «χειμερινή αιθαλομίχλη». Σε τοπικό επίπεδο παρατηρήθηκαν αντίστοιχα φαινόμενα κλιματικών συνθηκών, όπως η φθορά των μαρμάρων του Παρθενώνα, λόγω υψηλών συγκεντρώσεων θειούχων ενώσεων (οξειδία του θείου), που προκλήθηκαν από τη χρήση μαζούτ τις δεκαετίες του 1960 και του 1970.

1.3.2 Φωτοχημική αιθαλομίχλη

Ο δεύτερος τύπος, έχει σχέση με το κυκλοφοριακό πρόβλημα και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά, στο Λος Άντζελες το 1945 και αργότερα σε άλλες πόλεις, όπως η πόλη του Μεξικό, η Ρώμη, το Τόκιο και η Αθήνα. Γνωστή ως «φωτοχημική αιθαλομίχλη», αυτή η αέρια ρύπανση είναι στην πραγματικότητα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα μιας σειράς πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, περιέχουν μεγάλες ποσότητες ρύπων, όπως οξειδία του αζώτου και διάφορες οργανικές ενώσεις, κυρίως υδρογόνο, με απαραίτητη την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.4 Πηγές Προέλευσης

Πηγές (sources) του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πολλές και αναλογικές των ανθρώπων που υπάρχουν στη Γη και ίσως περισσότερες. Στην πραγματικότητα, κάθε άνθρωπος πάνω στη Γη είναι εν δυνάμει αποτελεί πηγή ρύπανσης, όπως θα δούμε παρακάτω, μέσω των δραστηριοτήτων της καθημερινότητάς του. Προβαίνουμε καταρχάς σε ένα γενικευμένο διαχωρισμό. Κατηγοριοποιούμε τις πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε φυσικές (natural) και ανθρωπογενείς (anthropogenic). Φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ορίζονται εκείνες που δεν προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες. [5]

1.4.1 Φυσικές πηγές

Παρά τη επιβαρυντική συμβολή τους στην ποιότητα του αέρα, οι άνθρωποι δεν μπορούν να ελέγξουν άμεσα αυτές τις εκπομπές. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες πηγών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση εδαφών. Αυτές οι πηγές συχνά γίνονται σημαντικές όταν έχουμε μεγάλες εκτάσεις γης με λίγη ή καθόλου βλάστηση. Η ποιότητα του αέρα τόσο της Μεσογείου Θάλασσας όσο και της χώρας μας επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από γεγονότα μεταφοράς σωματιδίων και σκόνης από την Αφρική και την περιοχή της Σαχάρας.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις απελευθέρωσαν μεγάλες ποσότητες θειϊκών αερολυμάτων και τέφρας στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι εκπομπές δεν συμβαίνουν μόνο στην τροπόσφαιρα, αλλά και σε μεγαλύτερα υψόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Ως αποτέλεσμα, τα ηφαιστειακά αερολύματα που εκπέμπονται μαζικά παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα και εξαπλώνονται σε μεγάλες αποστάσεις. Σε αντίθεση με τα αέρια του θερμοκηπίου, τα αερολύματα που προκύπτουν επηρεάζουν το σχηματισμό της θερμοκρασίας ψύχοντας τον αέρα.

Αυτό συμβαίνει επειδή τα αιωρούμενα σωματίδια διασκορπίζονται και απορροφούν το ηλιακό φως και επηρεάζουν τον τρόπο σχηματισμού των σύννεφων.

Σωματίδια και εκπομπές αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα από τις δασικές πυρκαγιές.

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται συνήθως το καλοκαίρι, καθώς ευνοούνται από μεγάλα χρονικά διαστήματα υψηλών θερμοκρασιών και παρατεταμένες ξηρασίες στις μεσογειακές χώρες, που επιφέρουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων και αερίων στην ατμόσφαιρα [4].

1.4.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Οι ανθρωπογενείς πηγές διακρίνονται σε σταθερές και κινητές, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την καύση διαφόρων τύπων καυσίμων.

- Στις σταθερές πηγές συγκαταλέγονται η διαδικασία της ηλεκτροπαραγωγής, η βιομηχανία (παραγωγή ενέργειας και εκπομπές διεργασιών) και η παροχή θερμότητας στα κτήρια.
- Στις κινητές πηγές συγκαταλέγονται τα τροχοφόρα οχήματα, καθώς και η κίνηση πλοίων και αεροσκαφών.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ποσοτικά, η συμβολή κάθε δραστηριότητας στο σύνολο των εκπομπών. Η σχετική επίδραση κάθε δραστηριότητας ποικίλλει χωρικά και χρονικά, ανάλογα με τις ανάγκες και τον τρόπο ζωής. Άλλες ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικών εκπομπών είναι οι τοπικές εκπομπές από την αποτέφρωση γεωργικών προϊόντων και τις χωματερές. Το μεθάνιο παράγεται και εκπέμπεται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Δεν αποτελεί ατμοσφαιρικό ρύπο, αλλά ένα από τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου. Επιπλέον, είναι εύφλεκτο και μπορεί να παράγει εκρηκτικά μείγματα με τον αέρα. [4]

ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

2.1 Πηγές Προέλευσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκληθεί από διάφορες διαδικασίες, φυσικές ή ανθρωπογενείς. Μερικά από αυτά αφήνουν εμφανή ίχνη στον αέρα. Άλλοι μπορούν να περάσουν απαρατήρητοι εκτός εάν διεξαχθούν συγκεκριμένες εξετάσεις.

2.1.1 Φυσικές πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων

Ηφαιστειακές δραστηριότητες: οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκπέμπουν μια σειρά τοξικών αερίων (συμπεριλαμβανομένου του θείου και του χλωρίου) καθώς και σωματίδια (σωματίδια τέφρας) αλλά συνήθως περιορίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές.

Άνεμοι και ρεύματα αέρα : μπορούν να κινητοποιήσουν ρύπους από το έδαφος και να τους μεταφέρουν σε μεγάλες περιοχές.

Δασικές πυρκαγιές : προσθέτουν μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς και σωματίδια, στην ατμόσφαιρα (που περιέχουν οργανικούς μολυσματικούς παράγοντες όπως ΡΑΗ). Θα μπορούσαν να επηρεάσουν σημαντικά διάφορες περιοχές, αν και γενικά είναι περιορισμένες και ενδέχεται να περιορίζονται.

Μικροβιακές διαδικασίες αποσύνθεσης : μικροοργανισμοί που υπάρχουν σε οποιοδήποτε περιβάλλον έχουν σημαντικό ρόλο στις φυσικές διαδικασίες αποσύνθεσης των ζωντανών οργανισμών καθώς και στους περιβαλλοντικούς ρυπαντές. Αυτή η δραστηριότητα έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική απελευθέρωση αερίων, ιδίως αερίου μεθανίου.

Ραδιενεργές διαδικασίες αποσύνθεσης : για παράδειγμα, το αέριο ραδόνιο εκπέμπεται λόγω φυσικών διαδικασιών διάσπασης του φλοιού της Γης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να συσσωρευτεί σε κλειστούς χώρους, όπως υπόγεια.

Αύξηση θερμοκρασιών : συμβάλλουν στην αύξηση των ποσοτήτων ρύπων που εξατμίζονται από μολυσμένο έδαφος και νερό στον αέρα.

2.1.2 Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων

Εξόρυξη και τήξη : εκπέμπουν στον αέρα μια ποικιλία μετάλλων που απορροφώνται σε σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα λόγω σύνθλιψης και επεξεργασίας ορυκτολογικών αποθέσεων.

Η απόρριψη ορυχείων : λόγω της λεπτής σωματιδιακής φύσης τους (που προκύπτει μετά τη σύνθλιψη και την επεξεργασία μεταλλευμάτων) αποτελούν πηγή μετάλλων στον ατμοσφαιρικό αέρα που θα μπορούσε να εξαπλωθεί από τον άνεμο σε μεγάλες περιοχές.

Δραστηριότητες χυτηρίου : εκπέμπουν στον αέρα μια ποικιλία μετάλλων που απορροφώνται σε σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα λόγω επεξεργασίας μεταλλικών πρώτων υλών (συμπεριλαμβανομένης της χρήσης κλιβάνων).

Διάφορες βιομηχανικές διεργασίες : ενδέχεται να εκπέμπουν οργανικούς και ανόργανους ρύπους μέσω τυχαίων διαρροών και διαρροών αποθηκευμένων χημικών ουσιών ή χειρισμού και αποθήκευσης χημικών ουσιών - ειδικά πτητικών ανόργανων χημικών

Μεταφορά : εκπέμπει μια σειρά ατμοσφαιρικών ρύπων (αέρια - συμπεριλαμβανομένου του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του θείου και των οξειδίων του αζώτου - και σωματιδίων) μέσω των αερίων της εξάτμισης λόγω εσωτερικής καύσης διαφόρων καυσίμων (συνήθως αέρια όπως οξείδια άνθρακα, θείου, άζωτο, καθώς και οργανικές χημικές ουσίες όπως PAH)

Δραστηριότητες κατασκευής και κατεδάφισης : μολύνουν τον αέρα με διάφορα δομικά υλικά. Ιδιαίτερη απειλή είναι η κατεδάφιση παλιών κτιρίων που ενδέχεται να περιέχουν μια σειρά απαγορευμένων χημικών όπως PCB, PBDE, αμιάντος.

Σταθμοί παραγωγής ενέργειας από άνθρακα : κατά την καύση άνθρακα αυτό μπορεί να εκπέμπει μια σειρά αερίων καθώς και σωματίδια με μέταλλα (όπως As, Pb, Hg) και οργανικές ενώσεις (ειδικά PAH).

Θέρμανση κτιρίων : εκπέμπει μια σειρά αερίων και σωματιδίων λόγω καύσης ορυκτών καυσίμων.

Αποτέφρωση αποβλήτων : ανάλογα με τη σύνθεση των αποβλήτων, διάφορα τοξικά αέρια και σωματίδια εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

Πρακτικές απόρριψης χωματερών : συνήθως παράγουν μεθάνιο λόγω της εντατικοποίησης της φυσικής μικροβιακής δραστηριότητας αποσύνθεσης στην περιοχή διάθεσης.

Γεωργία : ρυπαίνουν τον αέρα συνήθως μέσω εκπομπών αερίων αμμωνίας και εφαρμογής φυτοφαρμάκων/ζιζανιοκτόνων/εντομοκτόνων που περιέχουν τοξικές πτητικές οργανικές ενώσεις.

Έλεγχος της καύσης στη διαχείριση των δασών και της γεωργίας : περιλαμβάνει ελεγχόμενη καύση που θα εκπέμπει αέρια και σωματίδια (παρόμοια με τις πυρκαγιές που περιγράφονται παραπάνω)

Στρατιωτικές δραστηριότητες : μπορεί να εισάγουν τοξικά αέρια μέσω πρακτικών και εκπαίδευσης.

Κάπνισμα : εκπέμπει μια σειρά τοξικών χημικών, συμπεριλαμβανομένης μιας σειράς οργανικών και ανόργανων χημικών, μερικές από τις οποίες είναι καρκινογόνες.

Αποθήκευση και χρήση οικιακών προϊόντων, όπως χρώματα, σπρέι, βερνίκια, κ.λπ. που περιέχουν οργανικούς διαλύτες που εξατμίζονται στον αέρα (εξ ου και η μυρωδιά που όλοι νιώθουμε κατά τη χρήση τους).

Στεγνά καθαρισμένα ρούχα : μπορεί να συγκρατούν και να εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μικρές ποσότητες χλωριωμένων διαλυτών (όπως PCE) ή διαλυτών πετρελαίου που έχουν χρησιμοποιηθεί από τα στεγνά καθαριστικά. Αυτό θα μπορούσε τελικά να δημιουργήσει κίνδυνο για την υγεία εάν τα ρούχα που επιστρέφονται από τα στεγνοκαθαριστήρια αποθηκεύονται σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους. [6]

2.2 Ρύπος Ορισμός

Σύμφωνα με το νόμο, ρύπανση είναι κάθε ουσία που υπάρχει στον αέρα που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία του πληθυσμού ή/και του περιβάλλοντος συνολικά. Ως ατμοσφαιρικοί ρύποι ορίζονται τα αέρια ή τα αερολύματα που εντοπίζονται στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις, που απειλούν την κανονική ζωή και την υγεία των οργανισμών ή παρεμποδίζουν και μεταβάλλουν την κανονική ροή λειτουργίας των οικοσυστημάτων. Οι ρύποι που αποδίδονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από την πηγή και επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι. Παραδείγματα σημαντικών ρυπαντών είναι το μονοξείδιο του άνθρακα από τα καυσαέρια των οχημάτων και το διοξείδιο του θείου από την καύση άνθρακα (άνθρακας-λιγνίτης). Περαιτέρω ρύπανση συμβαίνει όταν οι πρωτογενείς ρύποι, αλλάζουν στον αέρα μέσω φωτοχημικών ή χημικών αντιδράσεων (υπό την επίδραση της ακτινοβολίας του ηλίου). Οι ρύποι που παράγονται από αυτούς τους μετασχηματισμούς ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι. Παραδείγματα δευτερογενών ρύπων είναι το όζον και οι οξειδωμένες μορφές οργανικών ενώσεων όπως ορισμένες αλδεΐδες και άλατα υπεροξικού οξέος - νιτρικά ακετύλιο. Οι δευτερογενείς ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι πιο επιβλαβείς για την υγεία και τα οικοσυστήματα από τους πρωτογενείς ατμοσφαιρικούς ρύπους.

2.3 Βασικοί Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Οι ρύποι προτεραιότητας (priority pollutants) είναι αυτοί που ισχύουν στην ΕΕ, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και σε άλλες χώρες: έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται τυπικές μέθοδοι δειγματοληψίας και προσδιορισμού συγκέντρωσης από εξειδικευμένα μηχανήματα στο σημείο εκκένωσης της πηγής καθώς και στο σημείο εκκένωσης αέρα. Έχουν θεσπιστεί και εφαρμοστεί όρια εκπομπών πηγών και όρια αέρα περιβάλλοντος. Υπάρχουν εθνικά δίκτυα παρακολούθησης, με επίκεντρο τα μεγάλα αστικά κέντρα.

Στους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους ανήκουν:

- Το μονοξείδιο του θείου (SO₂) Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και τα οξείδια του αζώτου
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Ο μόλυβδος (Pb) λόγω της τοξικότητάς του
- Τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 10 μm, διότι αυτά εισπνέονται. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες: τα ΑΣ₁₀ και τα ΑΣ_{2,5}
- Το βενζόλιο, λόγω της επικινδυνότητάς του (καρκινογόνο). Ανήκουν και στην κατηγορία των Πτητικών Ενώσεων (ΠΟΕ).
- Το όζον (O₃)
- Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)- Volatile Organic Compounds (VOC)

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας θα ασχοληθούμε εκτενέστερα με τους ρύπους CO, NO₂, O₃, SO₂

2.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα CO

Το **μονοξείδιο του άνθρακα** είναι μια ανόργανη ένωση δύο ατόμων που περιέχει άνθρακα και οξυγόνο με μοριακό τύπο CO. Το χημικά καθαρό μονοξείδιο του άνθρακα, υπό «κανονικές συνθήκες», δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 ατμόσφαιρας, είναι ένα άχρωμο, άοσμο, εύφλεκτο αέριο. Λόγω της ιδιότητάς του ως άοσμο έχει χαρακτηριστεί και ως σιωπηλός δολοφόνος, ενώ τα πρώτα συμπτώματα πιθανής δηλητηρίασης από αυτό, μοιάζουν σαν εκείνα του κρυολογήματος. Είναι τοξικό για τον άνθρωπο και τα ζώα ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις (έως 35 ppm). Προκύπτει σε μικρή σύσταση από τον φυσιολογικό μεταβολισμό των ζώων και πιστεύεται ότι εμπλέκεται σε ορισμένες φυσιολογικές βιολογικές λειτουργίες. Στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ πτητικό, έχει μικρή διάρκεια ζωής και παίζει ρόλο στο σχηματισμό του προ-ατμοσφαιρικού όζοντος. Ένα μόριο μονοξειδίου του άνθρακα αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου, συνδεδεμένα με έναν (συνολικό) τριπλό δεσμό ($-\text{C}\equiv\text{O}:+$), που αποτελείται από δύο ομοιοπολικούς δεσμούς και έναν δεσμό συναρμογής. Είναι ο απλούστερος άνθρακας (μια ένωση που αποτελείται μόνο από άνθρακα και οξυγόνο).

Επιπλέον, αυτή η ένωση είναι ισοηλεκτρονιακή με ανιόν κυανιδίου (CN⁻), κατιόν μονοξειδίου του αζώτου (NO⁺) και διάζωτο (N₂). Σε συζευγμένες ενώσεις, το μονοξείδιο του άνθρακα ως σύζευξη αναφέρεται ως «καρβονύλιο» και το πρόθεμα «καρβονύλιο(ο)-» χρησιμοποιείται στην ονομασία αυτών των ενώσεων. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από τη μερική οξείδωση ενώσεων που περιέχουν άνθρακα ή ακόμα και στοιχειακού άνθρακα. Παράγεται όταν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), όπως όταν λειτουργεί ένας καυστήρας ή ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης σε εσωτερικούς χώρους. Παρουσία οξυγόνου, το μονοξείδιο του άνθρακα καίγεται με μπλε φλόγα και παράγει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το υγραέριο, που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για φωτισμό, μαγείρεμα και θέρμανση σε σπίτια μέχρι τη δεκαετία του 1960, περιείχε μονοξείδιο του άνθρακα ως σημαντικό συστατικό καυσίμου. Ως παραπροϊόν, προκύπτει και από σύγχρονες διεργασίες, όπως εκείνες της μεταλλουργίας σιδήρου και της καύσης οργανικών υλικών, όπως των ξύλων.

Παγκοσμίως, λόγω των φωτοχημικών αντιδράσεων στην τροπόσφαιρα, η μεγαλύτερη πηγή μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι φυσικές πηγές, οι οποίες εκτιμάται ότι παράγουν περίπου $5 \cdot 10^{12}$ kg μονοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Στην φύση εντοπίζονται ίχνη του ως φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας με μέση συγκέντρωση 1,45 μg/m³. Άλλες φυσικές πηγές μονοξειδίου του άνθρακα περιλαμβάνουν ηφαίστεια, δασικές πυρκαγιές και άλλες μορφές καύσης (φυσικές μόνο εάν προκαλούνται από φυσικά αίτια). Στη βιολογία, το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται τυπικά από τη δράση του οξυγόνου της αίμης στην αίμη κατά τον καταβολισμό της αιμοσφαιρίνης. Αυτή η διαδικασία παράγει μια ορισμένη ποσότητα καρβοξυαιμοσφαιρίνης σε φυσιολογικά άτομα, ακόμα κι αν δεν εισπνέουν μονοξείδιο του άνθρακα.

Λαμβάνοντας υπόψη την πρώτη αναφορά το 1993 ότι το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένας φυσιολογικός νευροδιαβιβαστής και ότι είναι ένα από τα τρία αέρια (τα άλλα δύο είναι το διοξείδιο του αζώτου και το υδρόθειο) που κανονικά κινητοποιούν τον βιοδιαμορφωτή A του σώματος που έχει προσελκύσει ευρεία κλινική προσοχή. Σε πολλούς ιστούς, και τα τρία αέρια είναι γνωστό ότι δρουν ως αντιφλεγμονώδεις παράγοντες, αγγειοδιασταλτικοί παράγοντες και υποστηρικτικοί παράγοντες για την ανάπτυξη νέων αιμοφόρων αγγείων. Σε εξέλιξη βρίσκονται κλινικές δοκιμές μονοξειδίου του άνθρακα σε χαμηλή δόση ως φάρμακο. Ωστόσο, πάρα πολύ μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα.

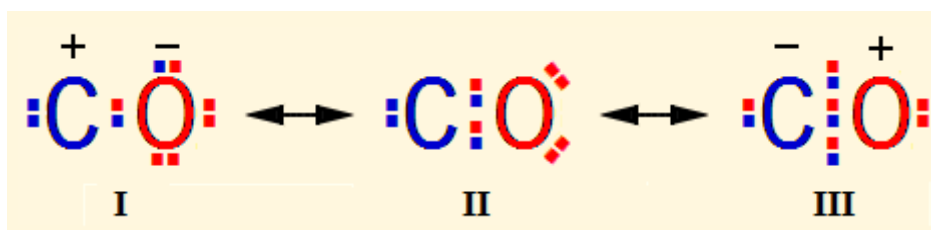
Στην Ελλάδα, αποτέλεσε θέμα της επικαιρότητας ιδιαίτερα την περίοδο της υψηλής αύξησης του πετρελαίου, όπου οδήγησε αρκετό πληθυσμό στην χρήση θέρμανσης με τζάκι.



Ατμοσφαιρική παρουσία

Το μονοξείδιο του άνθρακα υπάρχει σε μικρή ποσότητα στη γη, κυρίως ως προϊόν ηφαιστειακής δραστηριότητας, αλλά και από φυσικές και ανθρωπογενείς πυρκαγιές (π.χ. δάση και θάμνοι, απομάκρυνση διαφόρων γεωργικών υπολειμμάτων μέσω πυρκαγιάς). Η καύση ορυκτών καυσίμων συμβάλλει εξίσου στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο λιωμένο μάγμα, υπό την υψηλή πίεση του μανδύα. Λόγω των φυσικών του πηγών, οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα ποικίλλουν από έτος σε έτος, γι' αυτό και αποτελεί δύσκολη διαδικασία για την ακριβή μέτρηση των φυσικών εκπομπών αυτού του αερίου.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα βραχύβιο αέριο θερμοκηπίου και αυξάνει τα επίπεδα μεθανίου και όζοντος στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων (όπως η ελεύθερη ατμόσφαιρα), που έμμεσα οδηγούν σε παγιδευμένα φαινόμενα ακτινοβολίας, που έχουν την κλίση να τα εξουδετερώνουν. Στην ατμόσφαιρα της Αφροδίτης, το μονοξείδιο του άνθρακα είναι προϊόν της φωτόλυσης του διοξειδίου του άνθρακα και η ηλεκτρομαγνητική του ακτινοβολία είναι μικρότερη από 169 nm. Το μονοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται ως ρύπος λόγω του μικρού χρόνου ημιζωής του στη μέση της τροπόσφαιρας. [7]



Εικόνα 1: Ηλεκτρονιακή δομή με απλό δεσμό (I), διπλό δεσμό (II) και τριπλό δεσμό (III)

2.3.2 Διοξείδιο του αζώτου NO₂

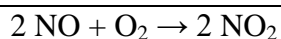
Το διοξείδιο του αζώτου είναι μια ένωση με χημικό τύπο NO₂. Είναι ένα από τα οξείδια του αζώτου. Το NO₂ είναι ένα ενδιάμεσο στη βιομηχανική σύνθεση του νιτρικού οξέος, παράγοντας εκατομμύρια τόνους ετησίως. Αυτό το κοκκινοκαφέ τοξικό αέριο έχει μια μοναδική ερεθιστική και πικάντικη οσμή και είναι ένας σημαντικός αέριος ρύπος. Το διοξείδιο του αζώτου είναι ένα παραμαγνητικό, καμπύλο μόριο με μοριακή συμμετρία C_{2v}.



Μοριακές ιδιότητες

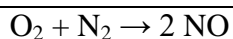
Το μοριακό βάρος του διοξειδίου του αζώτου είναι 46,0055, το οποίο είναι βαρύτερο από τον αέρα και το μέσο μοριακό βάρος του αέρα είναι 28,8. Το μήκος του χημικού δεσμού μεταξύ ατόμων αζώτου και οξυγόνου είναι 119,7 pm. Το μήκος του δεσμού είναι συνεπές με τη σειρά δεσμών από ένα έως δύο.

Σε αντίθεση με το όζον (το O₃), η θεμελιώδης κατάσταση ηλεκτρονίων του διοξειδίου του αζώτου είναι δύο καταστάσεων επειδή το άζωτο έχει ένα αδέσμευτο ηλεκτρόνιο, το οποίο μειώνει το φαινόμενο άλφα σε σύγκριση με τα νιτρώδη και δημιουργεί έναν ασθενή δεσμό με ένα μόνο ζεύγος αλληλεπίδρασης οξυγόνου. Το απλό ηλεκτρόνιο στο NO₂ σημαίνει επίσης ότι η ένωση είναι μια ελεύθερη ρίζα, επομένως ο τύπος για το διοξείδιο του αζώτου συνήθως γράφεται ως •NO₂. Το διοξείδιο του αζώτου παράγεται συνήθως από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου με οξυγόνο στον αέρα:

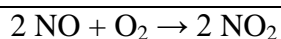


Θέματα ασφάλειας και ρύπανσης

Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί τοξικό αέριο εάν εισπνέεται. Ωστόσο, επειδή η ένωση είναι ερεθιστική και ανιχνεύεται εύκολα από τη μυρωδιά σε χαμηλή σύσταση, η έκθεση στην αναπνοή είναι εφικτό και να αποφευχθεί. Μια πιθανή πηγή έκθεσης είναι το κόκκινο ατμίζον νιτρικό οξύ, το οποίο παράγει NO₂ πάνω από 0°C. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης (πνευμονικό οίδημα) τείνουν να εμφανίζονται αρκετό χρονικό διάστημα, μετά την εισπνοή χαμηλών, αλλά δυνητικά θανατηφόρων δόσεων. Επιπλέον, οι χαμηλές συγκεντρώσεις (4 ppm) μπορούν να μουδιάσουν τη οσφρητική περιοχή, δημιουργώντας πιθανή υπερέκθεση. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η χρόνια έκθεση σε συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου πάνω από 40–100 µg/m³ μπορεί να μειώσει τη σωστή λειτουργία των πνευμόνων, ενώ παράλληλα να αυξήσει τον κίνδυνο αναπνευστικών συμπτωμάτων. Το διοξείδιο του αζώτου σχηματίζεται κατά τις περισσότερες διαδικασίες καύσης, που χρησιμοποιούν τον αέρα ως οξειδωτικό. Σε υψηλές θερμοκρασίες, το διατομικό άζωτο δημιουργεί ένωση με το οξυγόνο για να σχηματίσει μονοξείδιο του αζώτου:



Το μονοξείδιο του αζώτου μπορεί να οξειδωθεί στον αέρα για να σχηματίσει διοξείδιο του αζώτου. Κάτω από κανονικές ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις, αυτή είναι μια πολύ αργή διαδικασία.

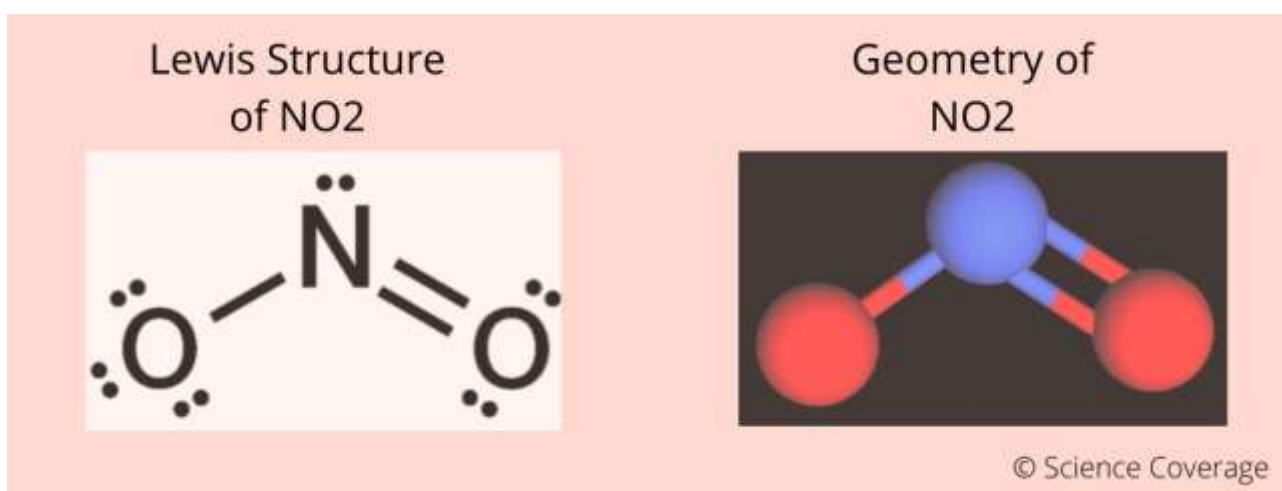


Οι πιο σημαντικές πηγές NO₂ είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί και, σε μικρότερο βαθμό, οι μύλοι χαρτοπολτού. Οι θερμάστρες και οι φούρνοι αερίου βουτανίου είναι επίσης πηγές. Η πλήρης καύση του καυσίμου σε αυτές τις διεργασίες απαιτεί περίσσεια αέρα, η οποία εισάγει άζωτο στην αντίδραση καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες και παράγει οξείδια του αζώτου (NO_x). Ο περιορισμός της παραγωγής NO_x απαιτεί ακριβή έλεγχο του αέρα που χρησιμοποιείται στην καύση. Στα σπίτια, οι θερμάστρες κηροζίνης και αερίου είναι πηγές διοξειδίου του αζώτου. Το διοξείδιο του αζώτου παράγεται επίσης από δοκιμές ατμοσφαιρικών πυρηνικών όπλων και είναι υπεύθυνο για το κόκκινο χρώμα του νέφους των μανιταριών.

Το διοξείδιο του αζώτου είναι ένας ρύπος μεγάλης κλίμακας, με συγκεντρώσεις στο έδαφος ορισμένων αγροτικών περιοχών περίπου στα 30 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο, όχι πολύ μακριά από ανθυγιεινά επίπεδα. Το διοξείδιο του αζώτου αναλαμβάνει σημαντικό ρόλο στην χημεία της ατμόσφαιρας, μεταξύ άλλων και στο σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος. Μια μελέτη που διεξήχθη το 2005 από ερευνητές στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Σαν Ντιέγκο έδειξε συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων διοξειδίου του αζώτου και του συνδρόμου αιφνίδιου βρεφικού θανάτου. Το διοξείδιο του αζώτου εμφανίζεται επίσης φυσικά κατά τη διάρκεια ηλεκτρικών εκκενώσεων/καταιγίδων. Ο όρος για αυτή τη διαδικασία είναι "δέσμευση ατμοσφαιρικού αζώτου". Το νερό της βροχής που προκύπτει από τέτοιου είδους καταιγίδες είναι ιδιαίτερα ευεργετικό για τους κήπους επειδή περιέχει ίχνη λιπασμάτων. (Henry Cavendish 1784, Birkland- Eyde Process 1903) [8]

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα οξείδια του αζώτου προκαλούν δυσχερείς οικολογικές επιβαρύνσεις. Το χειρότερο από αυτά οφείλεται στο νιτρικό οξύ, το τελικό προϊόν της χημικής αντίδρασης του διοξειδίου του αζώτου στον αέρα. Η μετατροπή των οξειδίων του αζώτου λαμβάνει χώρα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, επομένως η επίδραση εμφανίζεται σε μικρές έως μεσαίες αποστάσεις από την πηγή εκπομπής. Η οξίνιση του νερού έχει αρνητικό αντίκτυπο στον πληθυσμό των ψαριών και άλλων ειδών. Η όξινη βροχή σε συνδυασμό με την καταστροφή του όζοντος, τις υψηλές θερμοκρασίες και τις ξηρασίες έχουν οδηγήσει σε απώλεια δασικής έκτασης σε διάφορες περιοχές. Σε ευαίσθητες εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές, η αζωτούχα ρύπανση από την απορροή λιπασμάτων, τα λύματα και την ατμοσφαιρική εναπόθεση μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή επιβλαβών φυτών και οργανισμών. Ο μακροπρόθεσμος αντίκτυπος αυτών των αλλαγών είναι άγνωστος. [10]



Εικόνα 2: Ηλεκτρονιακή δομή διοξειδίου του αζώτου

2.3.3 Όζον O₃

Το όζον (O₃) ή τριοξυγόνο είναι ένα τριατομικό ομογενοποιημένο οξυγόνο με χημικό τύπο O₃. Το καθαρό όζον είναι ένα ανοιχτό μπλε αέριο με μια ευδιάκριτη πικάντικη οσμή υπό «κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος», δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 ατμόσφαιρας. Είναι ελαφρώς λιγότερο σταθερό από το μοριακό οξυγόνο (διατομική μορφή), γι' αυτό και το όζον αποικοδομείται σε κανονικό οξυγόνο στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Σχηματίζεται από μοριακό οξυγόνο υπό την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας καθώς και υπό την επίδραση της ατμοσφαιρικής εκκένωσης και υπάρχει σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Στην τροπόσφαιρα (το κάτω μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικείται από ανθρώπους), το όζον θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος και ορίζεται ένα σύνολο τιμών για τη μετρούμενη συγκέντρωσή του. Ενώ ο στόχος της τροπόσφαιρας είναι να μειώσει τις συγκεντρώσεις του όζοντος, της στρατόσφαιρας είναι να σταθεροποιήσει τις συγκεντρώσεις του όζοντος. Στη στρατόσφαιρα (το εξωτερικό μέρος της ατμόσφαιρας της Γης), το όζον θεωρείται εμπόδιο στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου. Η μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα ονομάζεται τρύπα του όζοντος.

Το όζον έχει μια έντονη μυρωδιά που θυμίζει αέριο χλώριο, το οποίο πολλοί άνθρωποι αντιλαμβάνονται στον αέρα σε συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές, όσο 10 ppb. Ο χημικός τύπος για το όζον (O₃) καθιερώθηκε το 1865. Το μόριο αργότερα αποδείχθηκε ότι είναι διαμαγνητικό. Υπό κανονικές συνθήκες, εμφανίζεται ως ανοιχτό μπλε αέριο, που συμπυκνώνεται σταδιακά σε χαμηλές θερμοκρασίες, ύστερα μεταβάλλεται σε σκούρο μπλε υγρό και καταλήγει (με επιπλέον ψύξη) μωβ-μαύρο στερεό. Σε σύγκριση με το συνηθισμένο οξυγόνο, η αστάθεια του όζοντος επιτρέπει τόσο στο συμπυκνωμένο αέριο όζοντος όσο και στο υγρό όζον να αποσυντίθενται εκρηκτικά. Ως εκ τούτου, στον τομέα του εμπορίου γίνεται χρήση του μόνο σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το όζον αποτελεί πολύ ισχυρό οξειδωτικό προϊόν, αρκετά ισχυρότερο από το οξυγόνο και αξιοποιείται σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές που σχετίζονται με την οξείδωση. Ωστόσο, λόγω του ισχυρού οξειδωτικού του δυναμικού, το όζον μπορεί να προκαλέσει βλάβες στους βλεννογόνους και τους αναπνευστικούς ιστούς των ζώων, αλλά και στους φυτικούς ιστούς, σε συγκεντρώσεις άνω των περίπου 100 ppb. Αυτό καθιστά το όζον δυνητικό αναπνευστικό κίνδυνο και επομένως ρύπο όταν βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της Γης. Από την άλλη πλευρά, το λεγόμενο «στρώμα του όζοντος» είναι το τμήμα της στρατόσφαιρας με υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος, μεταξύ 2 και 8 ppm, και είναι κρίσιμο γιατί εμποδίζει το επιβλαβές ηλιακό φως να φτάσει στην επιφάνεια, όπου ωφελεί φυτά, ζώα και ανθρώπους.



Χημικές Ιδιότητες

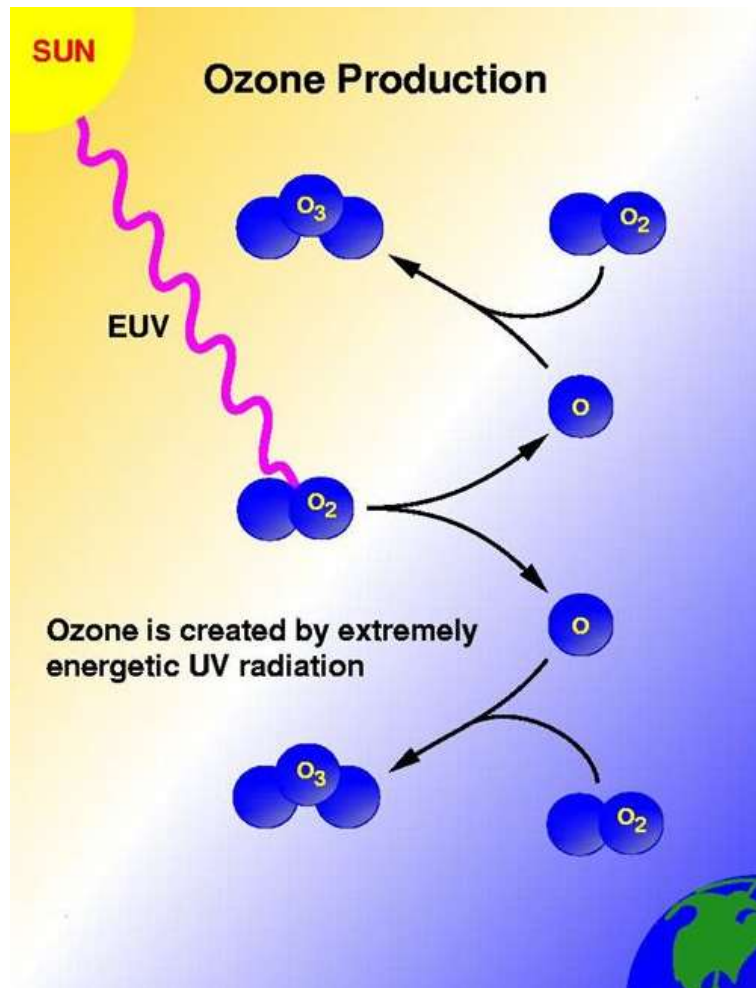
Χαρακτηρίζεται ασταθές αέριο, ιδιαίτερα οξειδωτικό, πολύ τοξικό, έχοντας χαρακτηριστική οσμή και μπλε χρώμα. Ελαφρώς διαλυτό στο νερό, ασταθές και εύκολο να αποσυντεθεί, χωρίς να αφήνει υπολείμματα. Το όζον από τη στάθμη της θάλασσας θεωρείται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ως αυτός ο ατμοσφαιρικός ρύπος που επηρεάζει αρνητικά το αναπνευστικό σύστημα των μελών του ζωικού βασιλείου. Το όζον από την άλλη είναι χρήσιμο στην ανώτερη ατμόσφαιρα, διότι απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία, που θεωρείται επιβλαβής, άρα δεν φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Εμφανίζεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης. Το όζον έχει πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται επίσης στην οζονοθεραπεία, μια πρακτική εναλλακτικής ιατρικής που δεν είναι αποδεκτή από την κύρια επιστημονική ιατρική κοινότητα.

Παραγωγή όζοντος

Το όζον μπορεί να παραχθεί από ξηρό O_2 ή αέρα περιβάλλοντος, οδηγώντας σε περιοχές όπου εμφανίζονται εκκενώσεις 5.000 έως 20.000 βολτ. Ορισμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα παράγουν μεγάλες ποσότητες όζοντος, ειδικά εξοπλισμός υψηλής τάσης, όπως ιονιστές αέρα, εκτυπωτές λέιζερ, φωτοαντιγραφικά και συγκολλητές. Οι συσκευές με ηλεκτρικούς περιστρεφόμενους κινητήρες μπορούν επίσης να παράγουν όζον δημιουργώντας συνεχώς σπινθήρες μέσα στον κινητήρα. Επιπλέον αποτελεί δευτερογενή ρύπο, καθώς δεν προκύπτει κατευθείαν από την πηγή, αλλά μέσα από επιπλέον οξείδωση παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τόσο το όζον, όσο και τα υπόλοιπα οξειδωτικά, προκαλούν σημαντικές ζημιές στις καλλιέργειες και στα δάση. Η κύρια επίπτωση στους φυτικούς οργανισμούς είναι τα φύλλα τους, ακολουθούμενη από βλάβη στην ανάπτυξή τους, η οποία βλάπτει ολόκληρη την καλλιέργεια. Οι απώλειες σε βασικές καλλιέργειες όπως η σόγια, τα φιστίκια, το καλαμπόκι και το σιτάρι είναι συνήθως πάνω από 10 τοις εκατό, ενώ οι απώλειες στις ντομάτες και τα φασόλια είναι πάνω από 20 τοις εκατό. Της τάξης των δισεκατομμυρίων δολαρίων υπολογίζονται οι ετήσιες απώλειες της οικονομίας του κλάδου. Η ζημιά στα δάση από τις τρέχουσες συγκεντρώσεις του όζοντος στο υπόβαθρο περιλαμβάνει ζημιά και πρόωρη πτώση των φύλλων, μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα, περιορισμό ανάπτυξης και αυξημένη προσβολή από σκαθάρια. Άλλες λειτουργίες των οργανισμών και των οικοσυστημάτων όπως οι λειχήνες και ο κύκλος των θρεπτικών ουσιών, επηρεάζονται επίσης. Τα οξειδωτικά μπορούν επίσης να καταστρέψουν υλικά και αντικείμενα που χρειαζόμαστε καθημερινά. Προκαλούν ρωγμές πλαστικών και καουτσούκ (όπως τροχοί), υποβάθμιση και εξασθένηση των υφαντικών ινών και βαφών. [10]



Εικόνα 3: Τρόπος δημιουργίας όζοντος (δευτερογενής ρύπος)

2.3.4 Διοξείδιο του θείου SO₂

Το διοξείδιο του θείου και ορισμένα προϊόντα που προκύπτουν από τις χημικές του αντιδράσεις, όπως τα θειικά άλατα, είχαν μερίδιο ευθύνης για πολλά από τα χειρότερα περιστατικά ρύπανσης αερίων του εικοστού αιώνα. Η περίφημη ομίχλη του Λονδίνου του 1950 περιείχε διοξείδιο του θείου και καπνό. Χιλιάδες ήταν εκείνοι που πέθαναν κάτω από αυτές τις συνθήκες και πολλοί νοσηλεύτηκαν με αναπνευστικά προβλήματα. Η λέξη αιθαλομίχλη χρησιμοποιείται ως περιγραφικός όρος για τον καπνό και την ομίχλη, που είναι ένας συνδυασμός διοξειδίου του θείου και σωματιδίων, τα οποία συνδέονται με σταγονίδια νερού. Το διοξείδιο του θείου χρησιμοποιείται στα πλαίσια της απολύμανσης στα σταφύλια και στα βαρέλια κρασιού εδώ και χιλιάδες χρόνια, ενώ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συντηρητικό, αποχρωματιστικό και ποτιστικό για σταφύλια, βερίκοκα και άλλα φρούτα και λαχανικά. Ανήκει στην κατηγορία των συντηρητικών που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα και είναι το δραστικό συστατικό που προκαλεί αλλεργικές αντιδράσεις σε άτομα που τρώνε τέτοιες τροφές.



Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, έχει έντονα ερεθιστική οσμή. Η αντίδρασή του με οξειδωτικά ή σωματίδια είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί στην ατμόσφαιρα, προς σχηματισμό σουλφιδίων και όξινων σωματιδίων του θείου. Τα τελευταία έχουν μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας για τον άνθρωπο, από το αρχικό διοξείδιο του θείου (εξαιρέση αποτελούν οι ασθματικοί). Τα σωματίδια του θειικού οξέος, είναι ένα κύριο συστατικό της όξινης βροχής, η οποία προκαλεί εκτεταμένη ζημιά στο περιβάλλον.

Πηγές

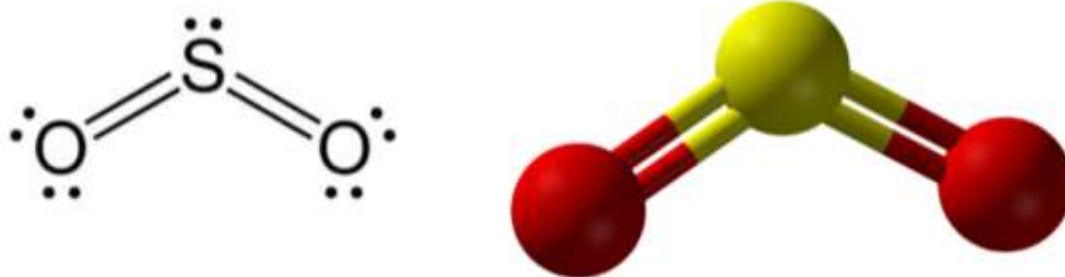
Οι κύριες πηγές διοξειδίου του θείου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων και η επεξεργασία των μεταλλευμάτων. Άλλες πηγές περιλαμβάνουν οξείδωση διαιθυλοσουλφιδίου, ηφαιστειακές εκπομπές και χημικές εκπομπές. Επιπλέον, SO₂ απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα λόγω της χημικής αντίδρασης μεταξύ (CH₃)₂S και H₂S. Συνολικά, η καύση ευθύνεται για το 85% των εκπομπών, ενώ μόνο το 7% οφείλεται στο κυκλοφοριακό ζήτημα.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Το διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αποχρωματισμό των φυτών και καταστροφή των φύλλων τους. Ιδιαίτερα ευάλωτα είναι οι λειχήνες και τα βρύα. Η χειρότερη ζημιά οφείλεται στη μετατροπή του διοξειδίου του θείου της ατμόσφαιρας σε θειικό οξύ και στην επακόλουθη εναπόθεσή του με τη μορφή όξινης βροχής, χιονιού και σωματιδίων οξέος. Η μετατροπή των οξειδίων του θείου σε θειικό οξύ διαρκεί αρκετές ημέρες. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα αέρια υλικά μπορούν ακόμη και να μεταφερθούν σε μεγάλη χιλιομετρική απόσταση, μακριά από την πηγή εκπομπών και η όξινη βροχή μπορεί να πλήξει τοποθεσίες, όπου δεν βρίσκονται κοντά σε σημαντικές πηγές ρύπανσης. Το νερό σε πολλές λίμνες έχει γίνει όλο και πιο όξινο λόγω της όξινης βροχής. Πολλές δασικές περιοχές απειλούνται σοβαρά από την πίεση της οξύτητας, τη ρύπανση του όζοντος, τη ζέστη και την ξηρασία. Τέτοιες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα μπορούν να επηρεάσουν την ισορροπία του εδάφους (π.χ. διάβρωση), να αλλάξουν την ατμοσφαιρική σύνθεση, να αλλάξουν το τοπικό κλίμα και να επηρεάσουν την ισορροπία της χλωρίδας και της πανίδας.

Το θειικό οξύ πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνο για το 60% του οξέος στις όξινες εναποθέσεις. Το διοξείδιο του θείου συνδέεται ιστορικά με τη διάβρωση του χάλυβα και άλλων μετάλλων, την υποβάθμιση (αποσύνθεση) ψευδάργυρου και άλλων προστατευτικών επικαλύψεων, την υποβάθμιση των δομικών υλικών (σκυρόδεμα και ασβεστόλιθο) και την υποβάθμιση της ποιότητας του χαρτιού, των δερμάτινων ειδών και των μνημείων. [10]

SO₂ Molecular Geometry



Εικόνα 4: Ηλεκτρονιακή δομή διοξειδίου του θείου

2.4 Όρια Κοινού και Συναγερμού

2.4.1 Ορολογία

Όριο συναγερμού: το επίπεδο πέραν του οποίου υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία του πληθυσμού εν γένει, ύστερα από σύντομη έκθεση και κατά τη διαπίστωση του οποίου τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν άμεσα μέτρα.

Όριο ενημέρωσης: το επίπεδο πέραν του οποίου η βραχύχρονη έκθεση εγκυμονεί, για ιδιαίτερες ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού, κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η άμεση και κατάλληλη πληροφόρηση.

Οριακή τιμή: η συγκέντρωση (ποσότητα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα) ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεσή του σε μια επιφάνεια σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

2.4.2 Νομοθεσία σχετικά με την Ποιότητα της Ατμόσφαιρας

Ο Πίνακας 1 παραθέτει τα νομοθετημένα όρια και τους στόχους για τέτοιους ρύπους που ισχύουν για τα δίκτυα μέτρησης ΠΚΜ στην Ελλάδα. Στον ίδιο πίνακα, εκτός από τα εν λόγω όρια ή τιμές-στόχους για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, παρατίθενται τα όρια για την ενημέρωση του κοινού και τα όρια λήψης έκτακτων μέτρων (όρια συναγερμού). Η ισχύουσα νομοθεσία για την ποιότητα του αέρα και τους βασικούς ρύπου, SO₂, NO₂, CO, O₃ και PM₁₀ είναι: - Οδηγία 2008/50/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του αέρα περιβάλλοντος και την ποιότητα καθαρού αέρα στην Ευρώπη – ΚΥΑ ΗΠ 14122 / 549/Ε103 (ΦΕΚ 488Β/30.3.11) «Μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σύμφωνα με τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/50/ΕΚ» Επιπλέον, εγκρίθηκε η αντιμετώπιση περιστατικών ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, υπό τον Θεσμοθετήθηκε η γενική υπ' αριθμό 9452 Απόφαση /08 υπό τον γενικό γραμματέα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (ΦΕΚ 1652Β/08), όπως τροποποιήθηκε με την ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103. [11]

| Όριο για την προστασία της υγείας | | | | Όριο Ενημέρωσης | | Όριο Συναγερμού | |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| Ρύπος | Χρονική Περίοδος | Τιμή | Μέγιστος αριθμός επιτρεπόμενων υπερβάσεων | Χρονική Περίοδος | Τιμή | Χρονική Περίοδος | Τιμή |
| SO ₂ | 1 ώρα | 350 μg/m ³ | 24 | ----- | ----- | 3 ώρες | 500 μg/m ³ |
| | 1 ημέρα | 125 μg/m ³ | 3 | 3 ώρες | 350 μg/m ³ | 3 ώρες | 450 μg/m ³ |
| NO ₂ | 1 ώρα | 200 μg/m ³ | 18 | ----- | ----- | 3 ώρες | 400 μg/m ³ |
| | 1 έτος | 40 μg/m ³ | 0 | 3 ώρες | 250 μg/m ³ | 3 ώρες | 360 μg/m ³ |
| CO | Μέγιστος ημερήσιος Μ.Ο. 8 ωρών | 10 mg/m ³ | 0 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | | | | 8 ώρες | 10 mg/m ³ | 8 ώρες | 16 mg/m ³ |
| O ₃ | Μέγιστος ημερήσιος Μ.Ο. 8 ωρών | 120 μg/m ³ (*) | 25 | 1 ώρα | 180 μg/m ³ | 3 ώρες | 240 μg/m ³ |
| | | | | 1 ώρα | 180 μg/m ³ | 3 ώρες | 240 μg/m ³ |
| PM ₁₀ | 1 ημέρα | 50 μg/m ³ | 35 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | 1 έτος | 40 μg/m ³ | 0 | 7 ημέρες | 90 μg/m ³ | 5 ημέρες | 110 μg/m ³ |

Πίνακας 1. Νομοθετημένες Οριακές Τιμές Ποιότητας του Αέρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Πνεύμονες μούμιας που εξετάστηκαν από επιστήμονες στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ αποκάλυψαν ότι κάποια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης υπήρχε στην αρχαιότητα, ειδικά στην αρχαία Αίγυπτο. Ίχνη σωματιδίων που βρέθηκαν στους πνεύμονες των αρχαίων μουμιών, παρόμοια με αυτά που αναπνέουν οι κάτοικοι των βιομηχανικών πόλεων σήμερα, είναι υπεύθυνα για μια ποικιλία ασθενειών, όπως καρδιακές παθήσεις, πνευμονικές παθήσεις και καρκίνο. Όπως διαπίστωσε μια ομάδα Αιγυπτίων ερευνητών εξετάζοντας τους πνεύμονες 15 μουμιών, η ποσότητα των επικίνδυνων σωματιδίων δεν ήταν πολύ διαφορετική από αυτή που παρατηρήθηκε στους «μοντέρνους» πνεύμονες, όπως θα περίμενε κανείς. [12]

Ο Ρωμαίος φιλόσοφος Σενέκας περιέγραψε με γλαφυρό ύφος και δήλωσε την αποστροφή του για την ατμοσφαιρική ρύπανση στη Ρώμη, η οποία προκλήθηκε από τις καμινάδες των σπιτιών και άλλες πηγές ρυπογόνων καυσίμων. Η ατμοσφαιρική ρύπανση από την καύση ξύλου το 1157 (η περίοδος προ της Βιομηχανικής Επανάστασης) ήταν μια πολύ σοβαρή υπόθεση για τη σύζυγο του βασιλιά Ερρίκου Β' της Αγγλίας και την ανάγκασε να λάβει μέτρα για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Η Βιομηχανική Επανάσταση (18ος αιώνας) χρησιμοποίησε τον ατμό για την παραγωγή ενέργειας και την κίνηση των μηχανών γενικότερα. Έτσι, τον 19ο αιώνα, ο καπνός και η αιωρούμενη τέφρα από την καύση άνθρακα και ντίζελ στους κινητήρες προκαλούσαν σοβαρά προβλήματα. [13]



Εικόνα 5: Εικόνα από χυτήριο στην βιομηχανική περιοχή Saar της Γερμανίας (χρονολογία 1876).

Εικοστός Αιώνας

Παρόλο, που η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελεί αποκλειστικό χαρακτηριστικό της εποχής μας, ορισμένα σημαντικά γεγονότα των τελευταίων δεκαετιών, μας υπενθύμισαν τη βαρύτητα του προβλήματος και την ανάγκη για έλεγχο της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η αιθαλομίχλη στη Γλασκώβη και το Εδιμβούργο το 1909 θεωρήθηκε ότι ήταν η κύρια αιτία περίπου 1.000 θανάτων. Το 1930, πάλι σε μια εκδήλωση αιθαλομίχλης, εκατοντάδες αρρώστησαν σε μια βιομηχανική περιοχή στην κοιλάδα Meuse του Βελγίου, 60 από τους οποίους πέθαναν τις επόμενες ημέρες. [9,10] Το τετραήμερο συμβάν ρύπανσης στη Donora των ΗΠΑ το 1948 είχε ως αποτέλεσμα 20 θανάτους και 6.000 ασθένειες που σχετίζονται με τη ρύπανση του αέρα. Για να εκτιμήσουμε εμπεριστατωμένα το μέγεθος του προβλήματος, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η πόλη έχει πληθυσμό μόλις 14.000 κατοίκους. Το μεγαλύτερο γεγονός, ωστόσο, συνέβη στο Λονδίνο το 1952, όταν μια εβδομάδα υψηλής ρύπανσης προκάλεσε 4.000 «πλεονάζοντες» θανάτους (σύγκριση των ποσοστών θνησιμότητας πριν και μετά το συμβάν). Όταν ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο, το πρόβλημα της ρύπανσης έγινε χειρότερο λόγω της αυξημένης ζήτησης και ένας άλλος τύπος ρύπανσης, η φωτοχημική, εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο Λος Άντζελες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, στις αρχές της δεκαετίας του 1940. [14]



Εικόνα 6: Παράδειγμα Φωτοχημικής αιθαλομίχλης στην περιοχή Las Vegas

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 Μεθοδολογική προσέγγιση και παραδοχές

Ερευνητική υποδομή

Στην παρούσα μελέτη που πραγματοποιήσαμε, οι καταγραφές των ρύπων πραγματοποιήθηκαν από τους Σταθμούς Καταγραφής Αέριων Ρύπων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Αυτοί σε συνεργασία με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία της Θεσσαλονίκης τόσο αστικά, όσο και υπεραστικά, με σκοπό την πιο βέλτιστη και αξιόπιστη καταγραφή των αερίων της ατμόσφαιρας. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται δύο από τους αναφερόμενους σταθμούς. Στην πρώτη απεικονίζεται ο Σταθμός Αγίας Σοφίας, ο οποίος είναι τοποθετημένος στην διαχωριστική νησίδα της Ερμού, μεταξύ Αγίας Σοφίας και της οδού Καρόλου Ντηλ. Ο συγκεκριμένος σταθμός, λόγω της τοποθεσίας του χαρακτηρίζεται ως “αστικός”. Επόμενο παράδειγμα παρουσιάζεται στην δεύτερη εικόνα, όπου απεικονίζεται ο Σταθμός Πανοράματος, που είναι τοποθετημένος στο ασύλλιο στην κορυφή του οικισμού του Πανοράματος και χαρακτηρίζεται ως “υπεραστικός”. Στην υπό μελέτη περιοχή συναντάμε 7 Σταθμούς στο σύνολο μαζί με τους προαναφερόμενους.

Οι υπόλοιποι είναι: Σταθμός Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ), Καλαμαριάς, Κορδελιού, Νεοχωρούδας και Σίνδου. Παρακάτω παρουσιάζεται χάρτης με την γεωγραφική θέση του κάθε σταθμού και ύστερα πίνακας με περισσότερες λεπτομέρειες για τον καθένα.



*Εικόνα 7: Σταθμός μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αγία Σοφία, Θεσσαλονίκη
(Πηγή: www.airthess.gr)*



Εικόνα 8: Σταθμός μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Πανόραμα, Θεσσαλονίκη
(Πηγή: www.airthess.gr)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης διαθέτει δίκτυο επτά (7) σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εποπτεύονται από την Περιφερειακή Αρχή Περιβάλλοντος και Χωροταξίας Κεντρικής Μακεδονίας (ΠΚΜ). Η ακριβής τοποθεσία των σταθμών Θεσσαλονίκης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9: Σταθμοί Καταγραφής Ατμοσφαιρικών δεικτών Θεσσαλονίκης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η ακριβής θέση των σταθμών, ο χαρακτηρισμός της θέσης και οι μετρούμενοι ανά σταθμό ρύποι, όπως επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων ρύπων.

| Όνομα | Σταθμός | | | | | Μετρούμενοι ρύποι | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|--------|---------|----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|----|----------------|------------------|-------------------|-------------------------------|
| | Θέση | | | | | Χαρακτηρισμός | SO ₂ | NO _x | CO | O ₃ | ΑΣ ₁₀ | ΑΣ _{2,5} | C ₆ H ₆ |
| | WGS84 | | ΕΓΣΑ87 | | Υψόμετρο (m -asl) | | | | | | | | |
| Γεωγρ. Μήκος | Γεωγρ. Πλάτος | X (m) | Y(m) | | | | | | | | | | |
| Περιφέρεια ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ | | | | | | | | | | | | | |
| Αγ. Σοφία (AGS) | 22,9450997512424 | 40,6337247192803 | 410641 | 4498347 | 12 | Αστικός- Κυκλοφορίας | v | v | v | v | v | v | v |
| Α.Π.Θ. (APT) | 22,9562507662989 | 40,6337089334919 | 411584 | 4498334 | 35 | Αστικός- Υποβάθρου | v | v | | v | | | |
| Πανόραμα (PAO) | 23,0316894494349 | 40,5889178187916 | 417909 | 4493289 | 363 | Περιστατικός- Υποβάθρου | | v | | v | v | v | |
| Καλαμαριά (KAL) | 22,9592886187472 | 40,5789192524532 | 411769 | 4492249 | 60 | Περιστατικός- Υποβάθρου | v | v | v | v | v | | |
| Κορδελιό (KOD) | 22,8932185580361 | 40,6734529005153 | 406309 | 4502811 | 30 | Αστικός- Βιομηχανικός | v | v | v | v | v | | v |
| Σίνδος (SIN) | 22,8021687222328 | 40,6578424569135 | 398590 | 4501179 | 14 | Αστικός- Βιομηχανικός | v | v | v | v | v | | v |
| Νεοχωρούδα (NEO) | 22,8760596699489 | 40,7398049535725 | 404953 | 4510195 | 229 | Περιστατικός- Υποβάθρου | | v | | v | v | | |

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο χαρακτηρισμός του σταθμού διέπεται από τρεις παραμέτρους: (α) τύπος σταθμού, (β) ταξινόμηση σταθμού ως προς το O₃, (γ) τύπος περιοχής σταθμού (Πηγή: Π.Κ.Μ, 2013)

Παραδοχές

Οι μετρήσεις των υπό μελέτη ρύπων καταγράφονται συνεχώς 24 ώρες την ημέρα. Ο χρόνος απόκρισης ενός αυτόματου αναλυτή είναι περίπου ένα λεπτό, δηλαδή κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Οι μέσες ωριαίες τιμές μόλυνσης υπολογίστηκαν ωριαία χρησιμοποιώντας έναν μικροεπεξεργαστή που βρίσκεται σε κάθε αυτοματοποιημένο σταθμό και ήταν συνδεδεμένος με έναν αυτόματο αναλυτή. Αυτές οι τιμές μεταδίδονται μέσω τηλεφωνικών γραμμών στους διακομιστές της υπηρεσίας, έτσι ώστε τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή να μπορούν να παρακολουθούνται συνεχώς.

Βαθμονόμηση αυτομάτων οργάνων

Η επιτόπια βαθμονόμηση του αυτοαναλυτή γίνεται κάθε μήνα και μετά από κάθε επισκευή με δυναμική αραίωση, με ενδιάμεσους ελέγχους σύμφωνα με τα σχετικά τεχνικά πρότυπα EN. Οι μετρητές ροής που εφαρμόζουν το σύστημα βαθμονόμησης δυναμικής αραίωσης βαθμονομούνται ετησίως στο Εθνικό Εργαστήριο Αναφοράς Ποιότητας Αέρα. Μεταξύ άλλων, η γραμμικότητα, η μηδενική ολίσθηση και η επαναληψιμότητα των αναλυτών ελέγχονται σύμφωνα με τα τεχνικά πρότυπα EN. Για την επιτόπια βαθμονόμηση του αναλυτή, χρησιμοποιούνται φιάλες γνωστών συγκεντρώσεων αερίου σε άζωτο που έχουν βαθμονομηθεί ως προς το συγκέντρωση, με χρήση εργαστηριακής μονάδας στατικής αραίωσης. Το εργαστήριο είναι διαπιστευμένο σύμφωνα με το EN ISO 17025 και μπορεί, μεταξύ άλλων, να βαθμονομεί μετρητές ροής σύμφωνα με τη ροή αέρα, να προσδιορίζει τις συγκεντρώσεις αερίων σε μείγματα με στατική αραίωση και να ελέγχει

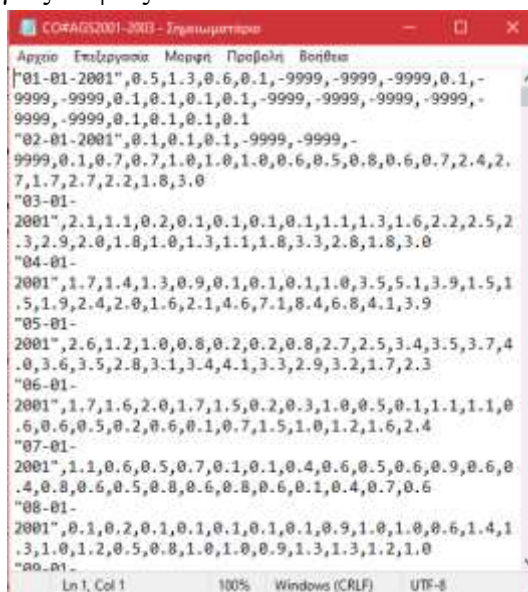
αναλυτές όζοντος, χρησιμοποιώντας φωτόμετρα τυπικής κατηγορίας A. Η επιτόπια βαθμονόμηση του αναλυτή όζοντος της τοποθεσίας πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα φορητό πρότυπο κατηγορίας B που έχει βαθμονομηθεί με ένα τυπικό φωτόμετρο στο εργαστήριο. Η βαθμονόμηση των αναλυτών αιωρούμενων σωματιδίων βασίζεται σε τυπικά δείγματα γνωστής συγκέντρωσης.

4.2 Βήματα Μεθοδολογίας

Οι ρύποι που εξετάστηκαν για την εκπόνηση της έρευνας είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Όζον (O₃)
- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

1. Για το υπολογιστικό κομμάτι της Διπλωματικής Εργασίας ξεκινήσαμε με την συλλογή των Δεδομένων. Μέσα από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας < Περιβάλλον < Ποιότητα Ατμόσφαιρας < Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, επιλέξαμε το όνομα κάθε εξεταζόμενου σταθμού.
2. Κατεβάζουμε τις μετρήσεις σε συμπιεσμένη μορφή και αφού την αποσυμπιέσουμε δημιουργείται ένα αρχείο DAT, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω παράδειγμα για τον ρύπο CO στον σταθμό Αγίας Σοφίας.



Εικόνα 10: Αρχείο DAT

3. Αφού ανοίξουμε το αρχείο στο σημειωματάριο, κάνουμε αντιγραφή και επικόλληση τις μετρήσεις σε ένα φύλλο του προγράμματος excel.
4. Στη συνέχεια διαμορφώσαμε τις μετρήσεις σε στήλες ξεκινώντας από την ημερομηνία (μέρα/μήνας/έτος) και στις διπλανές με την σειρά έτος, μήνας, μέρα και τέλος για κάθε ώρα του 24ώρου. Ωστόσο επειδή οι σταθμοί δεν κατέγραφαν για όλες τις μέρες ή ώρες μέσα στο διάστημα 2001-2019, έγινε πρώτα χειροκίνητα σωστή κατανομή των μετρήσεων.
5. Ύστερα μέσω ρυθμίσεων-εργαλείων του προγράμματος excel κάνουμε αντικατάσταση στις μη έγκυρες τιμές (όταν δεν κατέγραφαν οι σταθμοί) για να υπάρξουν κενά κελιά και να μην επηρεάσουν την εγκυρότητα των μετρήσεων.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | |
|----|-----------|------|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | DATE | YEAR | MONTH | DAY | HR1 | HR2 | HR3 | HR4 | HR5 | HR6 | HR7 | HR8 | HR9 | HR10 | HR11 | HR12 | HR13 | HR14 | HR15 | HR16 | HR17 | HR18 | HR19 | HR20 | HR21 | HR22 | HR23 | HR24 | |
| 2 | 1/1/2001 | 2001 | 1 | MONDAY | 0,50 | 1,30 | 0,60 | 0,10 | | | | 0,10 | 0,70 | 0,70 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,50 | 0,80 | 0,60 | 0,70 | 2,40 | 2,70 | 1,70 | 2,70 | 2,20 | 1,80 | 3,00 |
| 3 | 2/1/2001 | 2001 | 1 | TUESDAY | 0,10 | 0,10 | 0,10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3/1/2001 | 2001 | 1 | WEDNESDAY | 2,10 | 1,10 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 1,10 | 1,30 | 1,60 | 2,20 | 2,50 | 2,30 | 2,90 | 2,00 | 1,80 | 1,00 | 1,30 | 1,10 | 1,80 | 3,30 | 2,80 | 1,80 | 3,00 | |
| 5 | 4/1/2001 | 2001 | 1 | THURSDAY | 1,70 | 1,40 | 1,30 | 0,90 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 1,00 | 3,50 | 5,10 | 3,90 | 1,50 | 1,50 | 1,90 | 2,40 | 2,00 | 1,60 | 2,10 | 4,60 | 7,10 | 8,40 | 6,80 | 4,10 | 3,90 | |
| 6 | 5/1/2001 | 2001 | 1 | FRIDAY | 2,60 | 1,20 | 1,00 | 0,80 | 0,20 | 0,20 | 0,80 | 2,70 | 2,50 | 3,40 | 3,50 | 3,70 | 4,00 | 3,60 | 3,50 | 2,80 | 3,10 | 3,40 | 4,10 | 3,30 | 2,90 | 3,20 | 1,70 | 2,30 | |
| 7 | 6/1/2001 | 2001 | 1 | SATURDAY | 1,70 | 1,60 | 2,00 | 1,70 | 1,50 | 0,20 | 0,30 | 1,00 | 0,50 | 0,10 | 1,10 | 1,10 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | 0,20 | 0,60 | 0,10 | 0,70 | 1,50 | 1,00 | 1,20 | 1,60 | 2,40 | |
| 8 | 7/1/2001 | 2001 | 1 | SUNDAY | 1,10 | 0,60 | 0,50 | 0,70 | 0,10 | 0,10 | 0,40 | 0,60 | 0,50 | 0,60 | 0,90 | 0,60 | 0,40 | 0,80 | 0,60 | 0,50 | 0,80 | 0,60 | 0,80 | 0,60 | 0,10 | 0,40 | 0,70 | 0,60 | |
| 9 | 8/1/2001 | 2001 | 1 | MONDAY | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 1,40 | 1,30 | 1,00 | 1,20 | 0,50 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 1,30 | 1,30 | 1,20 | 1,00 | |
| 10 | 9/1/2001 | 2001 | 1 | TUESDAY | 0,40 | 0,70 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 1,20 | 2,80 | 4,40 | 2,40 | 1,00 | 0,60 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | 1,60 | 2,50 | 4,40 | 3,80 | 0,40 | 2,00 | 1,30 |
| 11 | 10/1/2001 | 2001 | 1 | WEDNESDAY | 0,80 | 1,20 | 1,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 1,20 | 1,40 | 0,40 | 0,50 | 0,40 | 0,10 | 0,50 | 0,60 | 0,90 | 1,50 | 1,60 | 1,00 | 3,40 | 5,40 | 3,30 | 2,10 | | |
| 12 | 11/1/2001 | 2001 | 1 | THURSDAY | 1,70 | 3,10 | 1,40 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 1,30 | 2,00 | 3,10 | 2,50 | 1,60 | 1,10 | 1,00 | 0,70 | 1,50 | 1,20 | 2,20 | 3,80 | 7,10 | 4,60 | 4,60 | 4,70 | 3,90 | |
| 13 | 12/1/2001 | 2001 | 1 | FRIDAY | 3,30 | 1,90 | 1,20 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,80 | 2,80 | 3,60 | 2,00 | 2,40 | 2,80 | 1,90 | 2,10 | 1,80 | 1,10 | 1,00 | 2,40 | 3,50 | 4,50 | 4,30 | 4,40 | 7,10 | 4,90 | |
| 14 | 13/1/2001 | 2001 | 1 | SATURDAY | 3,00 | 3,30 | 1,50 | 0,70 | 1,10 | 0,80 | 1,00 | 1,20 | 1,30 | 1,00 | 1,80 | 2,70 | 2,80 | 4,20 | 2,20 | 1,70 | 0,50 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | |
| 15 | 14/1/2001 | 2001 | 1 | SUNDAY | 0,10 | | | | | | | | | | | | 0,10 | 0,10 | 0,10 | | | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,20 |

Εικόνα 11: Excel με τις μετρήσεις για τον ρύπο CO από τον Σταθμό της Αγίας Σοφίας

6. Αφού ολοκληρωθεί η αντικατάσταση βάζουμε φίλτρο στην πρώτη γραμμή. Τα φίλτρα αυτά τα χρησιμοποιούμε για την εύρεση των μέσων τιμών διαχωρίζοντας την πρώτη φορά για κάθε έτος, την δεύτερη για κάθε μήνα, την τρίτη για κάθε ημέρα της εβδομάδας και τέλος για κάθε ώρα της ημέρας.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|----------|------|-------|-----------|------|------|------|
| 1 | DATE | YEAR | MONTH | DAY | HR1 | HR2 | HR3 |
| 2 | 1/1/2001 | 2001 | 1 | MONDAY | 0,50 | 1,30 | 0,60 |
| 3 | 2/1/2001 | 2001 | 1 | TUESDAY | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 4 | 3/1/2001 | 2001 | 1 | WEDNESDAY | 2,10 | 1,10 | 0,20 |
| 5 | 4/1/2001 | 2001 | 1 | THURSDAY | 1,70 | 1,40 | 1,30 |
| 6 | 5/1/2001 | 2001 | 1 | FRIDAY | 2,60 | 1,20 | 1,00 |
| 7 | 6/1/2001 | 2001 | 1 | SATURDAY | 1,70 | 1,60 | 2,00 |
| 8 | 7/1/2001 | 2001 | 1 | SUNDAY | 1,10 | 0,60 | 0,50 |

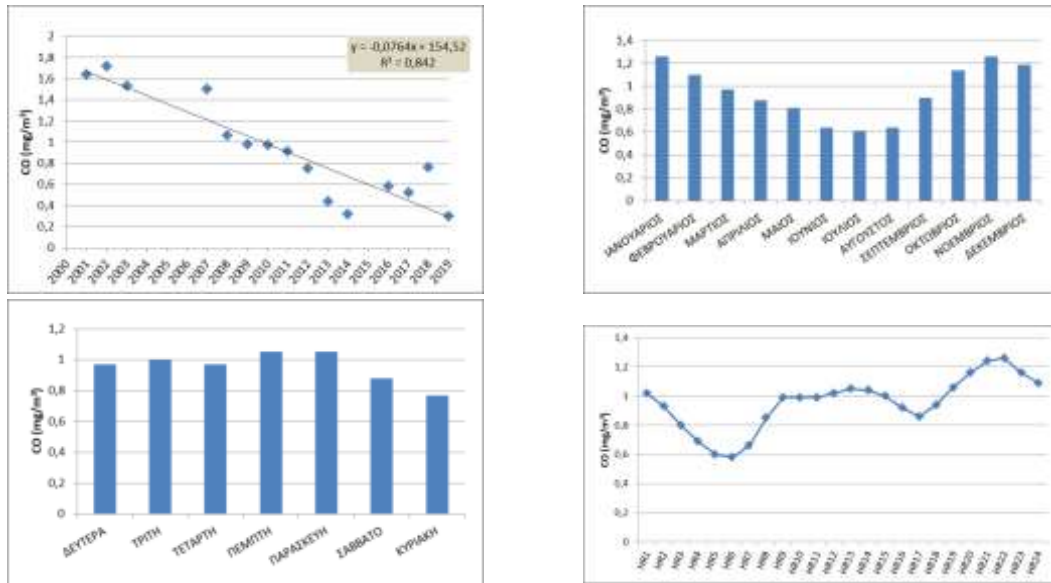
Εικόνα 12: Φωτογραφία με τα κελιά στα οποία βάζουμε φίλτρο

7. Ξεκινάμε με το φίλτρο για το έτος επιλέγοντας κάθε έτος ξεχωριστά και βρίσκουμε την μέση τιμή και για τις 24 ώρες. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία προχωράμε στους μήνες, στις ημέρες και τέλος αφού έχουμε βγάλει όλα τα φίλτρα, μαρκάρουμε κάθε στήλη ώρας και φτιάχνουμε τον αντίστοιχο πίνακα με τις μέσες τιμές.

| YEAR | M.O. | MONTH | M.O. | DAY | M.O. | HOUR | M.O. |
|------|------|-------------|------|-----------|------|------|------|
| 2001 | 1,64 | | | | | HR1 | 1,02 |
| 2002 | 1,72 | | | | | HR2 | 0,93 |
| 2003 | 1,53 | | | | | HR3 | 0,8 |
| 2004 | | | | | | HR4 | 0,69 |
| 2005 | | | | | | HR5 | 0,6 |
| 2006 | | | | | | HR6 | 0,58 |
| 2007 | 1,5 | ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 1,26 | | | HR7 | 0,66 |
| 2008 | 1,06 | ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 1,1 | | | HR8 | 0,85 |
| 2009 | 0,98 | ΜΑΡΤΙΟΣ | 0,97 | | | HR9 | 0,99 |
| 2010 | 0,97 | ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 0,88 | | | HR10 | 0,99 |
| 2011 | 0,91 | ΜΑΙΟΣ | 0,81 | | | HR11 | 0,99 |
| 2012 | 0,75 | ΙΟΥΝΙΟΣ | 0,64 | ΔΕΥΤΕΡΑ | 0,97 | HR12 | 1,02 |
| 2013 | 0,44 | ΙΟΥΛΙΟΣ | 0,61 | ΤΡΙΤΗ | 1 | HR13 | 1,05 |
| 2014 | 0,32 | ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 0,64 | ΤΕΤΑΡΤΗ | 0,97 | HR14 | 1,04 |
| 2015 | | ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 0,9 | ΠΕΜΠΤΗ | 1,05 | HR15 | 1 |
| 2016 | 0,58 | ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 1,14 | ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ | 1,05 | HR16 | 0,92 |
| 2017 | 0,52 | ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 1,26 | ΣΑΒΒΑΤΟ | 0,88 | HR17 | 0,86 |
| 2018 | 0,76 | ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 1,19 | ΚΥΡΙΑΚΗ | 0,77 | HR18 | 0,94 |
| 2019 | 0,3 | | | | | HR19 | 1,06 |
| | | | | | | HR20 | 1,16 |
| | | | | | | HR21 | 1,24 |
| | | | | | | HR22 | 1,26 |
| | | | | | | HR23 | 1,16 |
| | | | | | | HR24 | 1,09 |

Πίνακας 3: Πίνακες με τις μέσες ετήσιες- μηνιαίες- ημερήσιες- ωριαίες τιμές

8. Μόλις ολοκληρώσουμε και τους τέσσερις πίνακες με τις μέσες τιμές φτιάχνουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα συγκέντρωσης – χρόνου.



Εικόνα 13: Διαγράμματα συγκέντρωσης- χρόνου που δημιουργούμε για κάθε ρύπο

9. Για το διάγραμμα συγκέντρωσης – έτη επιλέγουμε την διασπορά σαν τύπο διαγράμματος προσθέτοντας την εξίσωση, την γραμμή τάσης και τον συντελεστή αξιοπιστίας. Όσον αφορά το διάγραμμα συγκέντρωσης – μήνα και συγκέντρωσης – ημέρας επιλέγουμε το ιστόγραμμα, ενώ για συγκέντρωση – ώρα επιλέγουμε την γραμμή με κουκκίδες σαν τύπο γραφήματος.
10. Έχοντας ολοκληρώσει και τα διαγράμματα φτιάχνουμε ένα καινούριο excel με 7 στήλες με την σειρά: Σταθμός, Ρύπος, Μέσος Όρος των μέσων Ετήσιων Τιμών, Γεωγραφικό Πλάτος, Γεωγραφικό Μήκος, Γεωγραφικό Ύψος και Χαρακτηρισμό Σταθμού. Αυτά τα δεδομένα τα χρειαζόμαστε για την αναπαράσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο χώρο, μέσω της εφαρμογής Kriging Interpolation Method.

| ΣΤΑΘΜΟΣ | ΡΥΠΟΣ | Μ.Ο. | ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ | ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ | ΓΕΩΓΡ. ΥΨΟΣ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ |
|------------|-----------------|-------|---------------|--------------|-------------|------------------------|
| ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ | CO | 0,93 | 40,63 | 22,95 | 12 | Αστικός Κυκλοφορίας |
| | NO ₂ | 36,38 | | | | |
| | O ₃ | 41,96 | | | | |
| | SO ₂ | 12,35 | | | | |
| Α.Π.Θ. | CO | - | 40,63 | 22,96 | 35 | Αστικός Υποβάθρου |
| | NO ₂ | 36,04 | | | | |
| | O ₃ | 47,62 | | | | |
| | SO ₂ | 14,35 | | | | |
| ΠΑΝΟΡΑΜΑ | CO | - | 40,59 | 23,03 | 363 | Περιστατικός Υποβάθρου |
| | NO ₂ | 10,05 | | | | |
| | O ₃ | 80,92 | | | | |
| | SO ₂ | - | | | | |
| ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ | CO | 0,50 | 40,58 | 22,96 | 60 | Περιστατικός Υποβάθρου |
| | NO ₂ | 37,46 | | | | |
| | O ₃ | 43,79 | | | | |
| | SO ₂ | 17,97 | | | | |
| ΚΟΡΔΕΛΙΟ | CO | 0,78 | 40,67 | 22,89 | 30 | Αστικός Βιομηχανικός |
| | NO ₂ | 32,41 | | | | |
| | O ₃ | 57,60 | | | | |
| | SO ₂ | 11,86 | | | | |
| ΣΙΝΔΟΣ | CO | 0,33 | 40,66 | 22,80 | 14 | Αστικός Βιομηχανικός |
| | NO ₂ | 20,41 | | | | |
| | O ₃ | 57,29 | | | | |
| | SO ₂ | 6,33 | | | | |
| ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ | CO | - | 40,74 | 22,88 | 229 | Περιστατικός Υποβάθρου |
| | NO ₂ | 8,26 | | | | |
| | O ₃ | 72,46 | | | | |
| | SO ₂ | - | | | | |

Πίνακας 4: Τοπογραφικά στοιχεία περιοχών μελέτης για την *Kriging Interpolation Method*

4.3 Kriging Interpolation Method

Η γεωστατιστική είναι μια δημοφιλής κατηγορία στατιστικών μεθόδων για την εκτίμηση ή την πρόβλεψη της τιμής μιας συνεχούς χωρικής διαδικασίας σε μη παρατηρημένες τοποθεσίες, δεδομένης της τιμής της διαδικασίας σε ένα σύνολο γνωστών τοποθεσιών. Η χωρική πρόβλεψη αυτού του είδους εκτελείται συνήθως με τη μέθοδο που είναι γνωστή ως kriging, η οποία παρέχει εκτιμήσεις που βελτιστοποιούνται επί της κατηγορίας των προβλεπτών που αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των παρατηρούμενων τιμών της διαδικασίας. Πέρα από την παροχή σημειακών εκτιμήσεων της διαδικασίας σε μη παρατηρημένες θέσεις, οι αποκλίσεις των εκτιμήσεων kriging (ή τα τυπικά σφάλματα kriging) είναι εύκολα διαθέσιμα ως μέτρα αβεβαιότητας στις προβλέψεις. Μια βασική υπόθεση στο kriging είναι ότι η δομή συνδιακύμανσης της χωρικής διαδικασίας είναι γνωστή. Έτσι, πριν από την εκτέλεση του kriging, η δομή της χωρικής εξάρτησης πρέπει να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας τις παρατηρούμενες τιμές της διαδικασίας. Αντί να εκτιμηθεί απευθείας η συνάρτηση συνδιακύμανσης της χωρικής διαδικασίας, εκτιμάται από τα παρατηρούμενα δεδομένα μια εναλλακτική περιγραφή της δομής χωρικής εξάρτησης, γνωστή ως παραγοντικό διάγραμμα. [22]

→ Πως λειτουργεί η μέθοδος Kriging

Η Kriging είναι μια προηγμένη γεωστατιστική διαδικασία που παράγει μια εκτιμώμενη επιφάνεια από ένα διάσπαρτο σύνολο σημείων με τιμές z. Η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου με άλλες μεθόδους παρεμβολής, στο σύνολο εργαλείων παρεμβολής, για να χρησιμοποιήσετε

αποτελεσματικά, το εργαλείο Kriging περιλαμβάνει μια διαδραστική διερεύνηση της χωρικής συμπεριφοράς του φαινομένου που αντιπροσωπεύεται από τις τιμές z πριν επιλέξετε την καλύτερη μέθοδο εκτίμησης για τη δημιουργία της επιφάνειας εξόδου.

→ Τι είναι η μέθοδος Kriging

Τα εργαλεία παρεμβολής IDW (inverse distance weighted- αντίστροφη σταθμισμένη απόσταση) και Spline αναφέρονται ως ντετερμινιστικές μέθοδοι παρεμβολής, διότι βασίζονται άμεσα στις περιβάλλουσες μετρημένες τιμές ή σε καθορισμένους τύπους μαθηματικών, οι οποίοι καθορίζουν την ομαλότητα της επιφάνειας που προκύπτει. Μια δεύτερη κατηγορία μεθόδων παρεμβολής περιλαμβάνει γεωστατιστικές μεθόδους, όπως η kriging, οι οποίες βασίζονται σε στατιστικά μοντέλα που ενσωματώνουν την αυτοσυσχέτιση - δηλαδή τις στατιστικές σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων σημείων. Οι γεωστατιστικές τεχνικές, εξαιτίας αυτού, όχι μόνο έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν μια επιφάνεια πρόβλεψης, αλλά και να παρέχουν κάποιο μέτρο της βεβαιότητας ή της ακρίβειας των προβλέψεων.

Η Kriging υποθέτει ότι μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας, η απόσταση ή η κατεύθυνση τους, αντανακλά μια συσχέτιση του χώρου, που μπορεί να αξιοποιηθεί για την εξήγηση της μεταβολής στην επιφάνεια. Το εργαλείο Kriging προσαρμόζει μια μαθηματική συνάρτηση σε έναν καθορισμένο αριθμό σημείων ή σε όλα τα σημεία εντός μιας καθορισμένης ακτίνας, για να καθορίσει την τιμή εξόδου για κάθε θέση. Η Kriging είναι μια μεθοδολογία πολλαπλών βημάτων-περιλαμβάνει διερευνητική στατιστική ανάλυση των δεδομένων, μοντελοποίηση του βαριογράμματος, αναπαράσταση της επιφάνειας και (προαιρετικά) διερεύνηση μιας επιφάνειας διακύμανσης. Η Kriging είναι καταλληλότερη όταν γνωρίζετε ότι υπάρχει μια χωρικά συσχετισμένη απόσταση ή μια κατευθυντική προκατάληψη στα δεδομένα. Χρησιμοποιείται συχνά στην επιστήμη του εδάφους και τη γεωλογία.

→ Τύπος σταθμισμένου αθροίσματος

Η Kriging είναι παρόμοια με το IDW στο γεγονός ότι σταθμίζει τις περιβάλλουσες μετρούμενες τιμές για να προκύψει μια πρόβλεψη για μία μη μετρούμενη θέση. Ο γενικός τύπος και για τους δύο παρεμβολείς σχηματίζεται ως σταθμισμένο άθροισμα των δεδομένων:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

όπου:

$Z(s_i)$ = η μετρούμενη τιμή στην i -οστή θέση

λ_i = ένα άγνωστο βάρος για τη μετρούμενη τιμή στην i -οστή θέση

s_0 = η θέση πρόβλεψης

N = ο αριθμός των μετρούμενων τιμών

Στην IDW, το βάρος, li , εξαρτάται αποκλειστικά από την απόσταση από τη θέση πρόβλεψης. Ωστόσο, με τη μέθοδο kriging, τα βάρη βασίζονται όχι μόνο στην απόσταση μεταξύ των μετρούμενων σημείων και της θέσης πρόβλεψης, αλλά και στη συνολική χωρική διάταξη των μετρούμενων σημείων. Για να χρησιμοποιηθεί η χωρική διάταξη στα βάρη, πρέπει να ποσοτικοποιηθεί η χωρική αυτοσυσχέτιση. Έτσι, στη συνηθισμένη kriging, το βάρος, li , εξαρτάται από ένα προσαρμοσμένο μοντέλο στα σημεία που γίνονται οι μετρήσεις, την απόσταση από τη θέση πρόβλεψης και τις χωρικές σχέσεις, μεταξύ των μετρούμενων τιμών, γύρω από τη θέση πρόβλεψης.

→ Δημιουργία ενός χάρτη επιφάνειας πρόβλεψης με kriging

Για να γίνει μια πρόβλεψη με τη μέθοδο παρεμβολής kriging, απαιτούνται δύο εργασίες:

- Αποκάλυψη των κανόνων αλληλεξάρτησης
- Να γίνουν οι προβλέψεις.

Για την πραγματοποίηση αυτών των δύο εργασιών, η kriging περνάει από μια μεθοδολογία δύο βημάτων:

- Δημιουργία βαριογράμματος και των συναρτήσεων συνδιακύμανσης για να εκτιμήσει τις τιμές της στατιστικής εξάρτησης (που ονομάζεται χωρική αυτοσυσχέτιση), οι οποίες εξαρτώνται από το μοντέλο αυτοσυσχέτισης (προσαρμογή ενός μοντέλου).
- Πρόβλεψη των άγνωστων τιμών (κάνοντας μια πρόβλεψη).

Εξαιτίας αυτών των δύο διαφορετικών εργασιών έχει ειπωθεί ότι η kriging κάνει χρήση των δεδομένων δύο φορές: την πρώτη φορά για την εκτίμηση της χωρικής αυτοσυσχέτισης των δεδομένων και τη δεύτερη για να κάνει τις προβλέψεις.

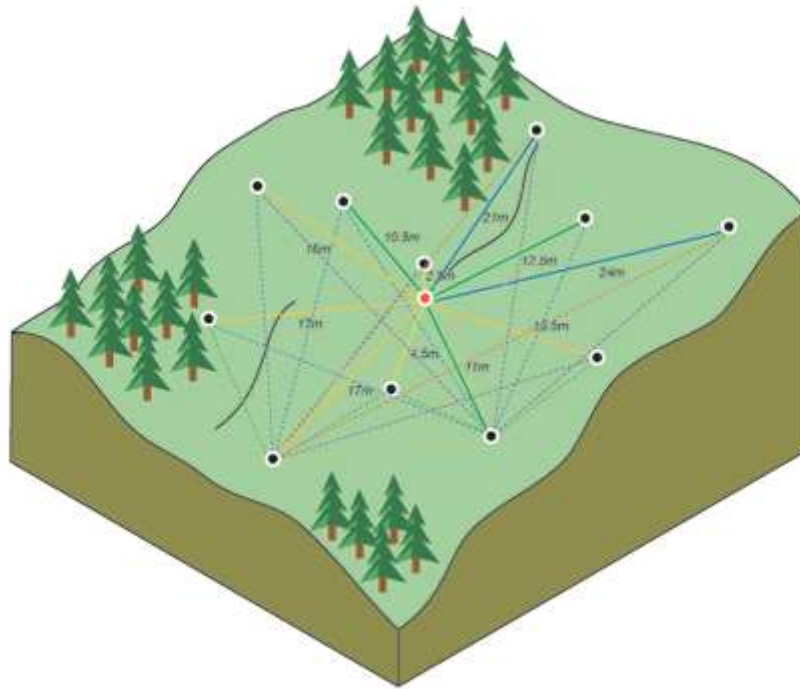
→ Βαριογραφία

Η προσαρμογή ενός μοντέλου ή η χωρική μοντελοποίηση, είναι επίσης γνωστή ως δομική ανάλυση ή βαριογραφία. Στη χωρική μοντελοποίηση της δομής των μετρούμενων σημείων, ξεκινάτε με μια γραφική παράσταση του εμπειρικού ημιβαριογράμματος, που υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση για όλα τα ζεύγη θέσεων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση h :

$$\text{Semivariogram}(\text{distance}_h) = 0.5 * \text{average}((\text{value}_i - \text{value}_j)^2)$$

Ο τύπος περιλαμβάνει τον υπολογισμό της τετραγωνικής διαφοράς μεταξύ των τιμών των ζευγαρωμένων θέσεων.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη σύζευξη ενός σημείου (το κόκκινο σημείο) με όλες τις άλλες μετρούμενες θέσεις. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε μετρούμενο σημείο.



Calculating the difference squared between the paired locations

Εικόνα 14: Υπολογισμός της τετραγωνικής διαφοράς μεταξύ των ζευγαρωμένων θέσεων

→ Μέθοδοι Kriging

Οι υπάρχοντες μέθοδοι Kriging είναι δύο: η ordinary (συνήθης) και η universal (καθολική).

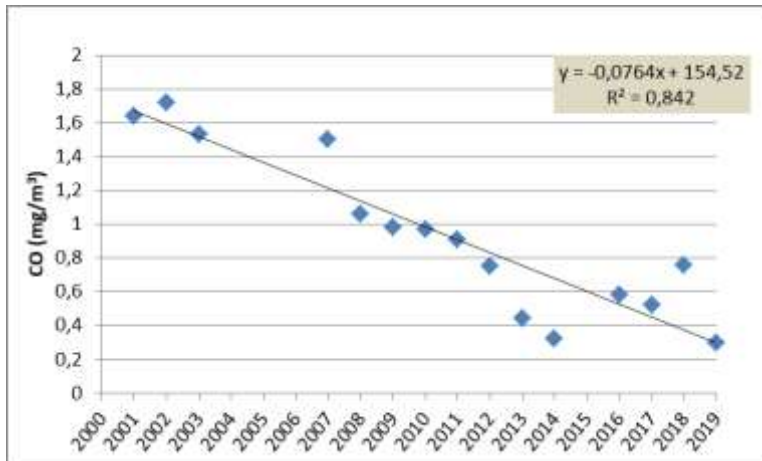
Η ordinary kriging (συνήθης) αποτελεί το πιο κοινό και ευρέως χρησιμοποιούμενο kriging και αποτελεί προεπιλογή σε διάφορες μελέτες. Ο σταθερός μέσος όρος θεωρείται ότι είναι άγνωστος. Αυτή είναι μια λογική παραδοχή, εκτός εάν υπάρχει επιστημονικός λόγος για την απόρριψή της.

Η universal kriging (καθολική) κάνει την υπόθεση ότι υπάρχει μια κυρίαρχη τάση στα δεδομένα (όπως οι επικρατούντες άνεμοι) και μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας μια ντετερμινιστική συνάρτηση (πολυώνυμο). Αυτό το πολυώνυμο αφαιρείται από τα αρχικά σημεία μέτρησης και η αυτοσυσχέτιση μοντελοποιείται με τυχαίο σφάλμα. Μόλις το μοντέλο προσαρμοστεί για τυχαία σφάλματα και πριν από τις προβλέψεις, πολυώνυμο προστίθενται ξανά στις προβλέψεις για να δώσουν ουσιαστικά αποτελέσματα. Η καθολική μέθοδος kriging συνίστανται μόνο εάν γνωρίζετε ότι υπάρχει μία τάση στα δεδομένα σας και μπορείτε να δώσετε μια επιστημονική αιτιολόγηση για να την περιγράψετε. [23]

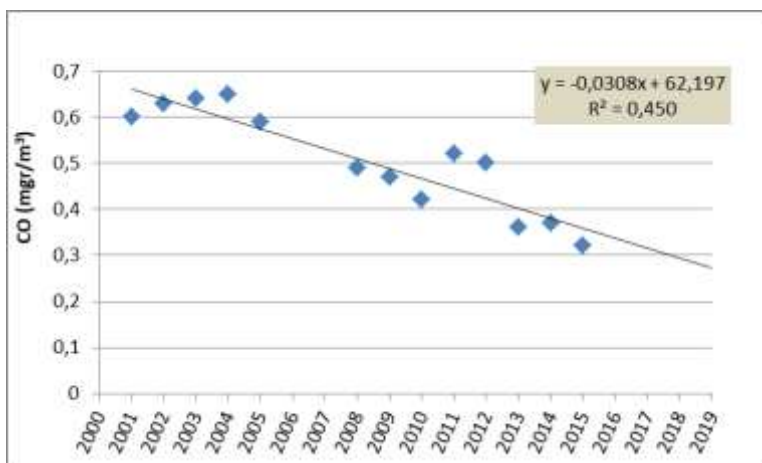
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑ ΡΥΠΟ ΚΑΙ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

5.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

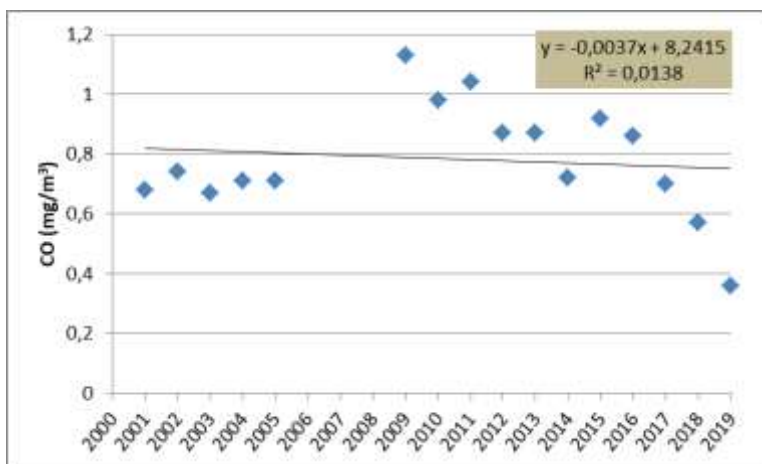
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Έτους/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά έτος σε κάθε σταθμό



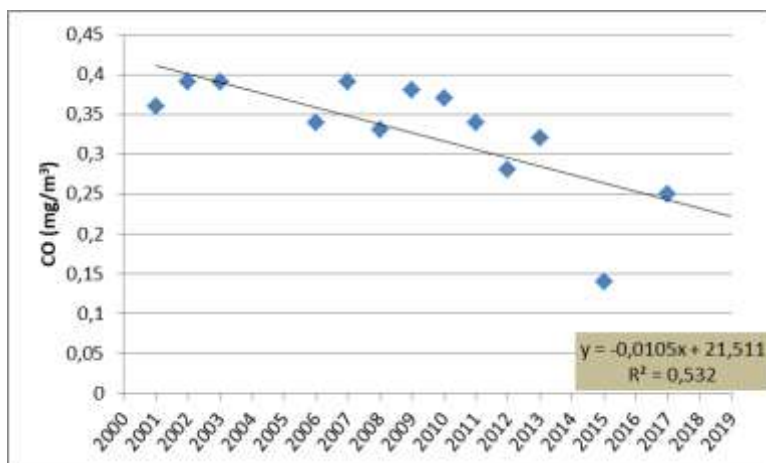
Διάγραμμα 1: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 2: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 3: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 4: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα

Σχολιασμός:

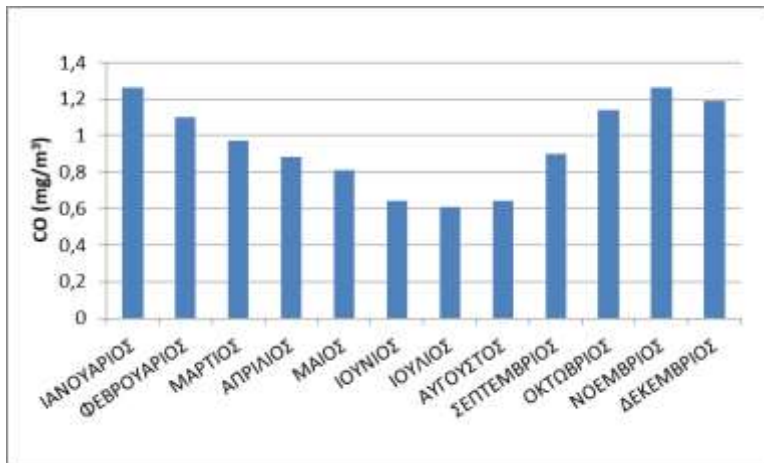
Παρατηρούμε και στους 4 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) μία πτωτική πορεία του ρύπου σχετικά με την ετήσια διακύμανση του.

Πιο συγκεκριμένα:

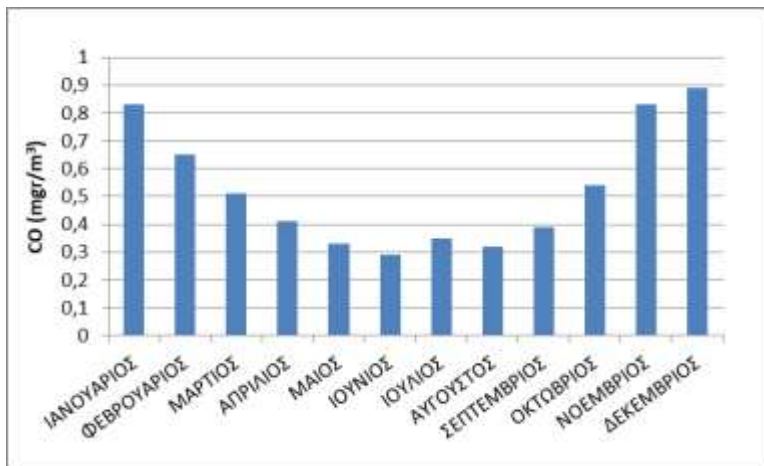
- Σταθμός Αγία Σοφίας: μείωση κατά $0,076 \text{ mg/m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,84$, όπου περιγράφει το 84% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Καλαμαριάς: μείωση κατά $0,031 \text{ mg/m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,45$, όπου περιγράφει το 45% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Κορδελιού: μείωση κατά $0,004 \text{ mg/m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,01$, όπου περιγράφει το 10% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε κακή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Σίνδου: μείωση κατά $0,011 \text{ mg/m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,53$, όπου περιγράφει το 53% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.

Στην ετήσια διακύμανση του ρύπου CO και στην πτωτική συμπεριφορά που παρουσιάζει η συγκέντρωσή του, συμβάλουν αρκετές βιομηχανίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μεταλλουργίες σιδήρου που το παράγουν ως παραπροϊόν. Ωστόσο, από το 2009 περίπου και ύστερα που παρατηρείται μία ύφεση λόγω της οικονομικής κρίση, υπήρχε μικρότερη ζήτηση, ενώ παράλληλα καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντικό ζήτημα έχουν καθιερώσει πιο βιώσιμες μεθόδους κατά την παραγωγική διαδικασία. Επιπλέον, εφαρμόζουν μέτρα πρόληψης μέσω συνεχής μέτρησης και παρακολούθησης των αέριων εκπομπών και των αιωρούμενων σωματιδίων. Αντίστοιχα μέτρα λαμβάνονται και στα θερμοκήπια που αποτελούν κι αυτά με την σειρά τους πηγή εκπομπής του CO. Θετική εξέλιξη για την πτώση συγκέντρωσης του ρύπου έχει αποτελέσει και η σωστή διαχείριση των αγροτικών υπολειμμάτων, που στο παρελθόν γινόταν εκκαθάρισή τους με φωτιά.

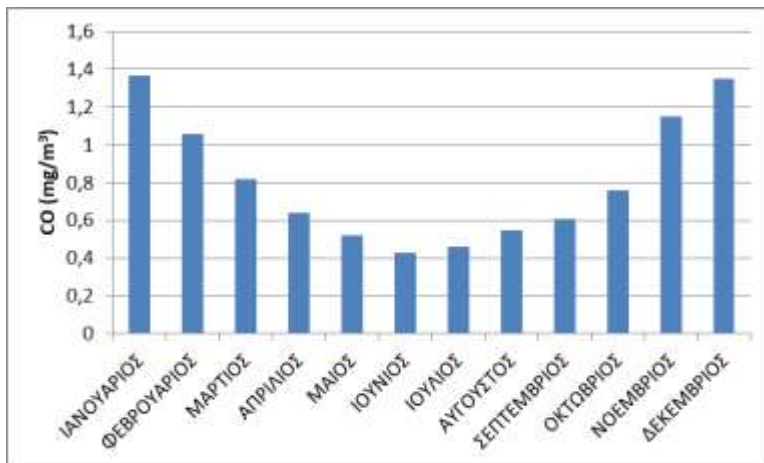
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Μήνα/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά μήνα σε κάθε σταθμό



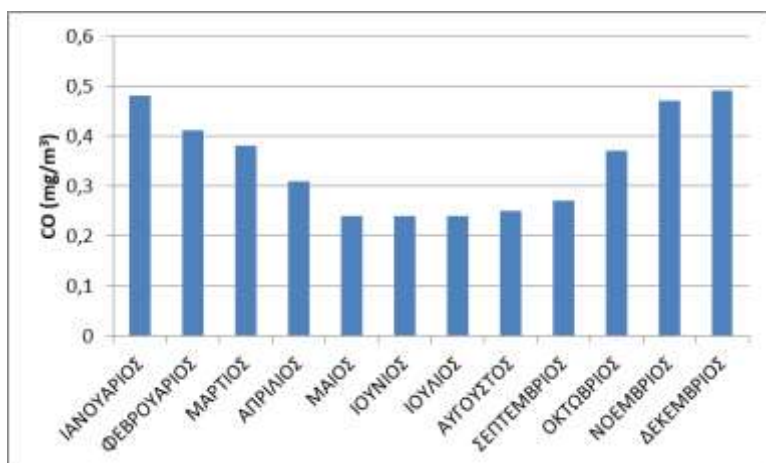
Διάγραμμα 5: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 6: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 7: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



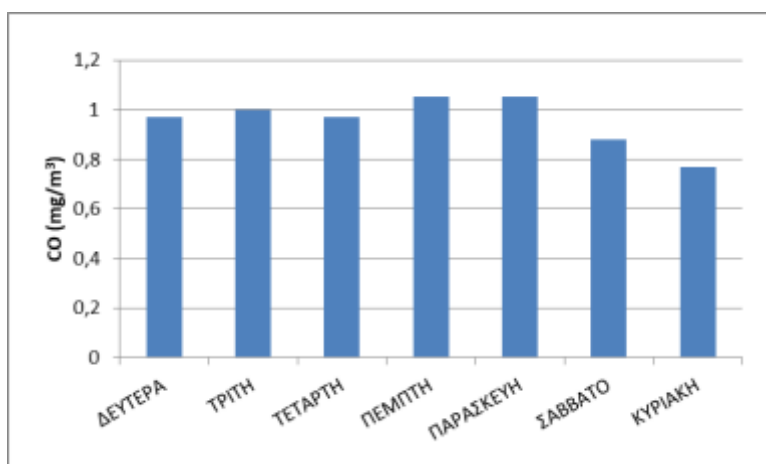
Διάγραμμα 8: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

Σχολιασμός:

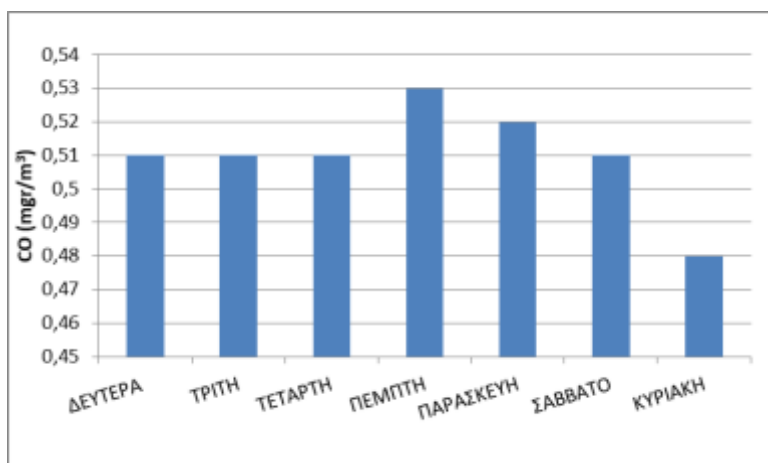
Παρατηρούμε και στους 4 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) μία εποχικότητα του ρύπου σχετικά με την μηνιαία διακύμανση του.

Πιο συγκεκριμένα κατά τους θερινούς μήνες εμφανίζονται χαμηλές τιμές σε αντίθεση με τους χειμερινούς που παρατηρείται μία ανοδική τάση. Οι λόγοι αυτής της διακύμανσης οφείλονται κυρίως στην θέρμανση και στο κυκλοφοριακό ζήτημα. Κατά τους χειμερινούς μήνες υπάρχει εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα στα πλαίσια της θέρμανσης, όπως και είναι λογικό, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν. Επιπλέον, υπάρχει μεγάλη κυκλοφορία μέσω μεταφοράς κάτι που φθίνει κατά τους εαρινούς μήνες, όπου παρατηρείται η απομάκρυνση του κόσμου από τα αστικά κέντρα.

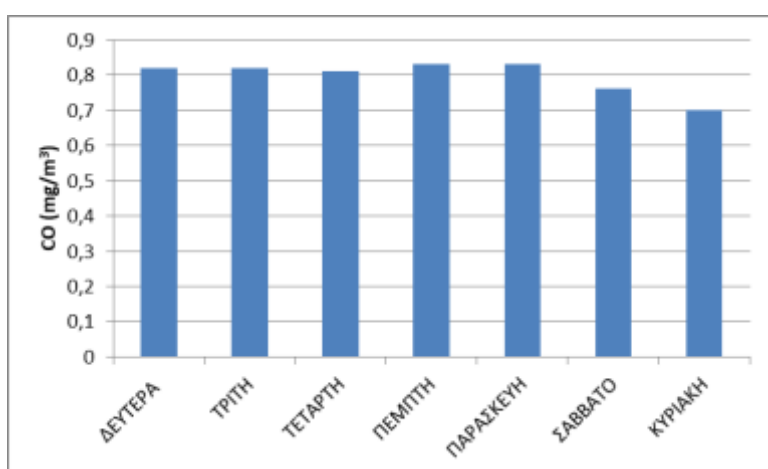
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ημέρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ημέρα σε κάθε σταθμό



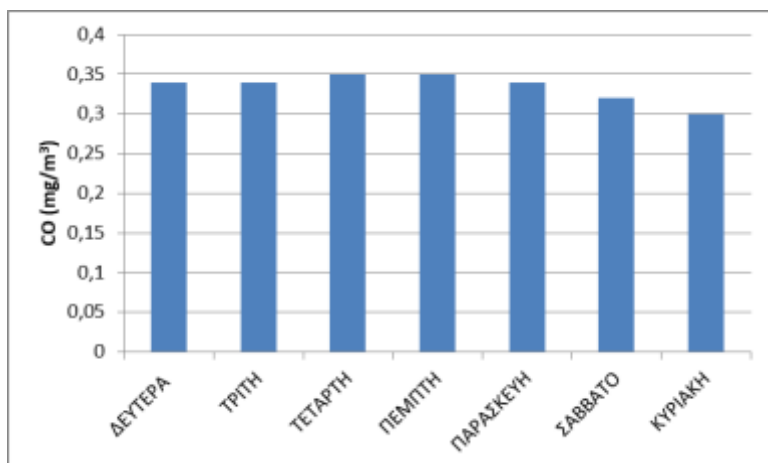
Διάγραμμα 9: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 10: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 11: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 12: Σταθμός Σίνδον- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

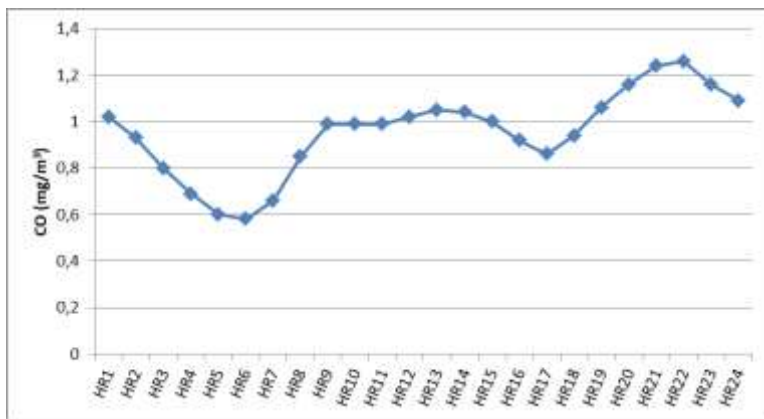
Σχολιασμός:

Παρατηρούμε και στους 4 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη διακύμανση μεταξύ των ημερών. Μικρή κορύφωση εντοπίζεται κυρίως την Πέμπτη και την Παρασκευή ωστόσο δεν είναι ισχυρή σε σχέση με τις άλλες μέρες για να θεωρείται αξιολογήσιμη. Το πιο πιθανό ενδεχόμενο είναι να οφείλεται σε κυκλοφοριακό ζήτημα,

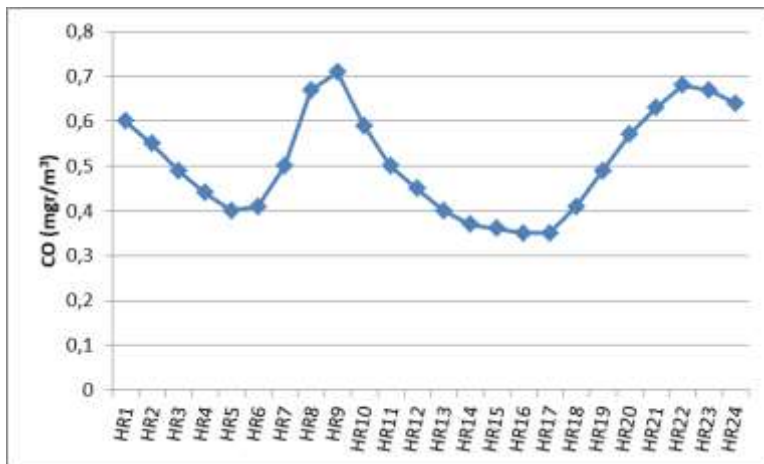
όπως η κίνηση στους δρόμους που επικρατεί, καθώς πλησιάζουμε στο τέλος της εβδομάδας και παρατηρείται προτίμηση στη χρήση Ι.Χ. Επιπλέον κατά το Σαββατοκύριακο υπάρχει μία πτώση, η οποία οφείλεται στην ανάγκη του κόσμου για ξεκούραση και αποσυμφόρηση από την κίνηση και τους δρόμους, που συνεπάγεται λιγότερα αυτοκίνητα και λιγότερη εκπομπή ρύπων, περιλαμβανομένου και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Ανάλογα με την τοποθεσία παρατηρείται μία προσαύξηση στις συγκεντρώσεις του ρύπου, η οποία εξαρτάται από την συνολική δραστηριότητα της περιοχής (π.χ. πιο αστικό σημείο κλπ.)

Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ωρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ώρα σε κάθε σταθμό

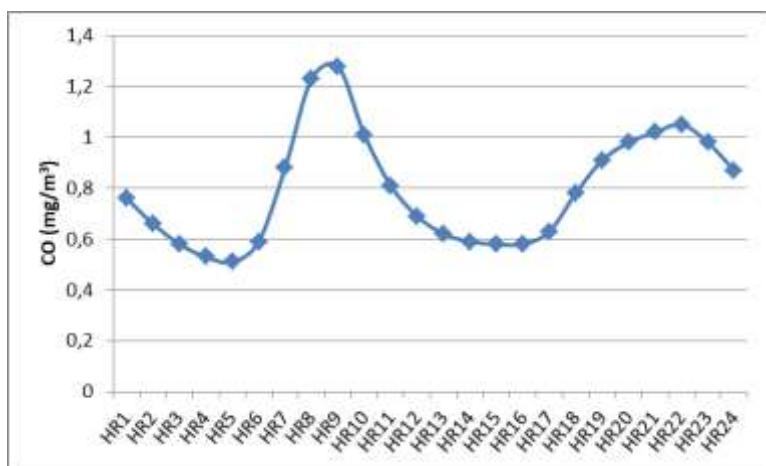


Διάγραμμα 13: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

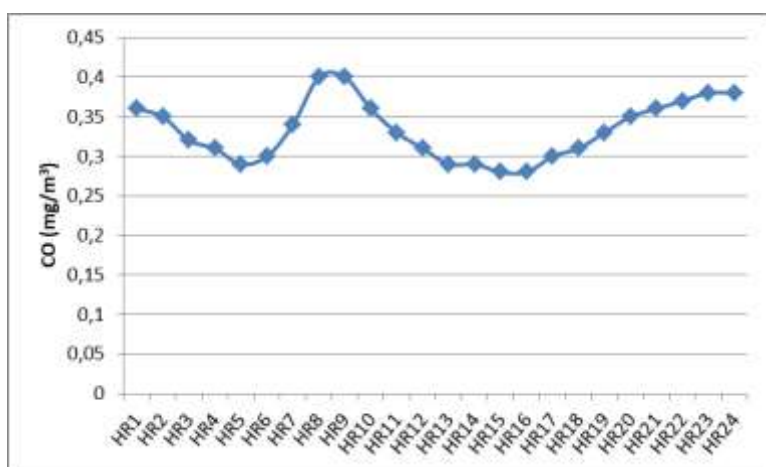


Διάγραμμα 14: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 15: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

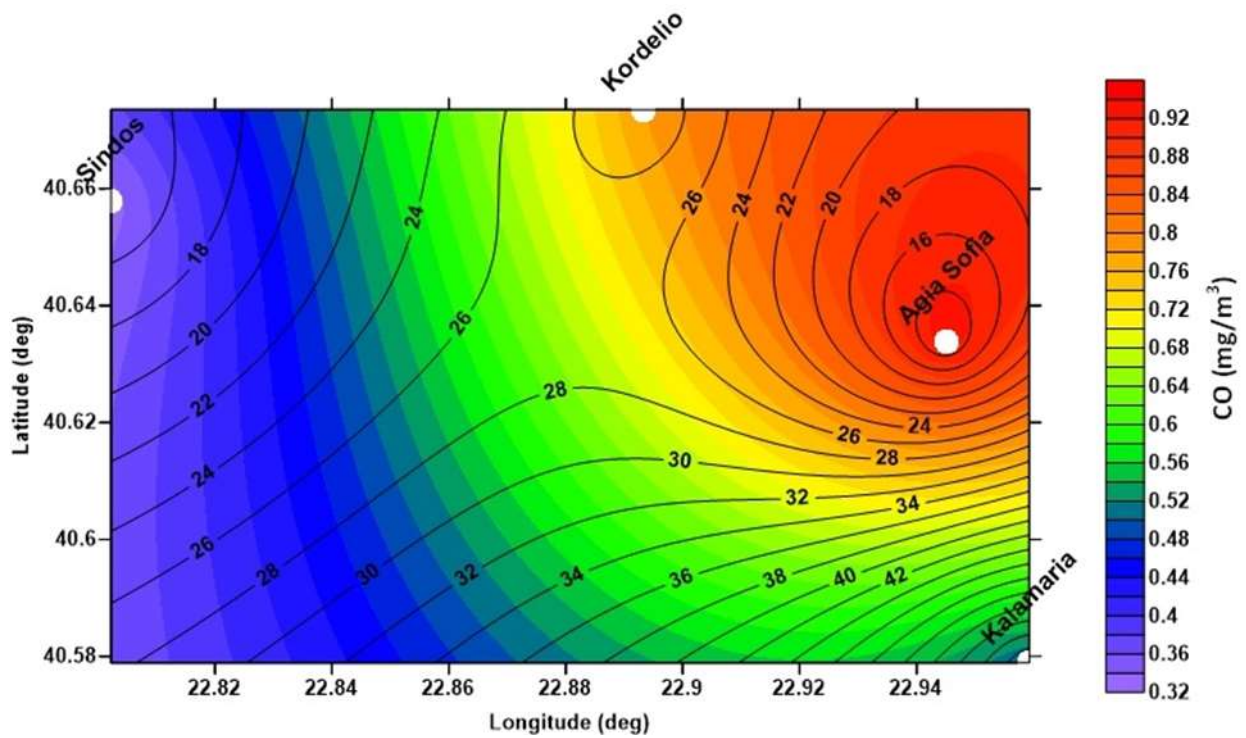


Διάγραμμα 16: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

Σχολιασμός:

Παρατηρούμε και στους 4 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις μονοξειδίου του άνθρακα (CO) πανομοιότυπη κατανομή των τιμών. Κατά βάση υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται μεταξύ 7π.μ.- 10 π.μ. και τις βραδινές ώρες. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, πηγές εκπομπής του συγκεκριμένου ρύπου είναι η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς, όπου και οφείλονται επί τα πλείστον οι πρωινές αυξημένες συγκεντρώσεις. Ανεξάρτητα από αυτό οφείλεται και στην θέρμανση η οποία δικαιολογεί τις βραδινές υψηλές τιμές, καθώς πέφτει η θερμοκρασία οπότε ο κόσμος καταφεύγει σε θέρμανση κυρίως με μεθόδους καύσης υγραερίου, πετρελαίου φυσικού αερίου ή και ξύλων που παράγουν μονοξείδιο του άνθρακα. Στα ενδιάμεσα κενά μεταξύ των ‘πικ’ υπάρχει εξομάλυνση της κατάστασης λόγω έλλειψης των δύο αιτιών. Συγκεκριμένα για τον Σταθμό της Αγίας Σοφίας ο οποίος χαρακτηρίζεται ως αστικός κυκλοφορίας, παρατηρείται σταθεροποίηση στις υψηλές τιμές και κατά το μεσημέρι που δικαιολογείται γιατί η περιοχή αποτελεί πέρασμα για πολλά αυτοκίνητα.

Χάρτης Χωρικής Κατανομής Μονοξειδίου του Άνθρακα (CO)



Σχήμα 1: Χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης CO στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, σε συνάρτηση με το υψόμετρο (ισοϋψείς) πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

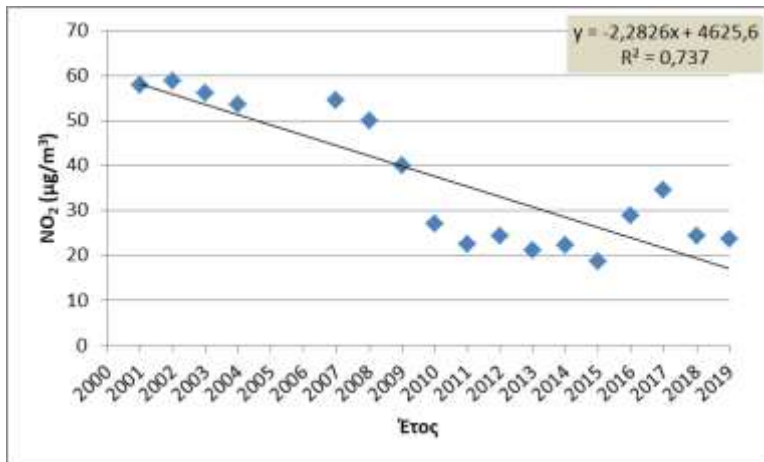


Σχολιασμός:

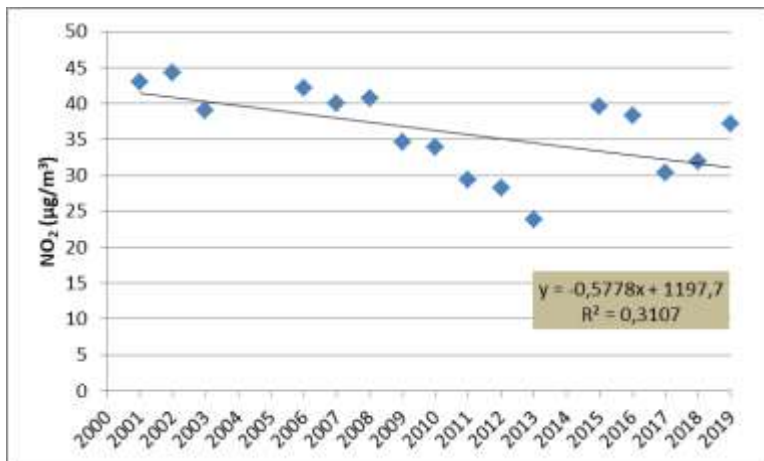
Στον παραπάνω χάρτη του Σχήματος 17, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO) τον οποίο μετράμε σε mg/m^3 . Ο χάρτης αναπαριστά τις μέσες ετήσιες τιμές για την περίοδο 2001-2019, μέσω της μεθόδου Kriging. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 0,32-0,92 mg/m^3 . Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την Εθνική Νομοθεσία, έχει οριστεί όριο για την προστασία της υγείας τα 10 mg/m^3 , τιμή που δεν πρέπει να την υπερβαίνουμε. Αυτό που προκύπτει από την χωρική κατανομή είναι ότι η συγκέντρωση του ρύπου δεν ξεπερνά το 1 mg/m^3 , γεγονός πολύ θετικό για την πορεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι το κέντρο της πόλης είναι πιο επιβαρυσμένο συγκριτικά με τις περιφερειακές και βιομηχανικές περιοχές (όπως Καλαμαριά και Σίνδος) κι αυτό οφείλεται στην οικιστική ανάπτυξη και την ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο βασικότερος παράγοντας για την εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι η κυκλοφορία των αυτοκινήτων και δευτερευόντως η βιομηχανία.

5.2 Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

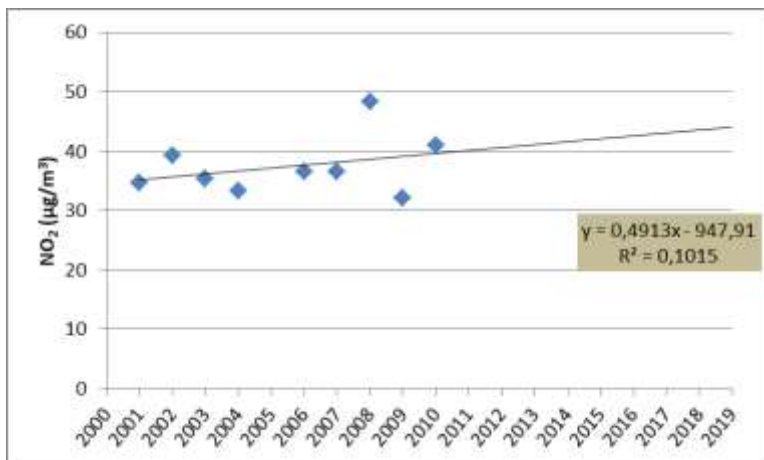
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Έτους/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά έτος σε κάθε σταθμό



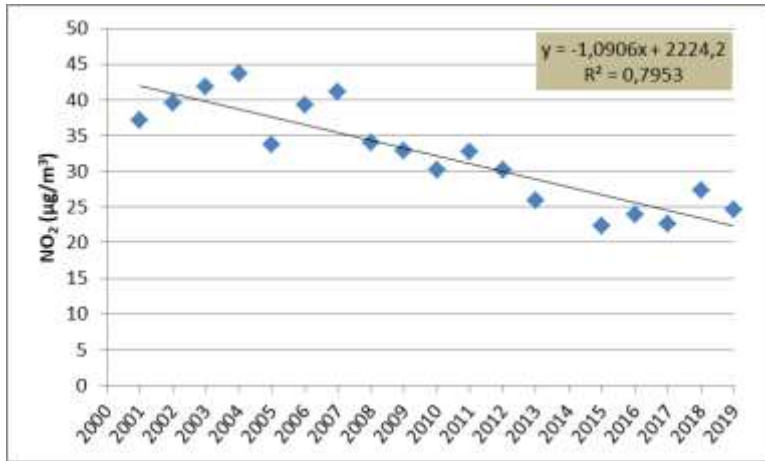
Διάγραμμα 17: Σταθμός Αγίας Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



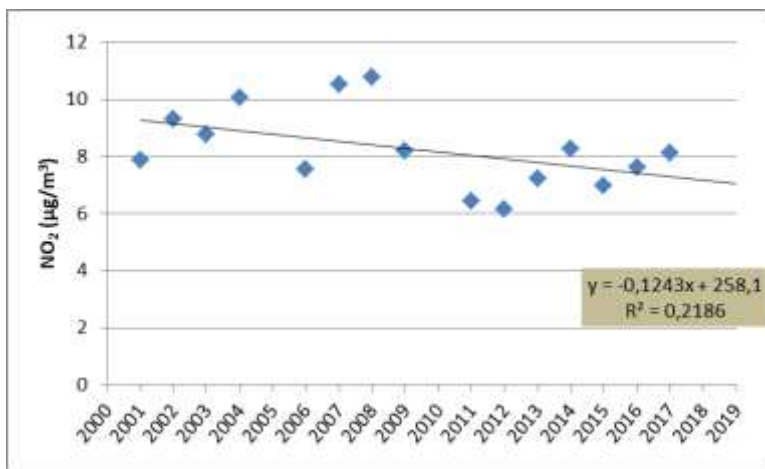
Διάγραμμα 18: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



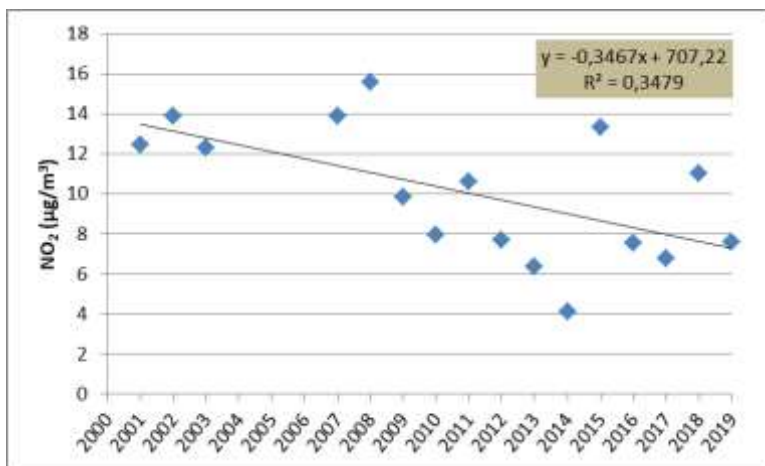
Διάγραμμα 19: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



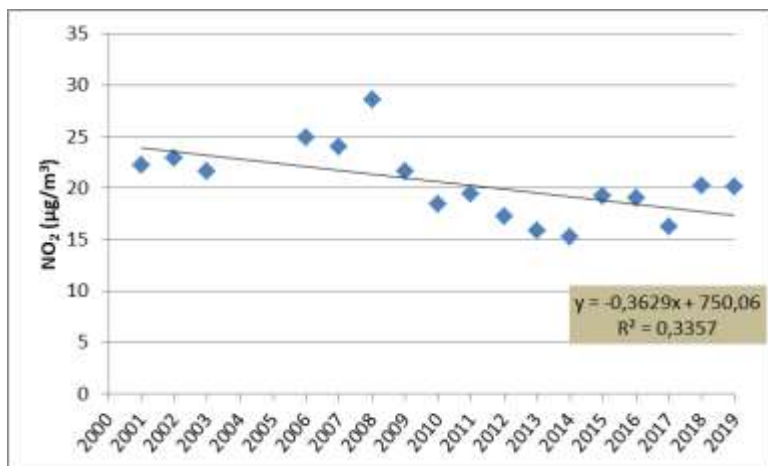
Διάγραμμα 20: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 21: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 22: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 23: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα

Σχολιασμός:

Παρατηρούμε και στους 7 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις διοξειδίου του αζώτου (NO₂) μία πτωτική πορεία του ρύπου σχετικά με την ετήσια διακύμανση του.

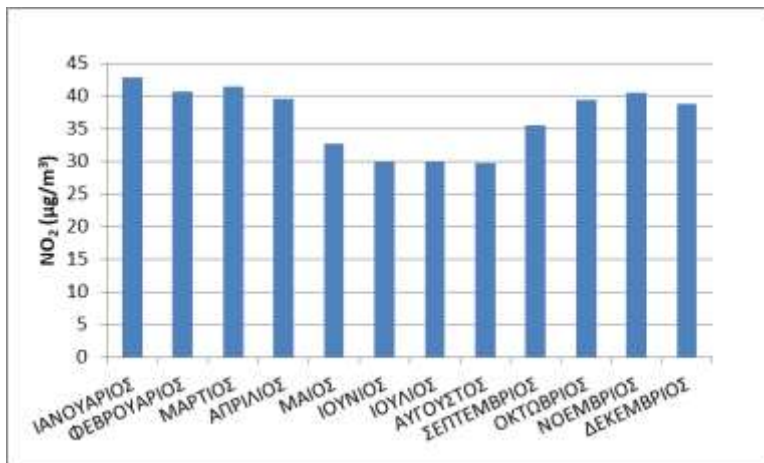
Πιο συγκεκριμένα:

- Σταθμός Αγία Σοφίας: μείωση κατά 2,2826 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,74 , όπου περιγράφει το 74% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Α.Π.Θ.: μείωση κατά 0,5778 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,31, όπου περιγράφει το 31% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε αρκετά μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Καλαμαριάς: αύξηση κατά 0,4913 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,1 , όπου περιγράφει το 10% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχεδόν μηδενική αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Κορδελιού: μείωση κατά 1,0906 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,80 , όπου περιγράφει το 80% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Νεοχωρούδας: μείωση κατά 0,1243 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,22 , όπου περιγράφει το 22% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε χαμηλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Πανοράματος: μείωση κατά 0,3467 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,35 , όπου περιγράφει το 35% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Σίνδου: μείωση κατά 0,3629 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,34 , όπου περιγράφει το 34% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.

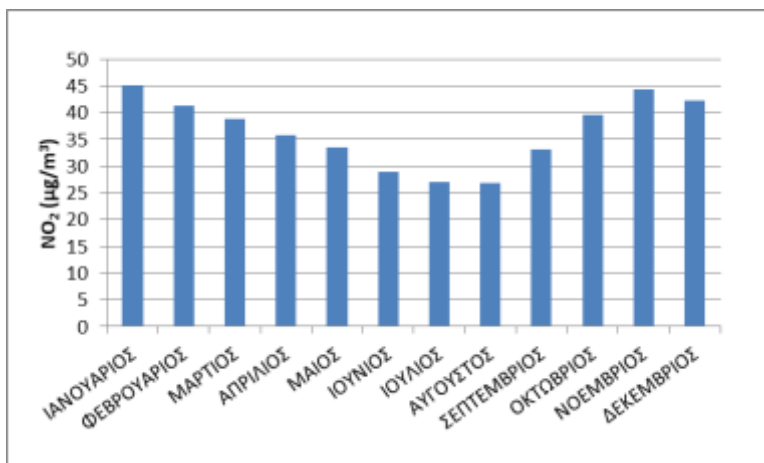
Στα ετήσια αποτελέσματα μεγάλο ποσοστό συμμετοχής έχουν οι βιομηχανίες, όπως το εργοστάσιο χαρτοπολτού ALDIPACK που είναι εγκατεστημένο από το 1950 μεταξύ Καλαμαριάς, Πανοράματος και Αγίας Σοφίας και μέσα από τις διεργασίες που πραγματοποιεί, παράγει NO₂. Επιπλέον, πηγή προέλευσης του ρύπου είναι οι ηλεκτρικές καταιγίδες. Έχουν καταγραφεί 3 το 2003, 1 το 2004, 8 το 2005, 1 το 2006 και 1 το 2018.

Σε όλους τους σταθμούς είναι εμφανής η πρωτική πορεία συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου. Μεγάλη συμβολή σε αυτό έχει η κοινωνική ευθύνη αρκετών βιομηχανιών και η ευαισθητοποίηση του κοινού, που καταφεύγει σε πιο βιώσιμες λύσεις. Ήδη, αρκετές βιομηχανίες πραγματοποιούν δικές τους μετρήσεις και καταγραφές των εκπεμπόμενων ρύπων προς ελαχιστοποίησή τους και τήρηση των μέτρων που ορίζει η νομοθεσία.

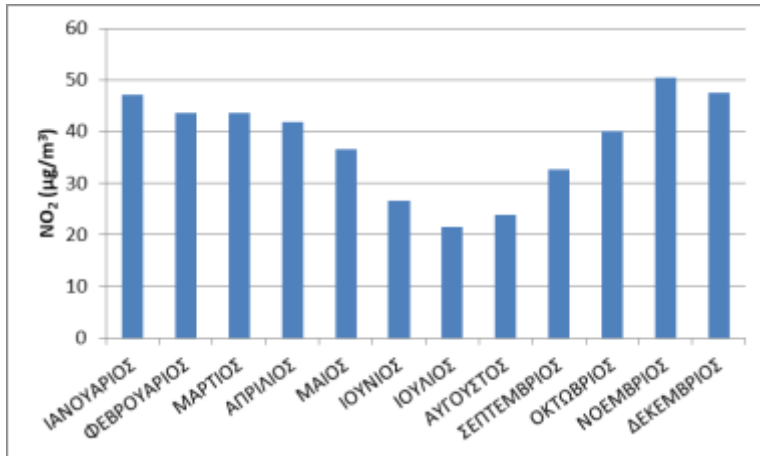
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Μήνα/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά μήνα σε κάθε σταθμό



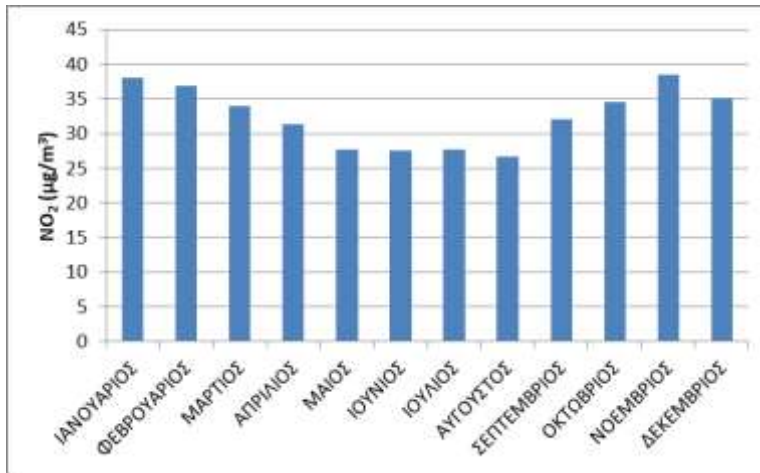
Διάγραμμα 24: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



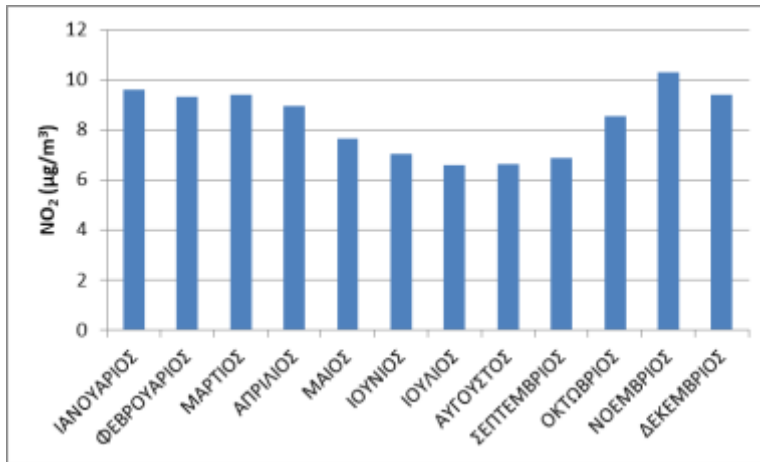
Διάγραμμα 25: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



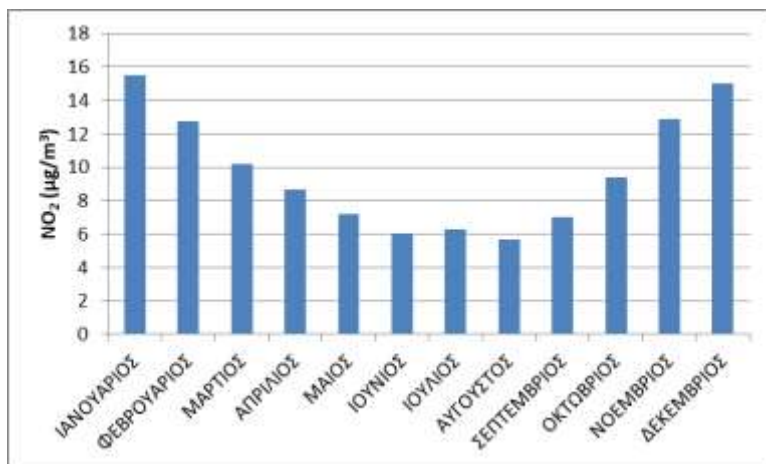
Διάγραμμα 26: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



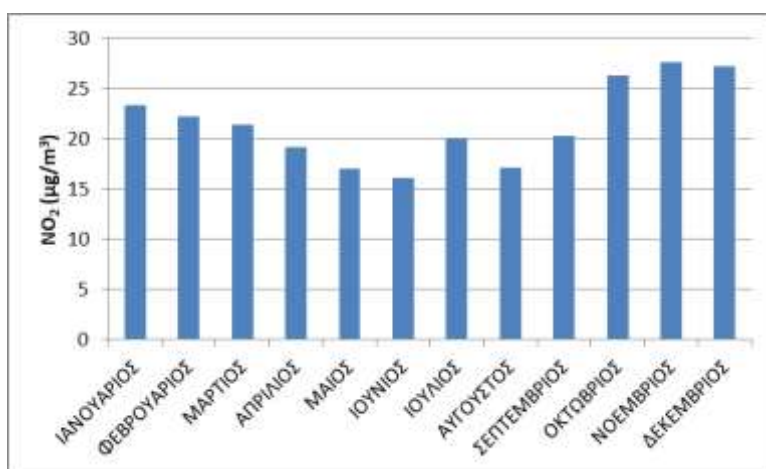
Διάγραμμα 27: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 28: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 29: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

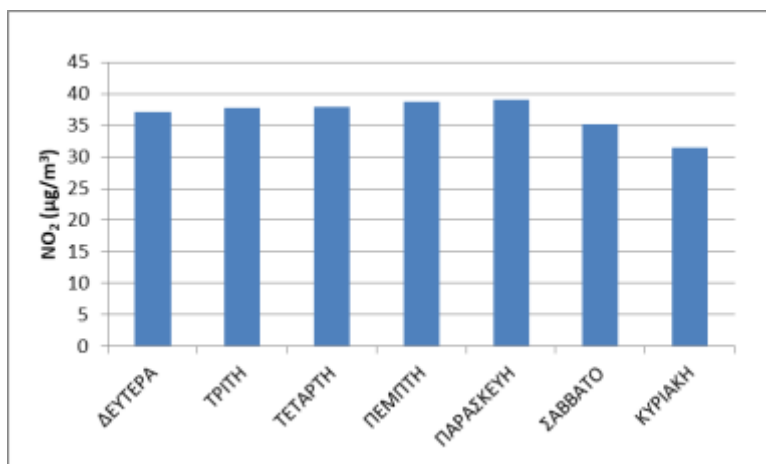


Διάγραμμα 30: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

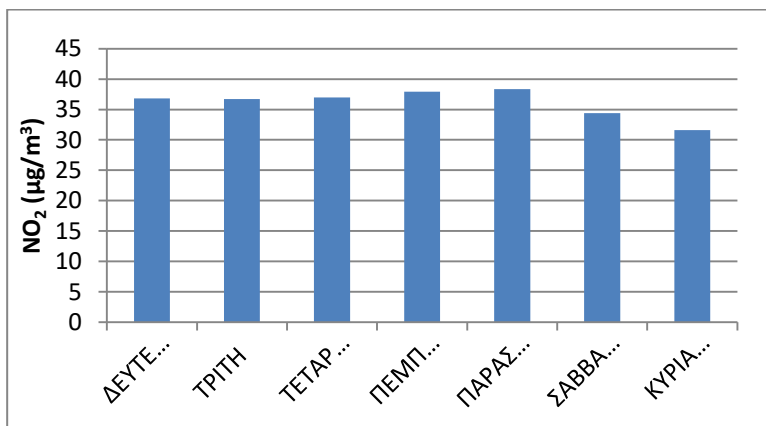
Σχολιασμός:

Σύμφωνα με τα δεδομένα που λαμβάνουμε από την μηνιαία εξέλιξη του διοξειδίου του αζώτου, παρατηρείται ομοιόμορφη συμπεριφορά μεταξύ των σταθμών, ωστόσο με διαφορετική κλίμακα μέγιστων και ελαχίστων τιμών. Κάτι που χαρακτηρίζει και αυτό τον ρύπο, είναι η εποχικότητα που παρουσιάζεται κατά μήκος του έτους. Κατά τους χειμερινούς μήνες τα επίπεδα των συγκεντρώσεων είναι αντιστρόφως ανάλογα των θερμοκρασιών κι αυτό σχετίζεται με τις πηγές προέλευσης του ρύπου. Μέσα σε αυτές συγκαταλέγεται η σόμπα υγραερίου και οι θερμάστρες γκαζιού βουτανίου, που αποτελούν επιλογή των χώρων εστίασης, καθώς και πολλών πολιτών. Όπως είναι φυσικό, κυρίως τους μήνες Σεπτέμβρη έως και Μάρτιο είναι έντονη η χρήση τους, η οποία επηρεάζει τα μηνιαία αποτελέσματα λόγω της μεγάλης προτίμησης τους. Η διαφοροποίηση στην κλίμακα των συγκεντρώσεων από σταθμό σε σταθμό οφείλεται στο διαφορετικό υψόμετρο που έχει η κάθε περιοχή, επομένως και στην χρήση της σόμπας υγραερίου και των άλλων πηγών προέλευσης του ρύπου. Οι σταθμοί που είναι σε χαμηλότερο υψόμετρο έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες απαιτήσεις θέρμανσης. Παράλληλα οι μηχανές εσωτερικής καύσης που βρίσκονται στον κινητήρα όλων των αυτοκινήτων, εκλύει ποσότητες διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα, κάτι που είναι λογικό να ευδοκιμεί τον χειμώνα και να κοπάζει το καλοκαίρι, που παρατηρείται μείωση της χρήσης των Ι.Χ.

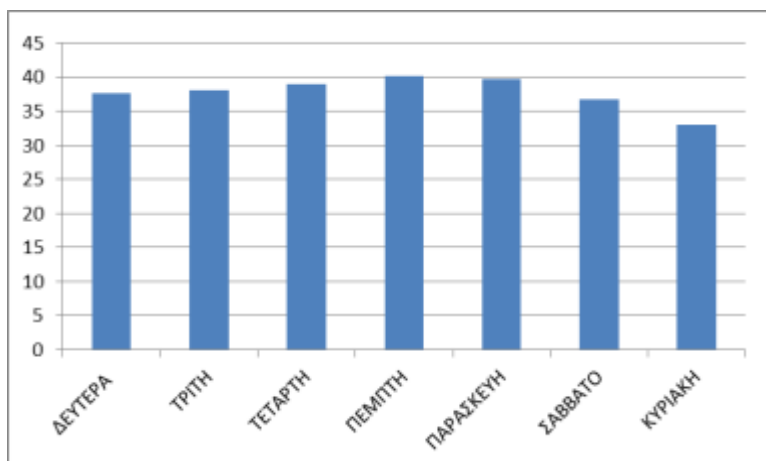
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ημέρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ημέρα σε κάθε σταθμό



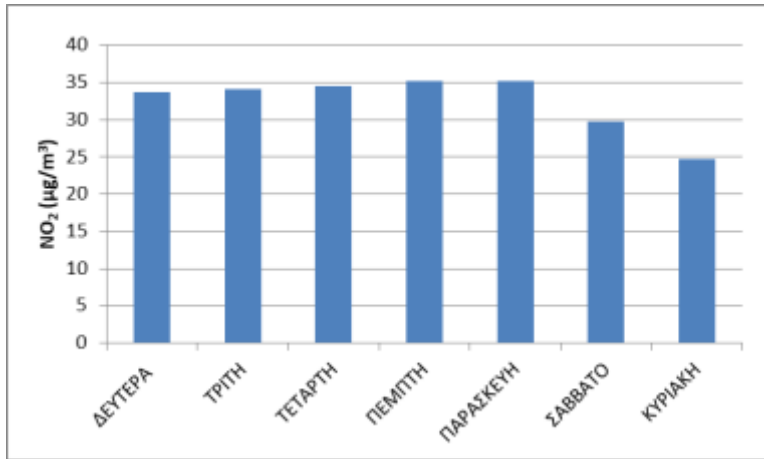
Διάγραμμα 31: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



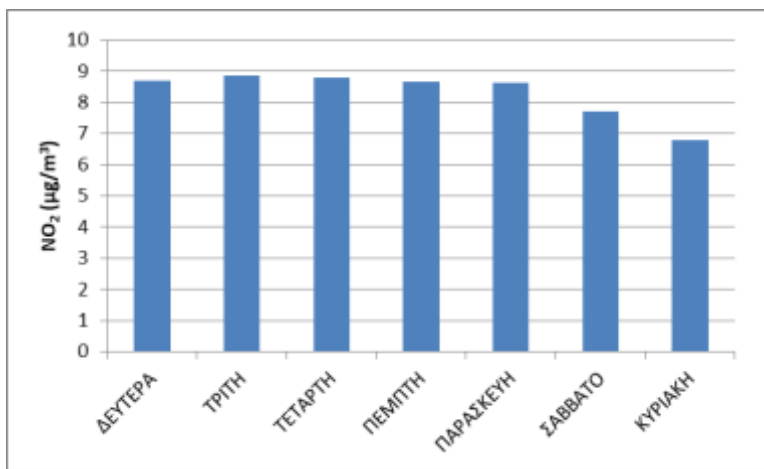
Διάγραμμα 32: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



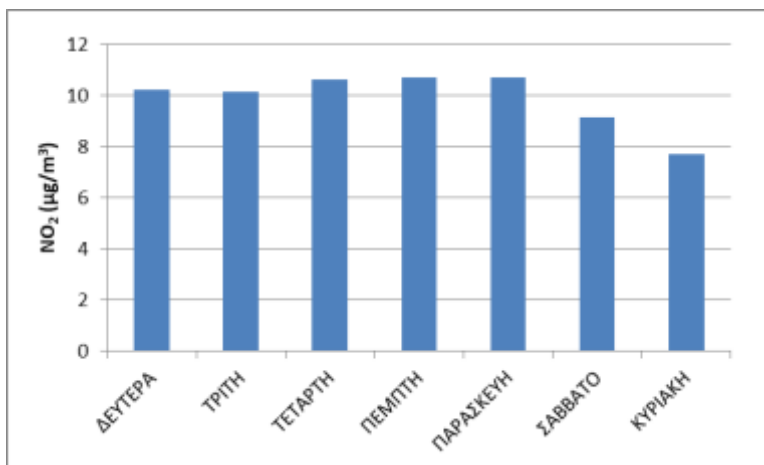
Διάγραμμα 33: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



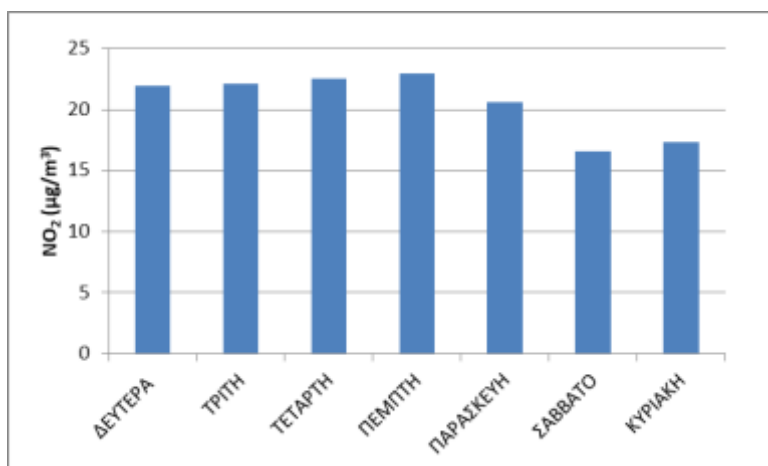
Διάγραμμα 34: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 35: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 36: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

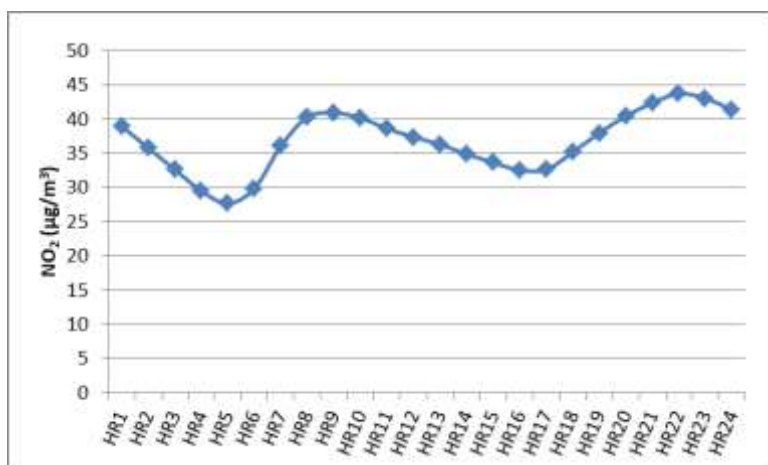


Διάγραμμα 37: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

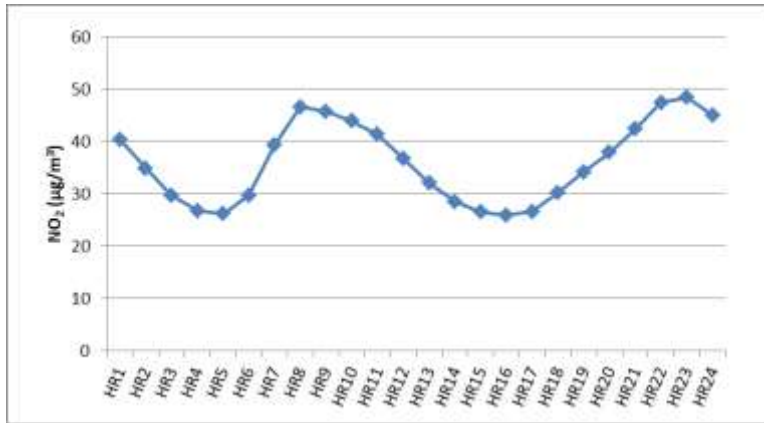
Σχολιασμός:

Τα ημερήσια αποτελέσματα που λαμβάνουμε για την συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου υποδεικνύουν σταθερή διακύμανση μεταξύ των ημερών της εβδομάδας με μικρή πτώση προς το τέλος της. Αυτό οφείλεται, καθώς το Σαββατοκύριακο αποτελεί ημέρες ηρεμίας και αποφυγής της κυκλοφορίας με Ι.Χ. και κατά συνέπεια ελάττωση των εκπομπών NO₂ από τους κινητήρες των αυτοκινήτων. Επιπλέον, αποτελεί αργία για τις βιομηχανικές δραστηριότητες που υπάρχουν στην Θεσσαλονίκη επηρεάζοντας έτσι πτωτικά τα αποτελέσματα.

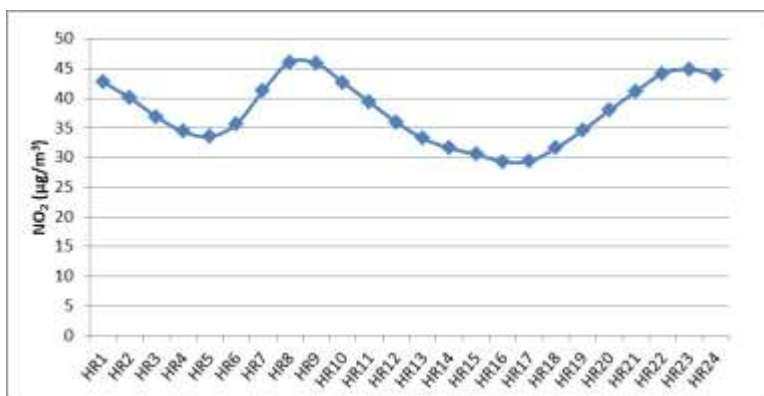
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ωρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ώρα σε κάθε σταθμό



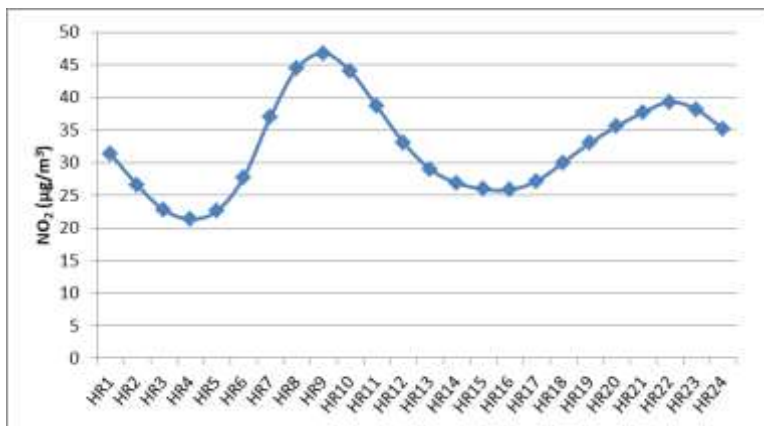
Διάγραμμα 38: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 39: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



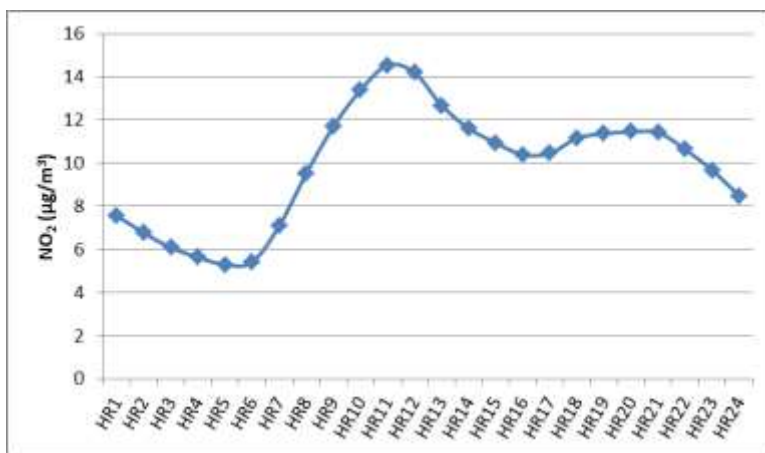
Διάγραμμα 40: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



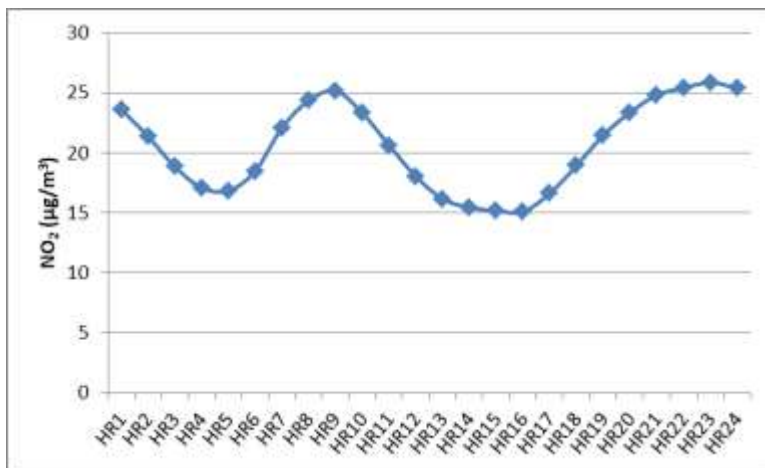
Διάγραμμα 41: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 42: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 43: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

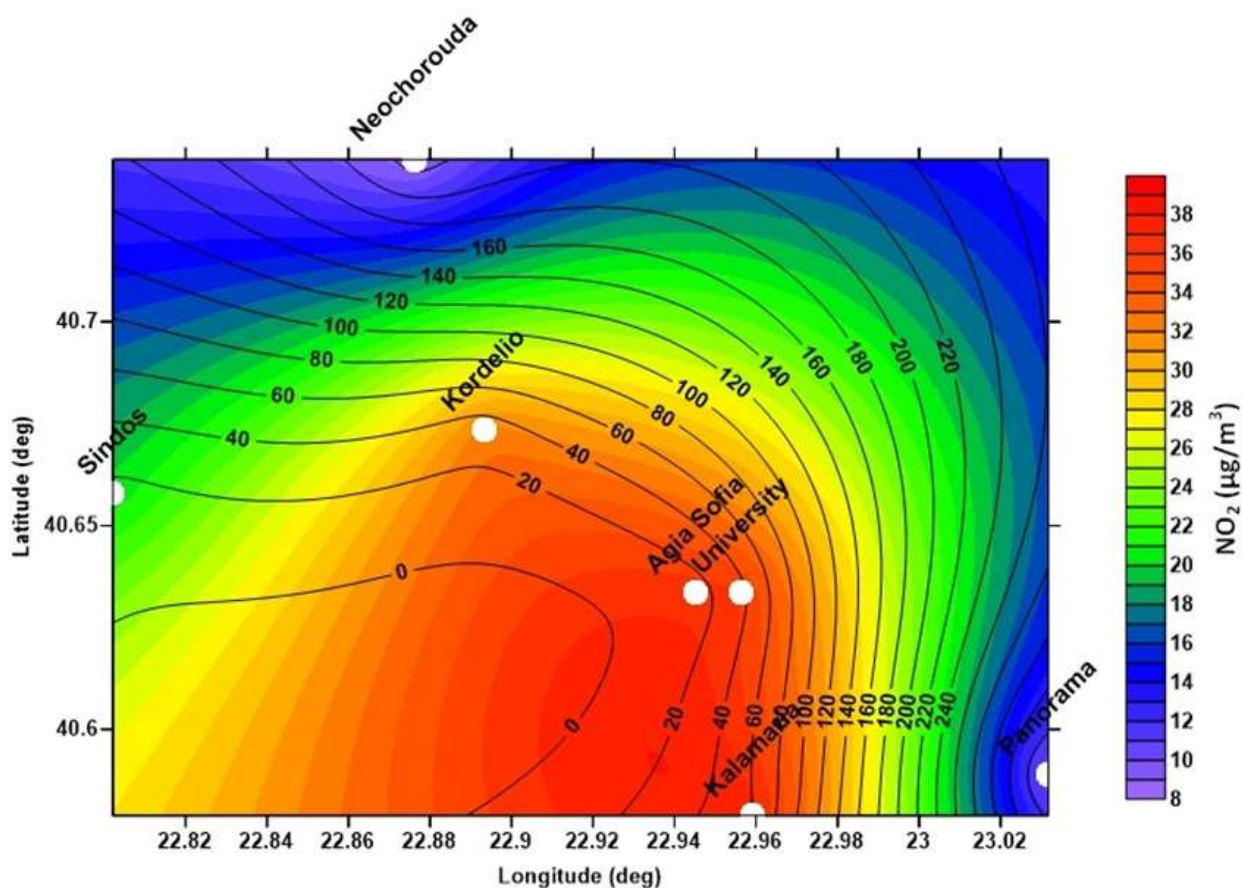


Διάγραμμα 44: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

Σχολιασμός:

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα της ωριαίας διακύμανσης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου, υπάρχουν ώρες της ημέρας που παρατηρείται εκπομπή αερίων σε μεγαλύτερο βαθμό από άλλες. Αυτά τα δύο διαστήματα είναι το πρωί (7:00-12:00) και το βράδυ (19:00- 24:00 ή 2:00). Εάν συσχετίσουμε τα δεδομένα με το πρόγραμμα της βιομηχανίας τα αποτελέσματα είναι λογικά, καθώς το πρώτο διάστημα είναι οι ώρες έναρξης εργασίας και παραγωγής, όπου προς το μέσον της ημέρας πλησιάζουμε στις ώρες διαλειμμάτων γι αυτό και παρατηρείται μία πτώση. Αντίστοιχα, το πρώτο διάστημα περιλαμβάνει μετρήσεις που προκύπτουν από το κυκλοφοριακό σύστημα, δηλαδή κινητοποίηση μηχανών καύσης που παράγουν NO_2 . Ενώ θα αναμέναμε τα επίπεδα των συγκεντρώσεων να είναι χαμηλά κατά τις βραδινές ώρες, που τελειώνει και το ωράριο λειτουργίας των βιομηχανιών, υπάρχει ανάκαμψη που οφείλεται σε άλλους παράγοντες. Το κυκλοφοριακό ζήτημα παραμένει, καθώς οι πολίτες, αναλόγως την ημέρα, επιστρέφουν από την δουλειά τους ή κατευθύνονται προς διασκέδαση. Επιπλέον τις βραδινές ώρες επιτυγχάνονται πιο εύκολα οι μετακινήσεις φορτηγών του εμπορικού τομέα που συμβάλλουν στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου.

Χάρτης Χωρικής Κατανομής Διοξειδίου του αζώτου (NO_2)



Σχήμα 2: Χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης NO_2 στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, σε συνάρτηση με το υψόμετρο (ισοϋψείς) πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

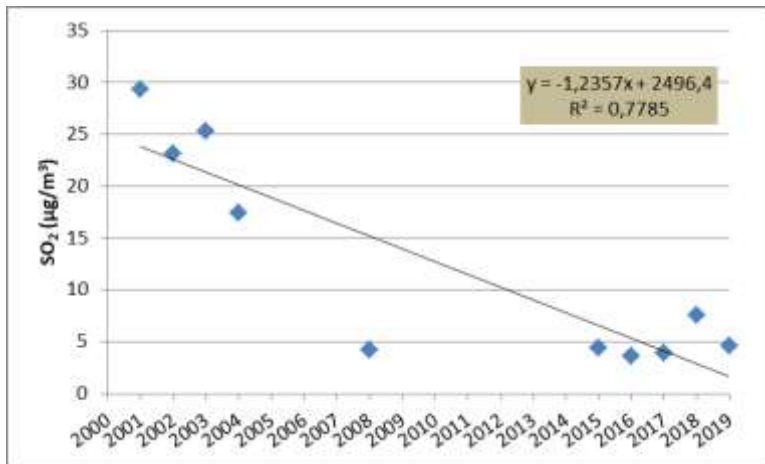


Σχολιασμός:

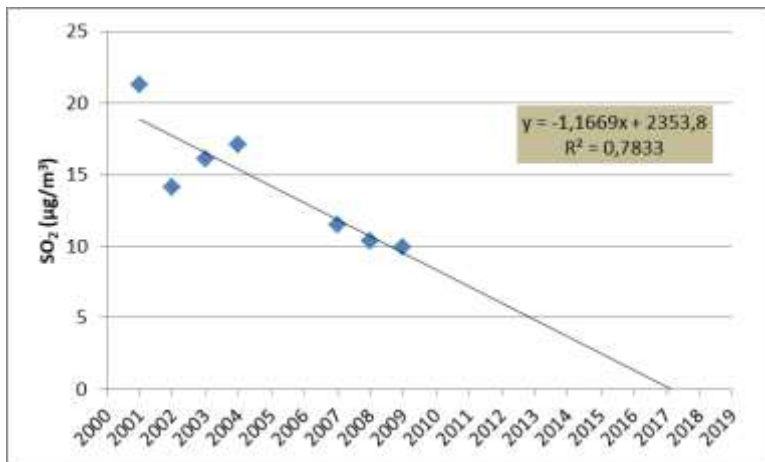
Στον παραπάνω χάρτη του Σχήματος 18, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης διοξειδίου του αζώτου (NO_2) τον οποίο μετράμε σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ο χάρτης αναπαριστά τις μέσες ετήσιες τιμές για την περίοδο 2001-2019, μέσω της μεθόδου Kriging. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 8-38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι καμπύλες είναι οι ισοϋψείς (υψόμετρα από την επιφάνεια της θάλασσας) και παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το ύψος και απομακρυνόμαστε από το κέντρο της πόλης (πχ. Αγία Σοφία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο), τόσο μειώνεται η ρύπανση. Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την Εθνική Νομοθεσία, έχει οριστεί όριο για την προστασία της υγείας τα 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για χρονική περίοδο 1 ώρας και 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το έτος, τιμές που δεν πρέπει να τις υπερβαίνουμε. Αυτό που προκύπτει από την χωρική κατανομή είναι ότι η συγκέντρωση του ρύπου δεν ξεπερνά τα 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, μία τιμή κοντά στο όριο, ωστόσο χαμηλότερή του, γεγονός θετικό για την πορεία της ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι το κέντρο της πόλης είναι πιο επιβαρυνμένο συγκριτικά με τις περιφερειακές και βιομηχανικές περιοχές (όπως Νεοχωρούδα και Σίνδος) κι αυτό οφείλεται στο συνδυασμό κυκλοφοριακού ζητήματος και μεθόδων θέρμανσης (πχ. σόμπα γκαζιού), με το πρώτο να υπερτερεί εφόσον είναι πιο υψηλές οι συγκεντρώσεις στην πόλη, που υπάρχουν περισσότερα μεταφορικά μέσα. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι ο βασικότερος παράγοντας για την εκπομπή διοξειδίου του αζώτου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι η κυκλοφορία των αυτοκινήτων και δευτερευόντως οι βιομηχανικές διεργασίες.

5.3 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

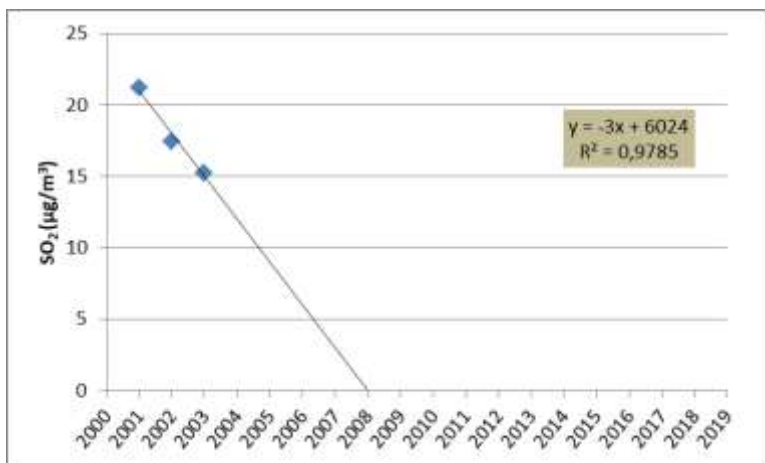
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Έτους/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά έτος σε κάθε σταθμό



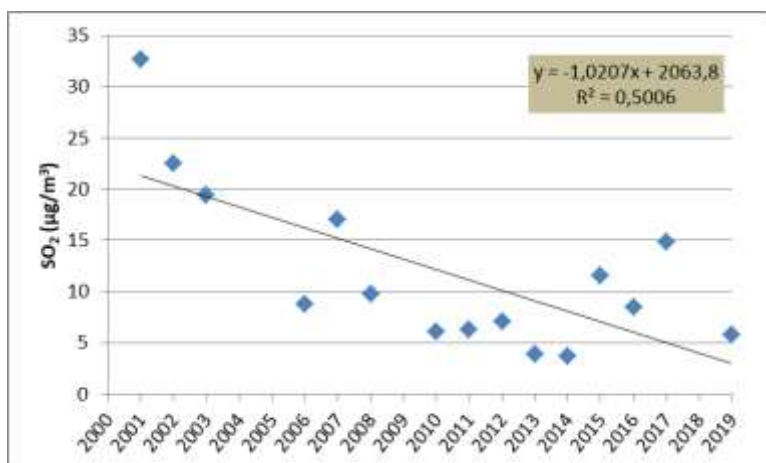
Διάγραμμα 45: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



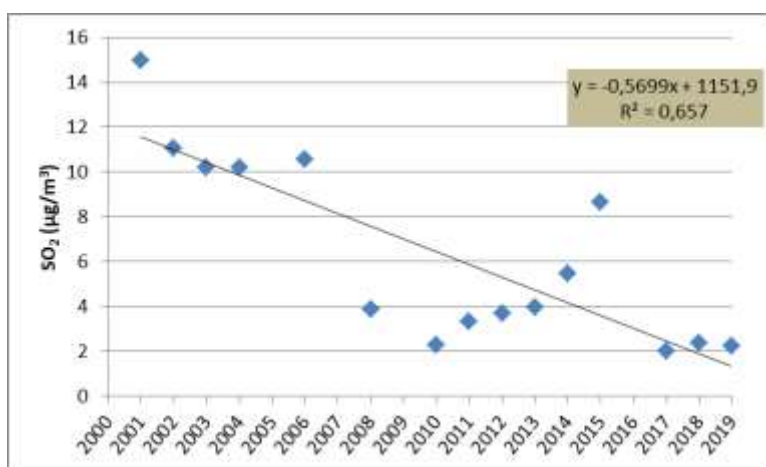
Διάγραμμα 46: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 47: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 48: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 49: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα

Σχολιασμός:

Παρατηρούμε και στους 5 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις διοξειδίου του θείου (SO₂) μία πτωτική πορεία του ρύπου σχετικά με την ετήσια διακύμανση του.

Πιο συγκεκριμένα:

- Σταθμός Αγία Σοφίας: μείωση κατά 1,2327 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,78 , όπου περιγράφει το 78% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Α.Π.Θ.: μείωση κατά 1,1669 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,78, όπου περιγράφει το 78% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Καλαμαριάς: μείωση κατά 3 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,98 , όπου περιγράφει το 98% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε πολύ καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.

- Σταθμός Κορδελιού: μείωση κατά 1,0207 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,50$, όπου περιγράφει το 50% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε μέτρια αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Σίνδου: μείωση κατά 0,5699 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με συντελεστή συσχέτισης $R=0,66$, όπου περιγράφει το 66% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.

Στα παραπάνω αποτελέσματα μεγάλο ποσοστό συμμετοχής λαμβάνουν οι βιομηχανικές δραστηριότητες (πχ. παραγωγή τσιμέντου), η όξινη βροχή και οι δασικές πυρκαγιές.

Όσον αφορά τον πρώτο παράγοντα η μεταλλουργία και η τσιμεντοβιομηχανία μέσω των διεργασιών που εκτελούνται κατά την παραγωγική διαδικασία, εκπέμπουν διοξείδιο του θείου. Μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες τσιμέντου (TITAN A.E.), έχει 1 βιομηχανία από το 1962 στην περιοχή Ευκαρπία της Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα της ετήσιας διακύμανσης δείχνουν πτωτική πορεία της συγκέντρωσης του ρύπου, κάτι που συνδέεται άμεσα με την συγκεκριμένη βιομηχανία. Το 2014 υπογράφεται από την Τιτάνα η “Χάρτα για Βιώσιμη Ελλάδα” στο πλαίσιο της Πρωτοβουλίας για την βιώσιμη ανάπτυξη στην Ελλάδα “ Sustainable Greece 2020”, όπου και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα το 2017 και έδειξαν μείωση του ρύπου κατά 95% σε σχέση με το 1990. Επιπλέον, από το 2010 και μετά συνέβαλε και η οικονομική κρίση που έπληξε σε μεγάλο βαθμό τον συγκεκριμένο κλάδο, καθώς «πάγωσαν» πολλές κατασκευαστικές εταιρείες, τα σχέδια οικοδόμησης και ανοικοδόμησης. [17]

Αντίστοιχα με της βιομηχανίας, είναι τα αποτελέσματα της όξινης βροχής (acid rain). Πρόδρομο για τη ύπαρξή της είναι η δημιουργία SO_2 . Κάτι που είναι εμφανές, είναι η επίδραση που έχει στα μάρμαρα μνημείων που κοσμούν διάφορα μέρη της Θεσσαλονίκης. Ο συγκεκριμένος ρύπος προσβάλλει την πέτρα ως όξινο διάλυμα και πολλές φορές δημιουργεί και μεταβολή του χρώματός του, σαν το παράδειγμα του Λευκού Πύργου.

Από τις Δασικές Πυρκαγιές όπως είναι γνωστό πηγάζουν αρκετοί ρύποι, όπως κι εκείνος του διοξειδίου του θείου. Μέσα από τα δεδομένα του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα φαίνεται να υπάρχει άμβλυνση του φαινομένου. [18]

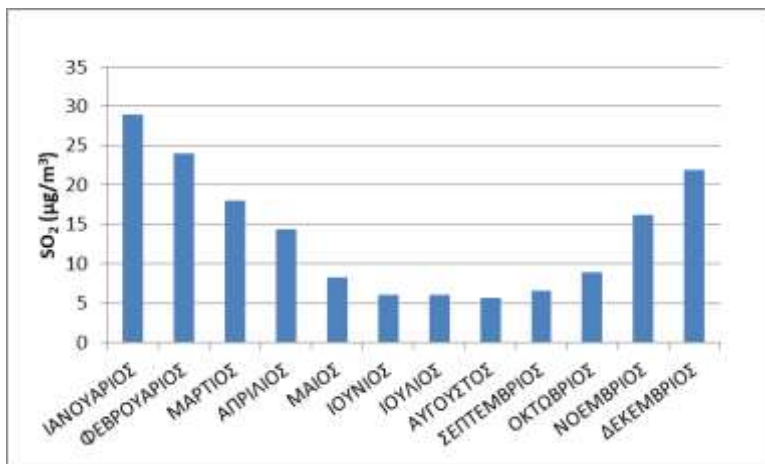
| Ετήσια Αποτελέσματα Δασικών Πυρκαγιών στη Θεσσαλονίκη | | | | | | | |
|---|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 2000 | 420 | 2005 | 191 | 2010 | 125 | 2015 | 109 |
| 2001 | 577 | 2006 | 170 | 2011 | 205 | 2016 | 183 |
| 2002 | 257 | 2007 | 188 | 2012 | 168 | 2017 | 160 |
| 2003 | 166 | 2008 | 222 | 2013 | 315 | 2018 | 151 |
| 2004 | 205 | 2009 | 156 | 2014 | 141 | 2019 | 207 |

Τέλος σε μικρό βαθμό συμβάλει η βιομηχανία κρασιού. Τον Απρίλιο του 2013, με πρωτοβουλία του Δημάρχου δημιουργήθηκε ο πρώτος Αστικός Αμπελώνας Θεσσαλονίκης, με δική του σειρά παραγωγής. Το διοξείδιο του θείου χρησιμοποιείται τόσο στην παραγωγή κρασιών, όσο στην παραγωγή αφυδατωμένων φρούτων για τη συντήρηση των προϊόντων αυτών, το οποίο στη συνέχεια εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Στα πλαίσια αντικατάστασής του, το Ευρωπαϊκό Ερευνητικό Έργο “so2say” έχει ανακαλύψει φυτικά εκχυλίσματα που είναι εφικτό να το αντικαταστήσουν. [19] [20]

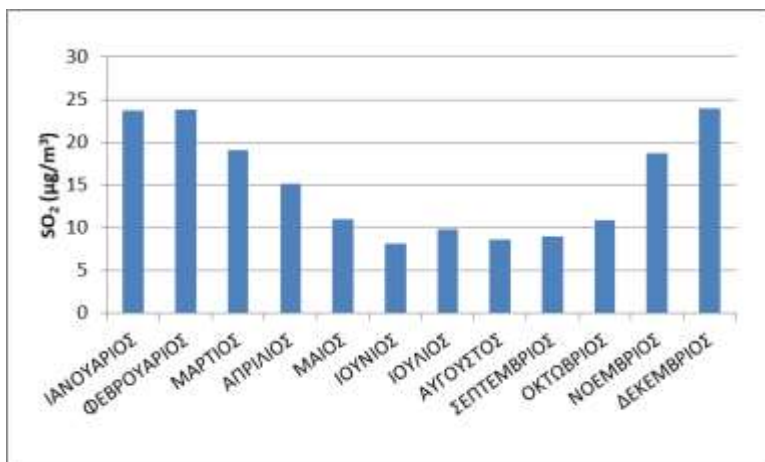


Εικόνα 14: Αστικός Αμπελώνας Θεσσαλονίκης, Πηγή: Voria.gr (17/08/2021)

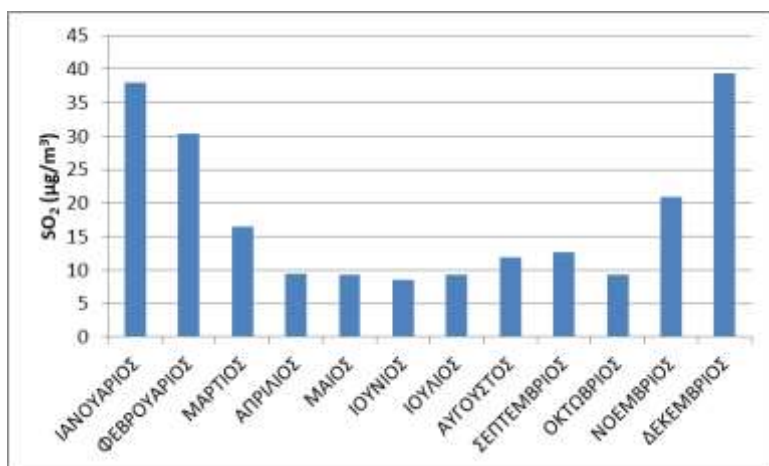
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Μήνα/ Διαγρονική Εξέλιξη ανά μήνα σε κάθε σταθμό



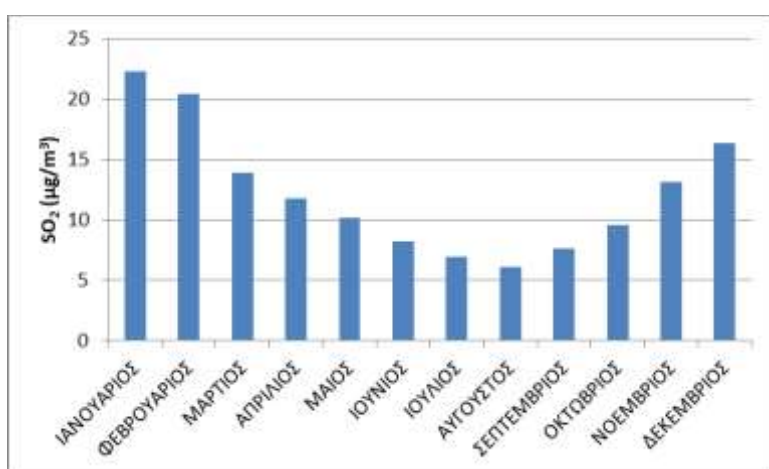
Διάγραμμα 50: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



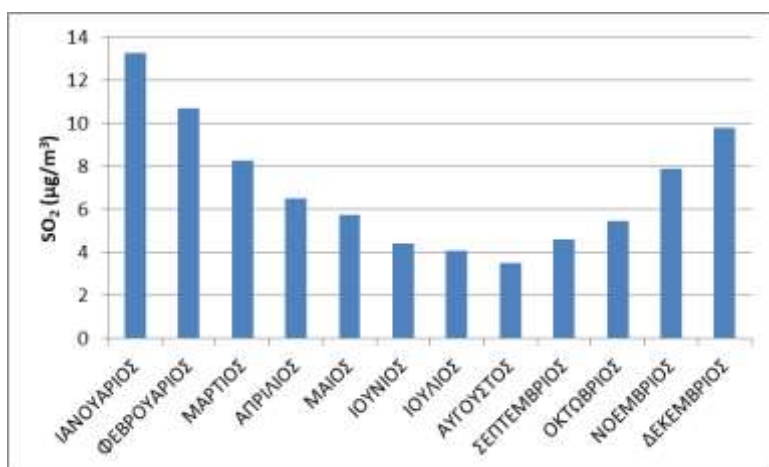
Διάγραμμα 51: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 52: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 53: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



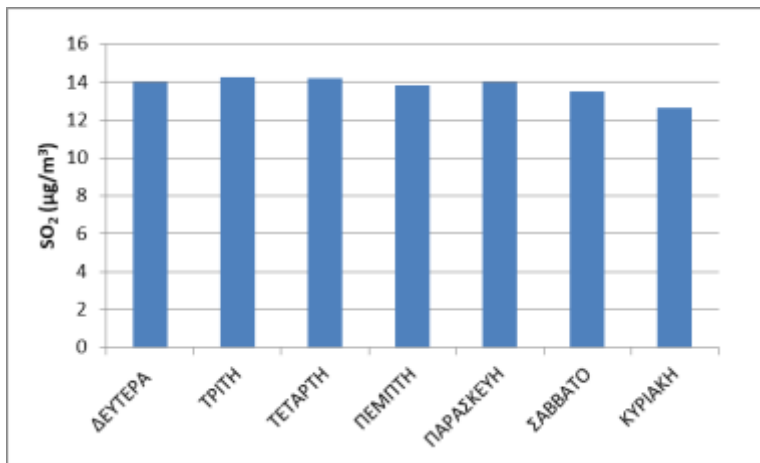
Διάγραμμα 54: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

Σχολιασμός:

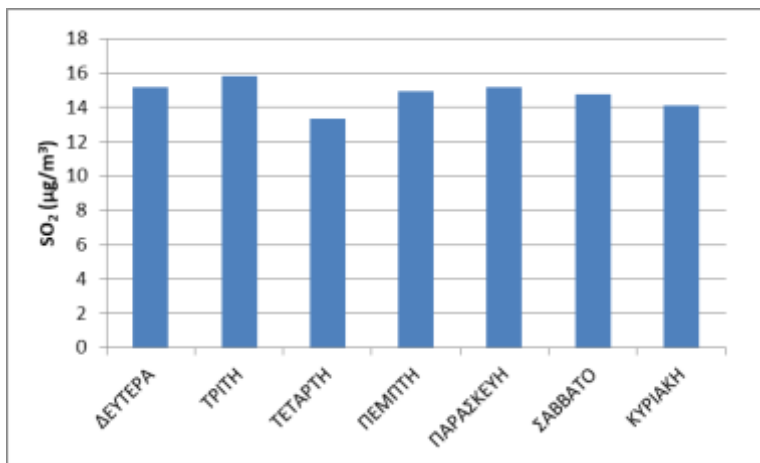
Τα παραπάνω μηνιαία αποτελέσματα του διοξειδίου του θείου, φέρουν αντίστοιχη απεικόνιση με των προηγούμενων υπό μελέτη ρύπων. Η δραστική μείωση των επιπέδων SO₂ κατά τη διάρκεια του θερμού μέρους του έτους, μπορεί να αποδοθεί στο κλείσιμο των καυστήρων κεντρικής θέρμανσης.

Επιπλέον, τους καλοκαιρινούς μήνες είναι φυσικό να μην υφίσταται στο 100% η παραγωγική διαδικασιών των βιομηχανιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, λόγω των έντονων καιρικών συνθηκών (υψηλές θερμοκρασίες, καύσωνας). Προς τα τέλη του, όπου τελειώνει και η περίοδος των διακοπών και επανέρχεται ο κόσμος στην κανονικότητα, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου, όπου οφείλεται στο κυκλοφοριακό ζήτημα. Παράλληλα, στα τέλη του Αυγούστου ξεκινούν οι διαδικασίες συγκομιδής στους αμπελώνες και η παραγωγή κρασιού. Όπως είναι λογικό μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται τους χειμερινούς μήνες, που οφείλεται στην κάλυψη των θερμικών απαιτήσεων.

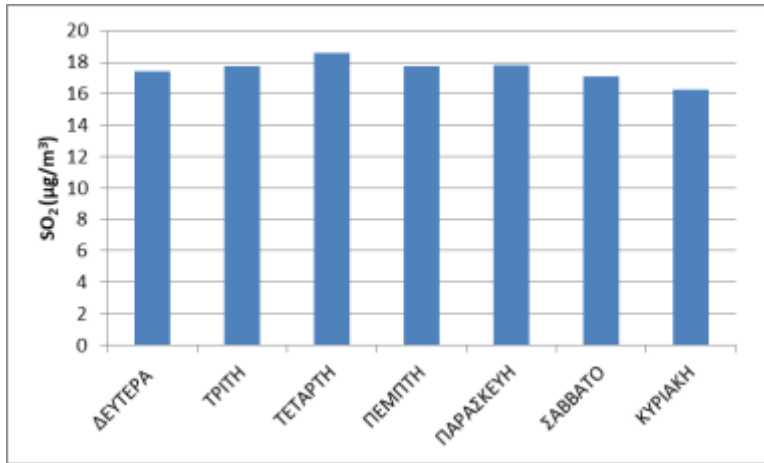
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ημέρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ημέρα σε κάθε σταθμό



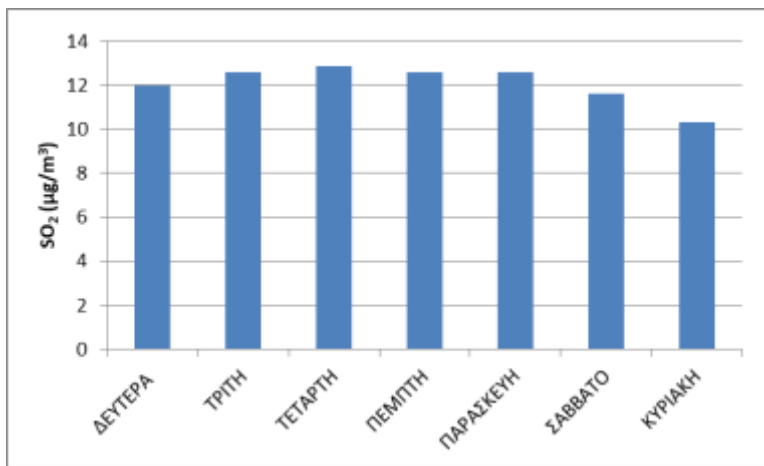
Διάγραμμα 55: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



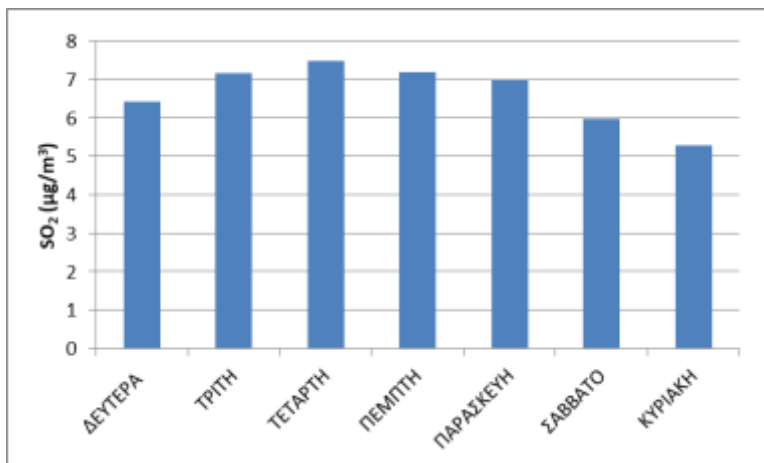
Διάγραμμα 56: Σταθμός Α.Π.Θ- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 57: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 58: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

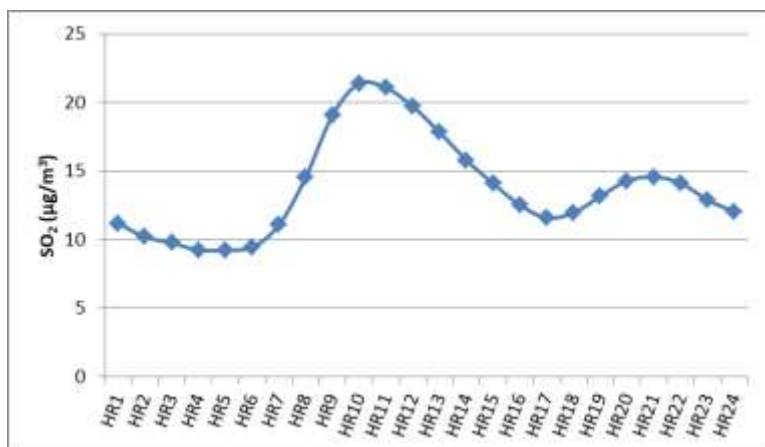


Διάγραμμα 59: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

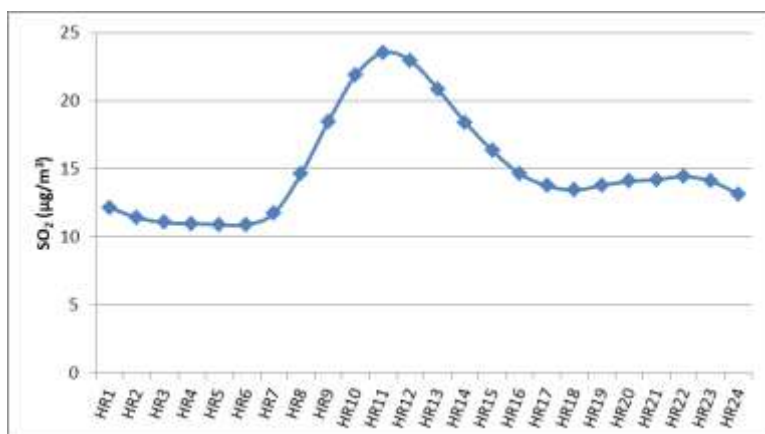
Σχολιασμός:

Οι παραπάνω τιμές παρουσιάζουν ελάχιστη διακύμανση μεταξύ των τιμών με την μέγιστη διαφορά να επέρχεται στα περίπου $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, που είναι αμελητέα. Όπως είναι αναμενόμενο προς το τέλος της εβδομάδας παρουσιάζεται μικρή πτώση των τιμών που σχετίζεται με το τέλος των παραγωγικών διεργασιών, της εργασίας και την αποφυγή των οχημάτων.

Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ωρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ώρα σε κάθε σταθμό



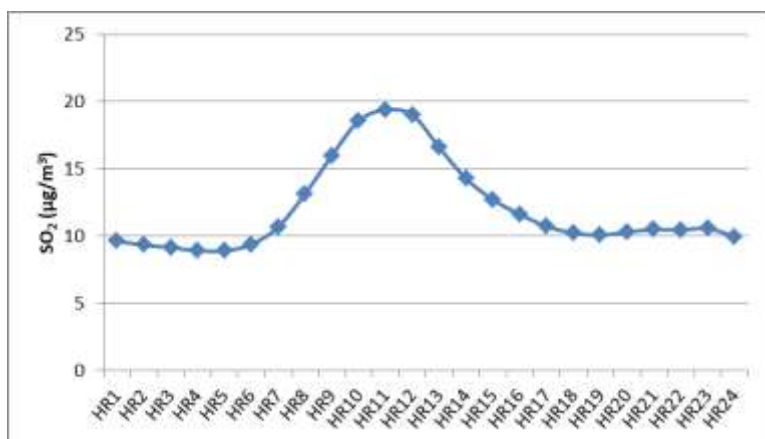
Διάγραμμα 60: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



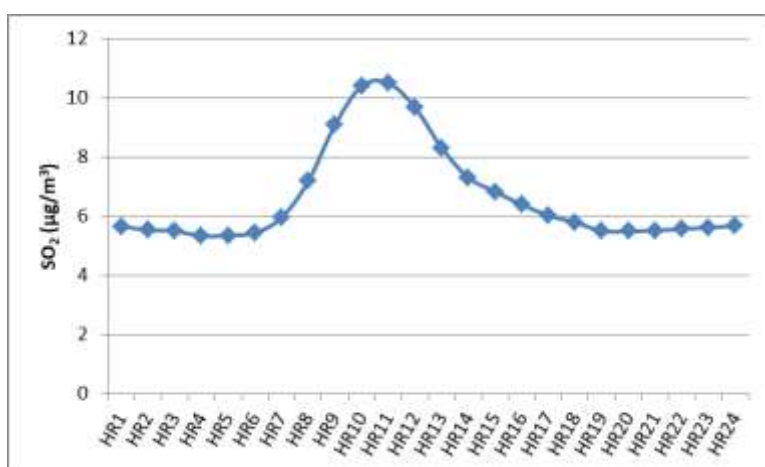
Διάγραμμα 61: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 62: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 63: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

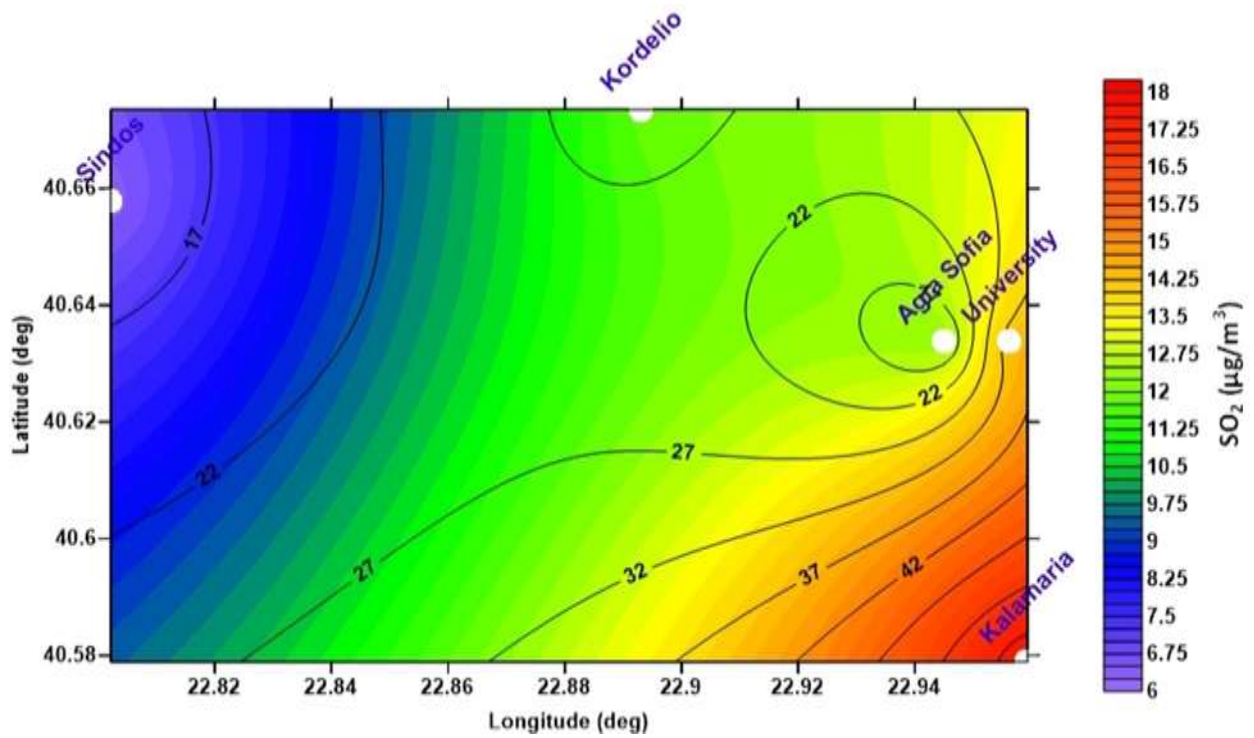


Διάγραμμα 64: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

Σχολιασμός:

Οι ωριαίες συγκεντρώσεις του ρύπου παρουσιάζουν μία σχετικά σταθερή πορεία τις πρώτες πρωινές και απογευματινές έως βραδινές ώρες, σε αντίθεση με το μέσον της ημέρας που εμφανίζει μία κορύφωση. Σε εκείνο το διάστημα της ημέρας (8:00-15:00) υπάρχει αυξημένη κυκλοφορία στους δρόμους της Θεσσαλονίκης, ενώ παράλληλα είναι οι ώρες λειτουργίας των βιομηχανιών και των παραγωγικών διαδικασιών.

Χάρτης Χωρικής Κατανομής Διοξειδίου του θείου (SO₂)



Σχήμα 3: Χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης SO₂ στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, σε συνάρτηση με το υψόμετρο (ισοϋψείς) πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

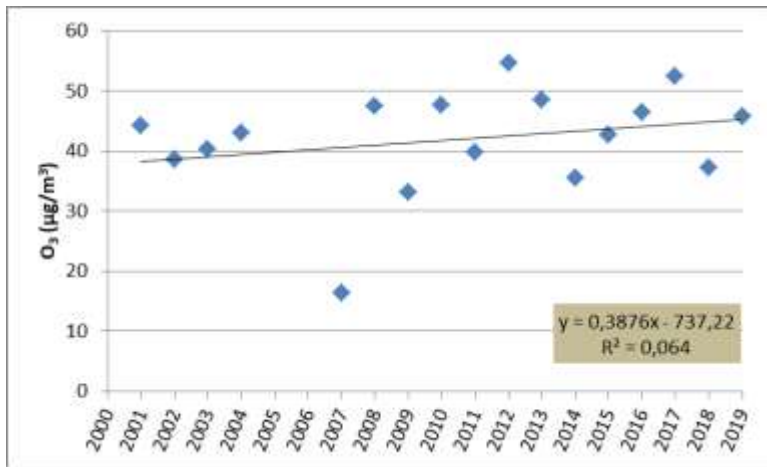


Σχολιασμός:

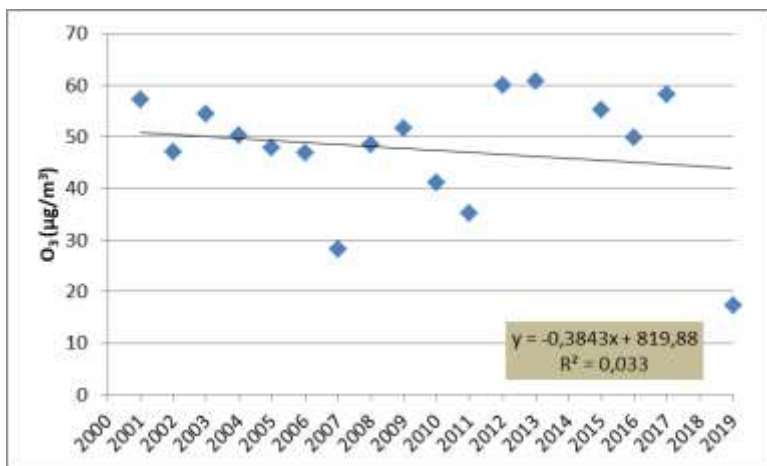
Στον παραπάνω χάρτη του Σχήματος 19, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO₂) τον οποίο μετράμε σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ο χάρτης αναπαριστά τις μέσες ετήσιες τιμές για την περίοδο 2001-2019, μέσω της μεθόδου Kriging. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 6-18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την Εθνική Νομοθεσία, έχει οριστεί όριο για την προστασία της υγείας τα 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε διάστημα 1 ώρας και τα 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για την 1 ημέρα, τιμές που δεν πρέπει να τις υπερβαίνουμε. Αυτό που προκύπτει από την χωρική κατανομή είναι ότι η συγκέντρωση του ρύπου δεν ξεπερνά τα 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, γεγονός πολύ θετικό για την πορεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη. Από τις ισοϋψείς καμπύλες διαμορφώνουμε την άποψη, ότι ο ρύπος δεν μεταβάλλεται βάση υψομετρικών κριτηρίων, καθώς δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφοροποίηση. Ωστόσο μικρή ισχυροποίηση παρατηρείται προς την νοτιοανατολική πλευρά της Θεσσαλονίκης (προς Καλαμαριά), γεγονός που υποδεικνύει ότι ο Βαρδάρης που φυσάει από την Σίνδο προς το κέντρο της πόλης μεταφέρει τον ρύπο προς εκείνη την κατεύθυνση, επιβαρύνοντας περαιτέρω τις αντίστοιχες περιοχές (κέντρο της πόλης). Αυτό συνεπάγεται συσσωρευμένα ποσά του ρύπου τα οποία προέρχονται τόσο από πρωτογενείς πηγές (πχ. κίνηση αυτοκινήτων), όσο και από την μεταφορά του, εξαιτίας της κυκλοφορίας του αέρα μέσα στην περιοχή.

5.4 Όζον (O₃)

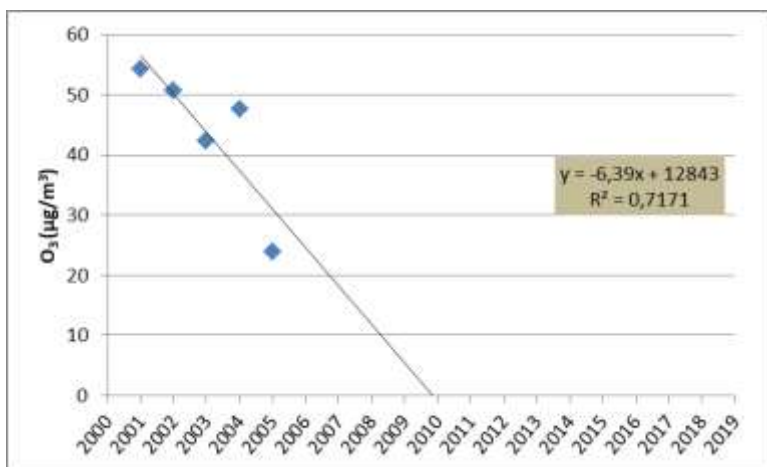
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Έτους/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά έτος σε κάθε σταθμό



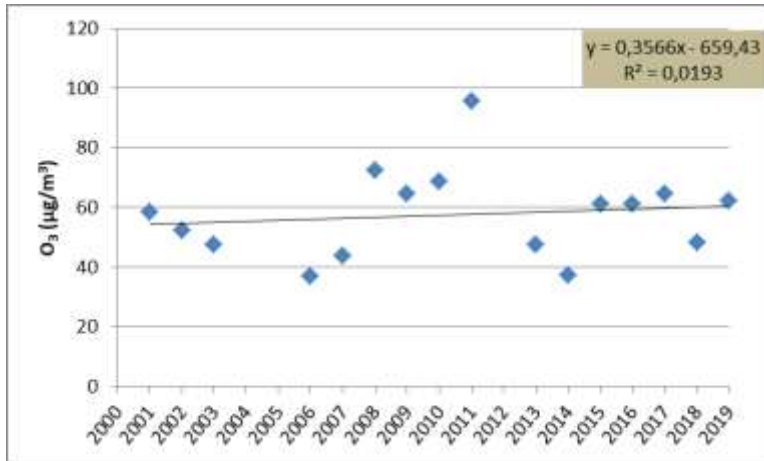
Διάγραμμα 65: Σταθμός Αγία Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



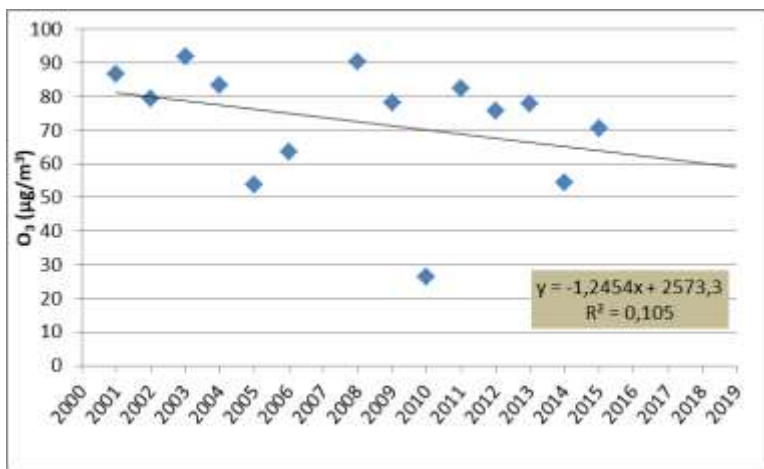
Διάγραμμα 66: Σταθμός Α.Π.Θ. - Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



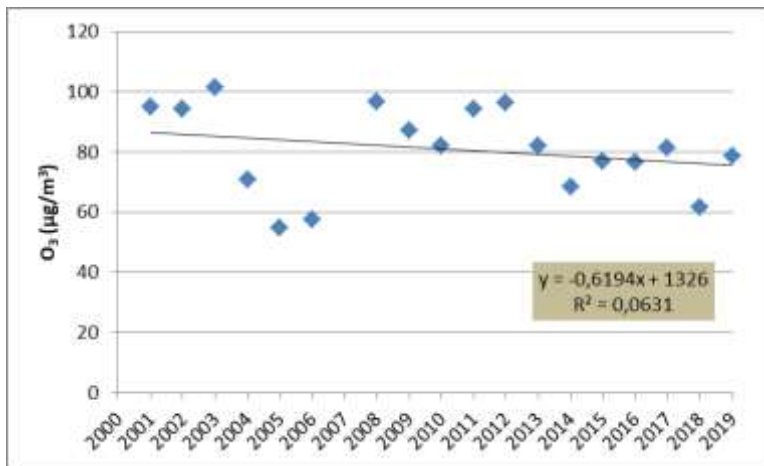
Διάγραμμα 67: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



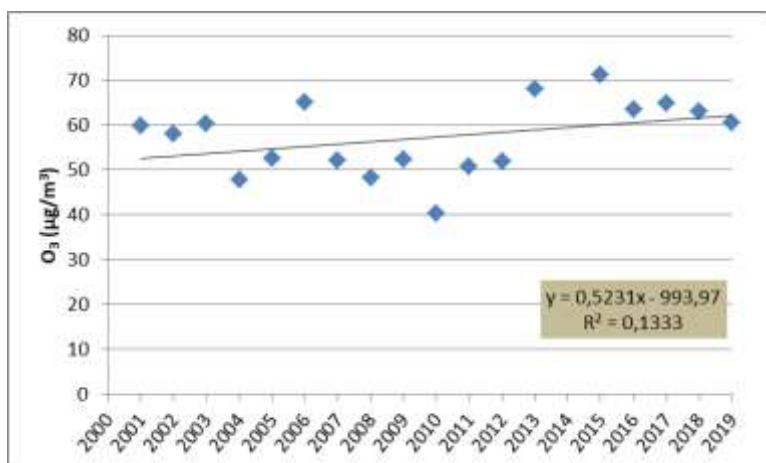
Διάγραμμα 68: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 69: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 70: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα



Διάγραμμα 71: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ετήσια κλίμακα

Σχολιασμός:

Παρατηρούμε στους 7 σταθμούς που καταγράφουν μετρήσεις διοξειδίου του θείου (SO₂), οι 4 παρουσιάζουν μία πτωτική πορεία του ρύπου, ενώ οι υπόλοιποι 3 μία ανοδική πορεία, σχετικά με την ετήσια διακύμανση του.

Πιο συγκεκριμένα:

- Σταθμός Αγία Σοφίας: αύξηση κατά 0,3876 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,06 , όπου περιγράφει το 6% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε καθόλου αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Α.Π.Θ.: μείωση κατά 0,3843 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,03, όπου περιγράφει το 3% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε καθόλου αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Καλαμαριάς: μείωση κατά 6,39 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,72 , όπου περιγράφει το 72% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά καλή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Κορδελιού: αύξηση κατά 0,3566 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,02 , όπου περιγράφει το 2% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε καθόλου αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Νεοχωρούδας: μείωση κατά 1,2454 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,1 , όπου περιγράφει το 10% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχεδόν κακή αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Πανοράματος: μείωση κατά 0,6194 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,06 , όπου περιγράφει το 6% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε καθόλου αξιοπιστία στις μετρήσεις.
- Σταθμός Σίνδου: αύξηση κατά 0,5231 µg/m³ με συντελεστή συσχέτισης R=0,13 , όπου περιγράφει το 13% της διακύμανσης των δεδομένων και μπορούμε να αποδώσουμε σχετικά κακή αξιοπιστία στις μετρήσεις.

Για τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ρύπου δεν έχουμε μεγάλη αξιοπιστία των μετρήσεων επί τω πλείστον. Ωστόσο, είναι αναμενόμενα. Μπορεί να προκαλεί έκπληξη το γεγονός διαχρονικής

αύξησης του ρύπου σε σχέση με τους προηγούμενους, υπάρχει όμως λογική εξήγηση πίσω από την διπολική συμπεριφορά του.

Περιοχές με πτωτική πορεία του ρύπου:

Παρατηρείται κυρίως σε περιοχές περιαστικού υποβάθρου (όπως Νεοχωρούδα, Πανόραμα). Το όζον όπως έχει αναφερθεί αποτελεί ισχυρό οξειδωτικό στον τομέα της απολύμανσης και ειδικά η μέθοδος της οζόνωσης (βαθμός απόδοσης 99%), που προτιμάται στην βιομηχανία διαχείρισης και επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Η Εταιρία Ύδρευσης Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (Ε.Υ.Α.Θ.Α.Ε.) έχει πλαισιώσει την πόλη με δύο εγκαταστάσεις από το 1962 που κάνουν χρήση αυτής της μεθόδου απολύμανσης. Στα πλαίσια βιώσιμης αξιοποίησης του ρύπου έχουν τοποθετηθεί συστήματα καταστροφής του πλεονάζοντος O_3 , όπου στο πέρας των χρόνων εξοπλίζονται και εκσυγχρονίζονται περισσότερο. Επιπλέον, περνούν από έλεγχο καταμέτρησης του ρύπου, ώστε να μην ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια, αλλά να τα ελαχιστοποιούν. [21]

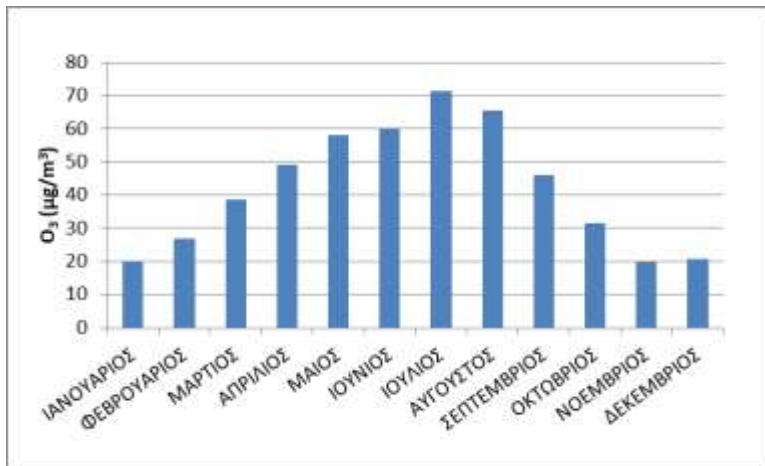


Εικόνα 15: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης, Πηγή: Ε.Υ.Α.Θ. <https://www.evath.gr/apocheteysi/>

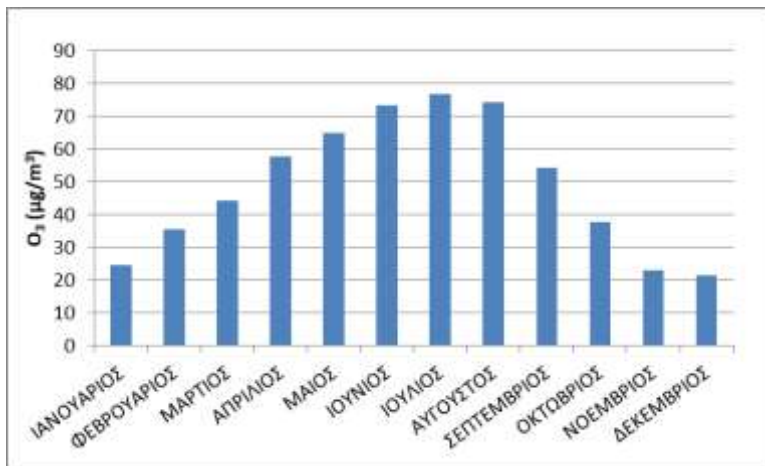
Περιοχές με ανοδική πορεία του ρύπου:

Παρατηρείται κυρίως σε περιοχές αστικού υποβάθρου (όπως Αγία Σοφία, Σίνδος). Οι παρακάτω αναφορές πραγματοποιούνται σε όλη την Ελλάδα, όπως και στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα τελευταία χρόνια, πολλοί ιδιώτες έχουν επιλέξει ιονιστές αέρος στο σπίτι τους. Είναι μία τάση που βρίσκει αρκετούς υποστηρικτές. Ενώ η λειτουργία τους είναι η αποστείρωση του αέρα, για την συλλογή των αερομεταφερόμενων ρύπων, χρησιμοποιούν ηλεκτρικό φορτιστή που παράγει όζον. Αντίστοιχα, παραγωγή του ρύπου παρατηρείται και από τους εκτυπωτές λέιζερ, που κάνουν την εμφάνισή τους ολοένα και περισσότερο από πριν το 2000 και κατά την εκτύπωση εκλύουν O_3 . Νέα τάση αποτελούν το τελευταίο διάστημα και οι πισίνες με όζον, καθώς είναι προτιμότερο από το χλώριο, διότι δεν αφήνει υπολείμματα. Άλλες πηγές έκλυσης του ρύπου είναι και η βιομηχανία των ηλεκτροσυγκολλήσεων, όπου η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλεκτρικού τόξου παράγει O_3 από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, ένα φαινόμενο, το οποίο εντοπίζεται και στη φύση.

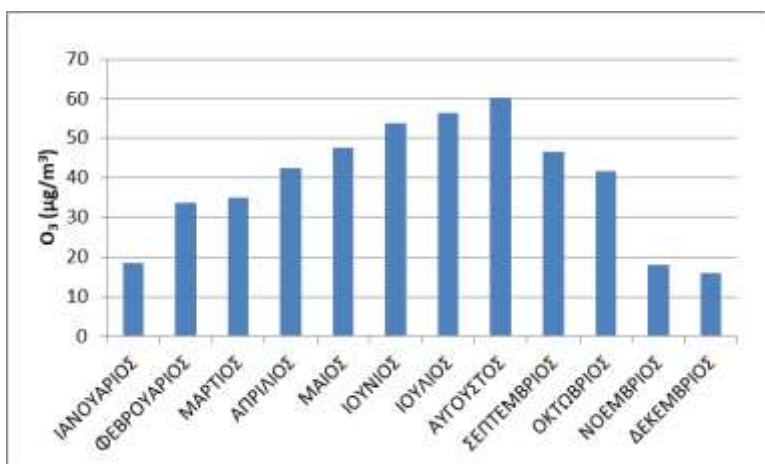
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Μήνα/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά μήνα σε κάθε σταθμό



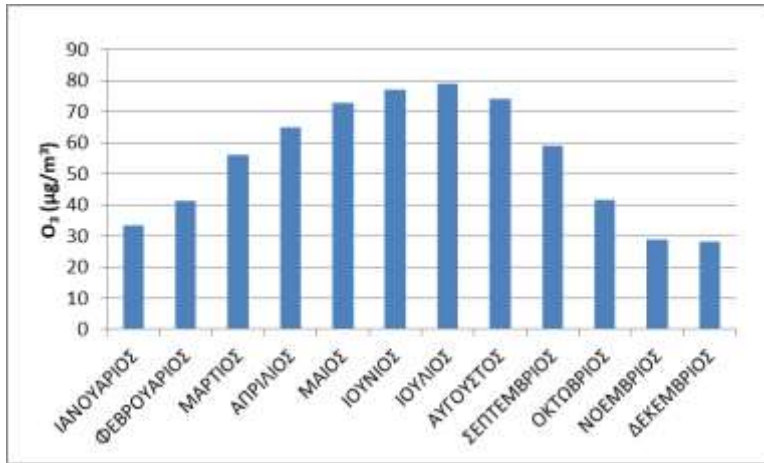
Διάγραμμα 72: Σταθμός Αγίας Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



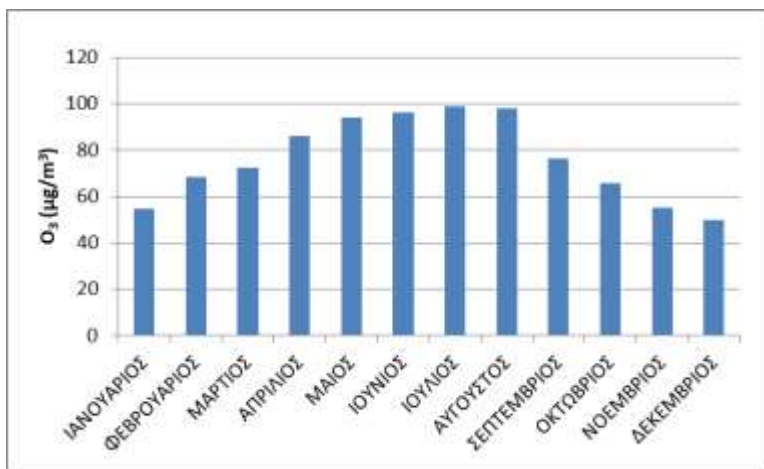
Διάγραμμα 73: Σταθμός Α.Π.Θ.- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



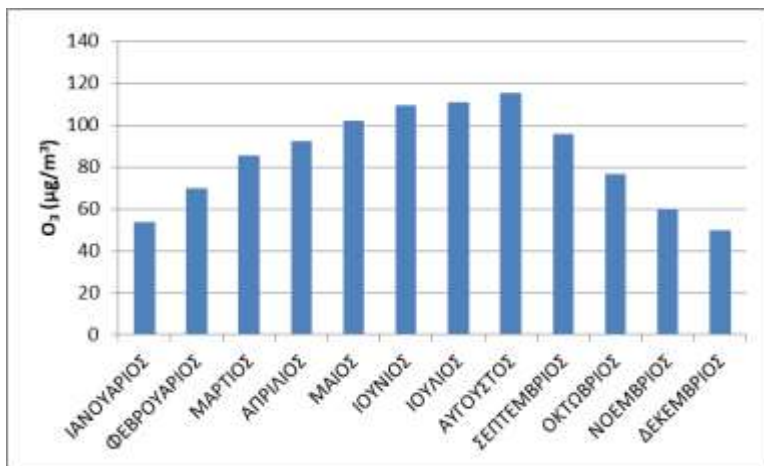
Διάγραμμα 74: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



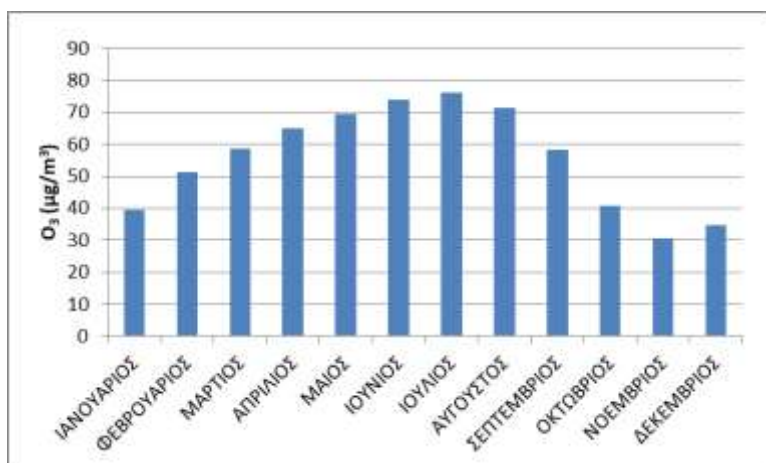
Διάγραμμα 75: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 76: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα



Διάγραμμα 77: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

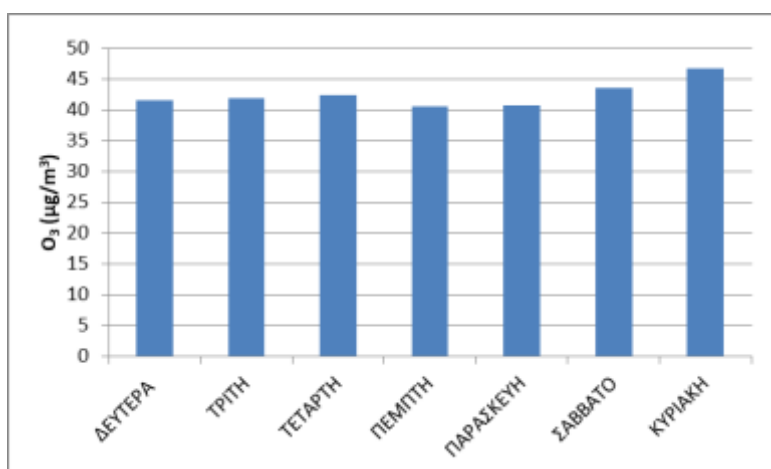


Διάγραμμα 78: Σταθμός Σίνδου: Εξέλιξη ρύπου σε μηνιαία κλίμακα

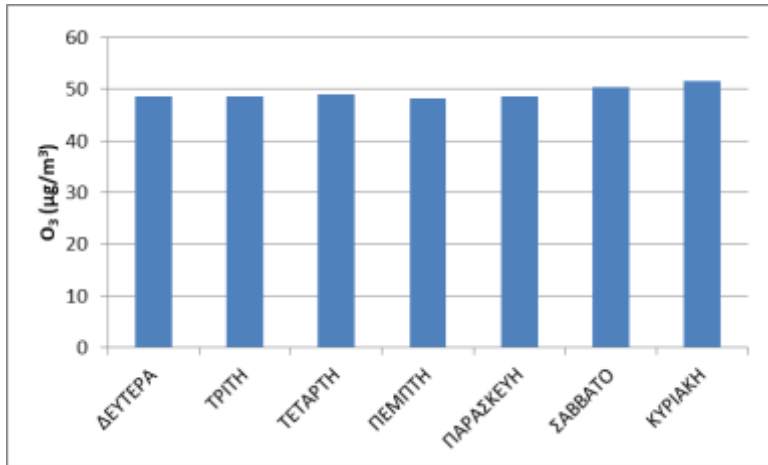
Σχολιασμός:

Τα αποτελέσματα της μηνιαία εξέλιξης της συγκέντρωσης του όζοντος, εμφανίζουν αντίθετη συμπεριφορά συγκριτικά με τους προηγούμενους τρεις υπό μελέτη ρύπους. Κατά το ψυχρό μέρος του έτους εντοπίζονται χαμηλές συγκεντρώσεις O₃, ενώ υψηλή άνοδος παρατηρείται το καλοκαίρι. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά μπορεί να αιτιολογηθεί κι από τον τρόπο δημιουργίας του όζοντος. Το όζον αποτελεί δευτερογενή ρύπο, ο οποίος δημιουργείται κατά την αντίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου με άλλους ρύπους, παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Είναι γνωστό ότι την περίοδο του καλοκαιριού έχουμε τον πιο ζεστό και καθαρό ουρανό, που συνεπάγεται έως και 80% άμεση ακτινοβολία και αύξηση της θερμοκρασίας, παράγοντες που συμβάλλουν στην ταχύτερη παραγωγή του. Επιπλέον, τη συγκεκριμένη περίοδο καθώς η πόλη της Θεσσαλονίκης περιβάλλεται από νερό ακατάλληλο για μπάνιο, οι πολίτες καταφεύγουν σε επιλογές όπως πισίνες, οι οποίες για την συντήρηση και απολύμανσή τους χρησιμοποιούν το όζον σε πολύ συχνότερο βαθμό, από ότι τον χειμώνα. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία εντοπίζεται μία εποχικότητα του ρύπου με άνοδο το θερμό μέρος του έτους και πτώση το ψυχρό.

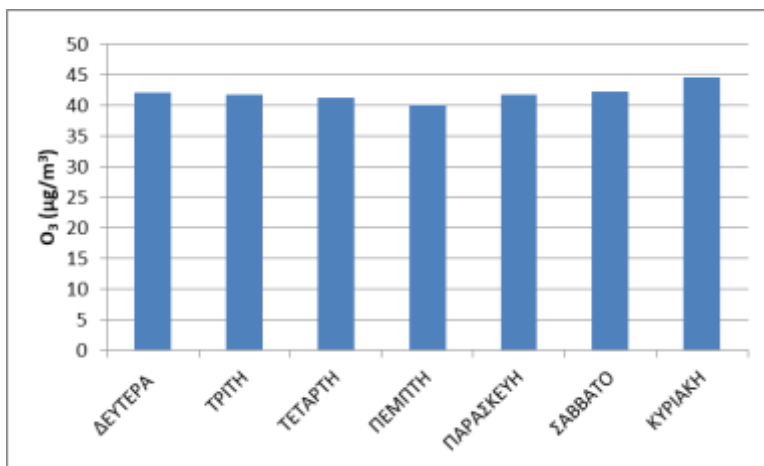
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ημέρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ημέρα σε κάθε σταθμό



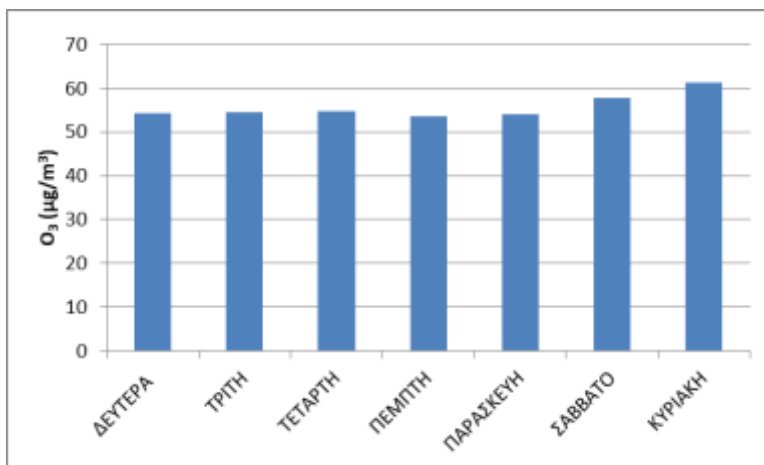
Διάγραμμα 79: Σταθμός Αγίας Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



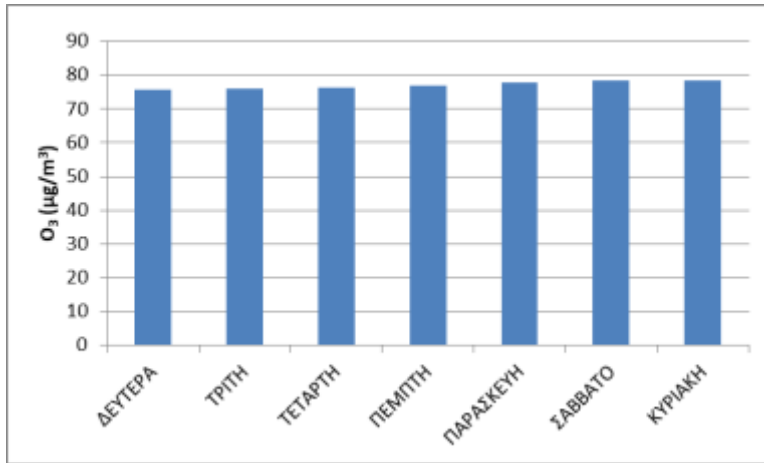
Διάγραμμα 80: Σταθμός Α.Π.Θ.- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



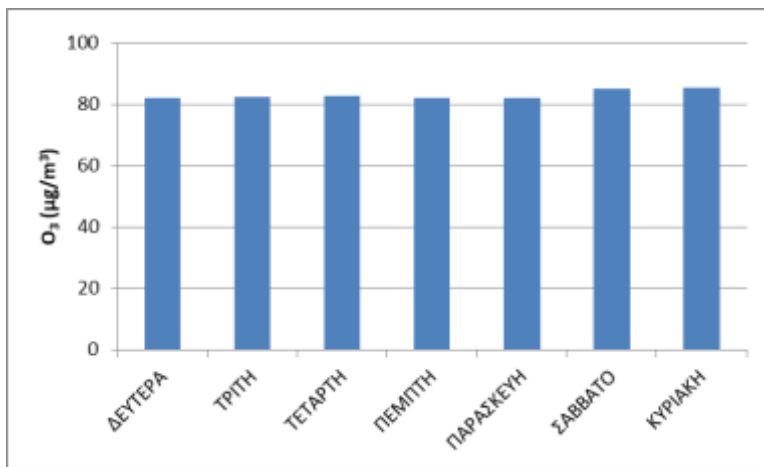
Διάγραμμα 81: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



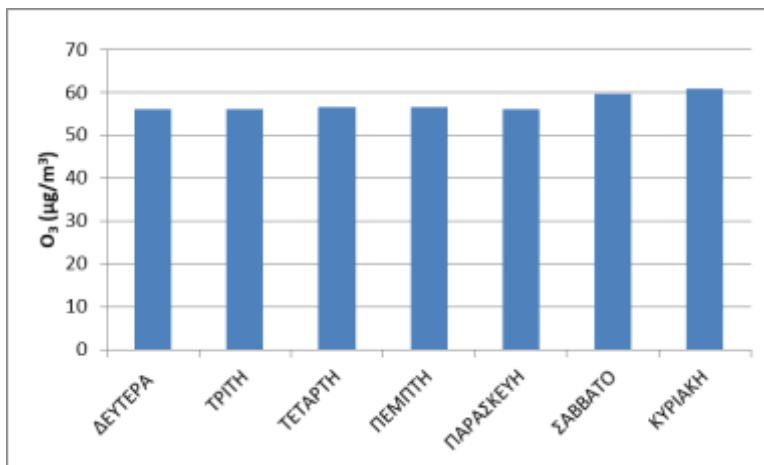
Διάγραμμα 82: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 83: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη του ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 84: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα



Διάγραμμα 85: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ημερήσια κλίμακα

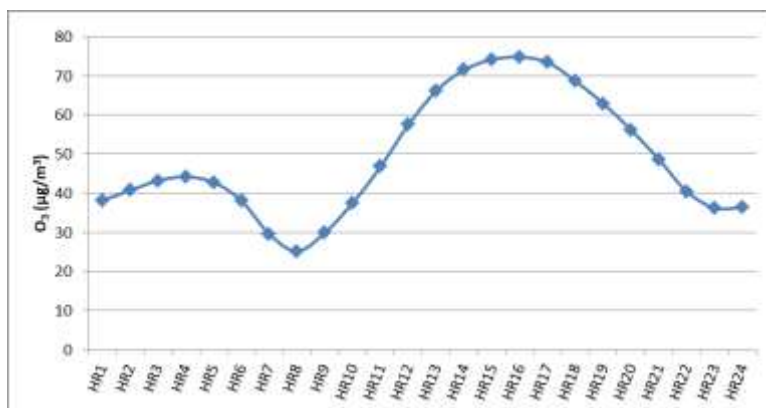
Σχολιασμός:

Τα ημερήσια αποτελέσματα συγκέντρωσης του ρύπου αποτυπώνουν σχεδόν μηδενική διακύμανση εντός της εβδομάδας. Μικρή μεταβολή παρουσιάζεται προς το τέλος της, η οποία δεν θα μπορούσε να αποδοθεί σε συγκεκριμένους παράγοντες. Ενώ παρατηρείται, σύμφωνα με τους άλλους ρύπους αποσυμφόρηση του κυκλοφοριακού ζητήματος και θα αναμέναμε μικρή πτώση, η λειτουργία των σταθμών επεξεργασίας λυμάτων θα μπορούσε να αιτιολογήσει ενδεχομένως την αύξηση, από τα δρομολόγια των απορριμματοφόρων. Επιπλέον το Σαββατοκύριακο αρκετοί είναι εκείνοι, οι οποίοι λόγω ελεύθερου χρόνου, επιλέγουν να ασχοληθούν με την καθαριότητα της οικίας τους, χρησιμοποιώντας χημικά που εκλύουν όζον.

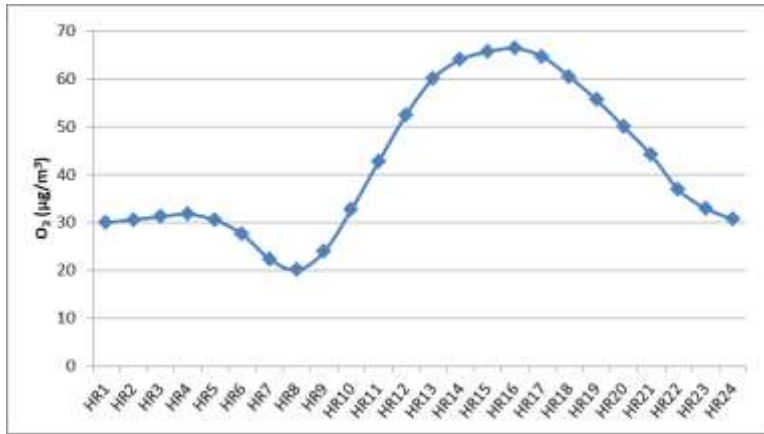
Διαγράμματα Συγκέντρωσης-Ώρας/ Διαχρονική Εξέλιξη ανά ώρα σε κάθε σταθμό



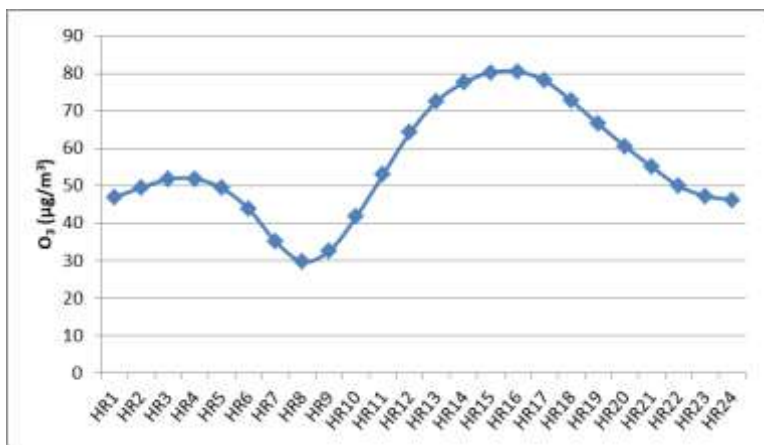
Διάγραμμα 86: Σταθμός Αγίας Σοφίας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



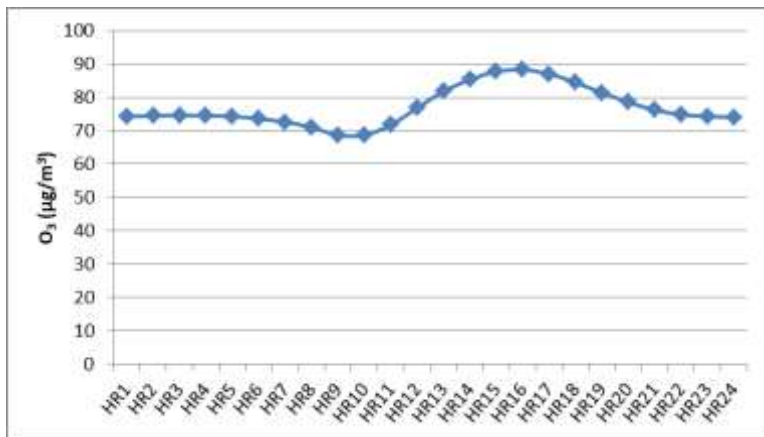
Διάγραμμα 87: Σταθμός Α.Π.Θ.- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



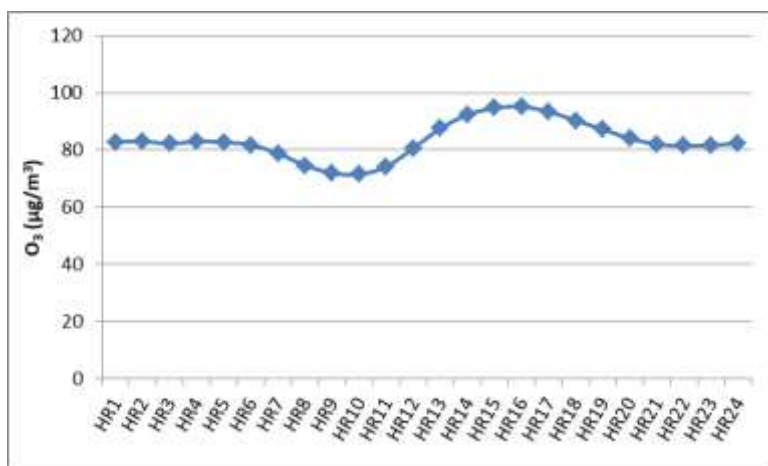
Διάγραμμα 88: Σταθμός Καλαμαριάς- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



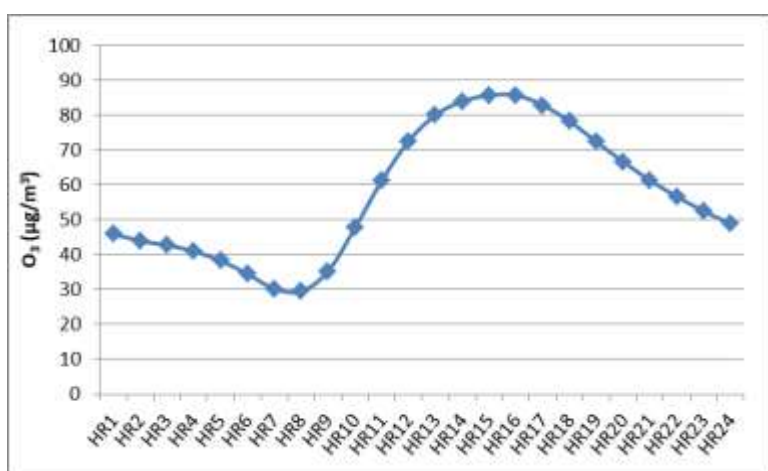
Διάγραμμα 89: Σταθμός Κορδελιού- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 90: Σταθμός Νεοχωρούδας- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα



Διάγραμμα 91: Σταθμός Πανοράματος- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

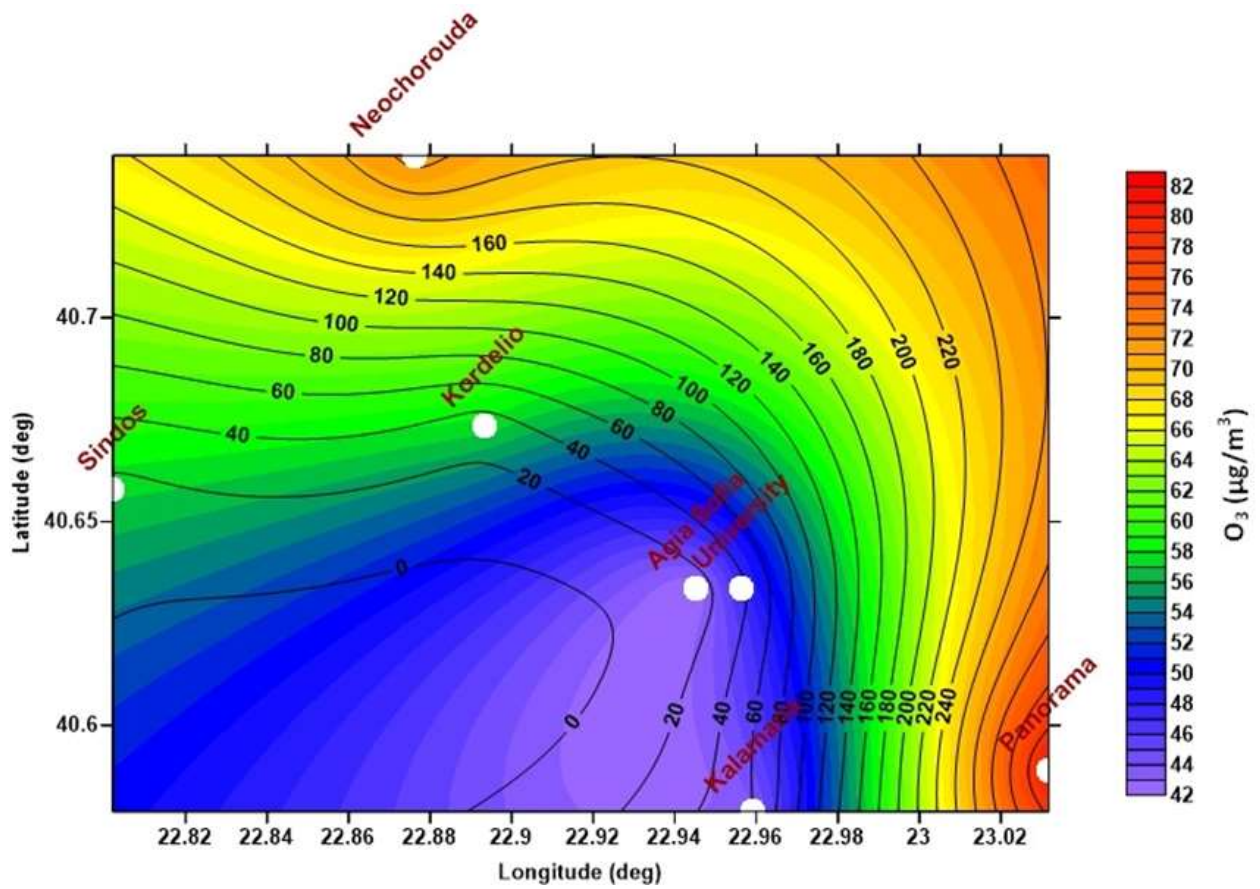


Διάγραμμα 92: Σταθμός Σίνδου- Εξέλιξη ρύπου σε ωριαία κλίμακα

Σχολιασμός:

Τα παραπάνω διαγράμματα ωριαίας διακύμανσης της συγκέντρωσης του όζοντος, παρουσιάζουν χρονικά διαστήματα έξαρσης και πτώσης των τιμών. Τα πρώτα ορίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας (ενδεικτικά μεταξύ 10:00-19:00), ενώ τα δεύτερα κατά το βραδινό κομμάτι του 24ώρου (ενδεικτικά μεταξύ 20:00-3:00). Αυτό συμβαίνει, καθώς με την δύση του ηλίου μειώνεται τόσο η θερμοκρασία, όσο και η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα, που συνδέονται άμεσα με την παραγωγή όζοντος, έχοντας σαν αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού δημιουργίας του. Κατά μία έννοια η συγκέντρωση του όζοντος είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας στο πέρας του 24ώρου.

Χάρτης Χωρικής Κατανομής Διοξειδίου του θείου (O_3)



Σχήμα 4: Χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης O_3 στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, σε συνάρτηση με το υψόμετρο (ισοψείς) πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.



Σχολιασμός:

Στον παραπάνω χάρτη του Σχήματος 20, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της συγκέντρωσης όζοντος (O_3) τον οποίο μετράμε σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ο χάρτης αναπαριστά τις μέσες ετήσιες τιμές για την περίοδο 2001-2019, μέσω της μεθόδου Kriging. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 42-82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Με βάση την Ευρωπαϊκή Οδηγία για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την Εθνική Νομοθεσία, έχει οριστεί όριο για την προστασία της υγείας τα 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή που δεν πρέπει να την υπερβαίνουμε. Αυτό που προκύπτει από την χωρική κατανομή είναι ότι η συγκέντρωση του ρύπου δεν ξεπερνά το 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, γεγονός πολύ θετικό για την πορεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Θεσσαλονίκη. Ο χάρτης του όζοντος αποτελεί αντιστρόφως ανάλογο εκείνου του διοξειδίου του αζώτου. Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί πρόδρομο του όζοντος, ενώ παράλληλα το καταστρέφει. Στις περιοχές που ευδοκίμωσε προηγουμένως το NO_2 (όπως Αγία Σοφία και Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο), παρατηρούμε μικρές συγκεντρώσεις του O_3 και αντίστοιχα εκεί που απουσίαζε (όπως Νεοχωρούδα και Πανόραμα), βλέπουμε ότι το O_3 επικρατεί, γιατί είναι πιο καθαρός ο αέρας (λιγότερη μόλυνση). Αυτό προκύπτει, διότι το όζον είναι δευτερογενής ρύπος και δεν παράγεται απευθείας από τα αυτοκίνητα, αλλά μέσα από χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στο περιβάλλον, που ευνοούν οι περιοχές με πιο καθαρή ατμόσφαιρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΧΟΛΙΑ

Στην υπό μελέτη περιοχή (Θεσσαλονίκη), έγινε καταγραφή της ρύπανσης που υφίσταται από τέσσερις ρύπους και τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Για το μονοξείδιο του άνθρακα CO, τόσο η χρονική όσο και η χωρική διακύμανση της συγκέντρωσής του, δεν αποτελούν πρόβλημα για την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Τα αποτελέσματα που λάβαμε δεν ξεπέρασαν το 20% του ορίου που έχει τεθεί από την Νομοθεσία, δηλαδή τα 10 mg/m³. Σε επίπεδο έτους δεν ξεπεράστηκε η τιμή 1,8 mg/m³, σε επίπεδο μήνα τα 1,4 mg/m³, σε επίπεδο ημέρας τα 1,1 mg/m³, σε ωριαίο επίπεδο τα 1,4 mg/m³ και σε χωρικό το 1 mg/m³. Επίσης εφόσον υπάρχει μονίμως πτωτική πορεία του ρύπου, δεν αποτελεί κίνδυνο για την δημόσια υγεία και το περιβάλλον.
- Για το διοξείδιο του αζώτου NO₂, η χωροχρονική εξέλιξη της συγκέντρωσης του ρύπου, κατά τα πρώτα έτη μας έδειξε ανησυχητικά αποτελέσματα, τα οποία είχαν θετική έκβαση. Τα αποτελέσματα που λάβαμε σε αρκετές περιπτώσεις ξεπέρασαν το όριο για την προστασία της υγείας που έχει τεθεί από την Νομοθεσία, δηλαδή τα 40 μg/m³ για διάστημα ενός έτους, ωστόσο πλησιάζοντας στα τελευταία έτη της μελέτης σημειώθηκε πτώση αυτών των τιμών, συμμορφώνοντας τες εντός ορίων. Η ετήσια εξέλιξη κατά τα πρώτα έτη δεν ξεπέρασε την τιμή των 60 μg/m³, ενώ προς το 2019 δεν ξεπερνούσε τα 40 μg/m³. Σε μηνιαίο, ημερήσιο και ωριαίο επίπεδο δεν ξεπεράστηκε η τιμή των 50 μg/m³. Ταυτόχρονα η χωρική διακύμανση έδειξε αποτελέσματα μικρότερα από 38 μg/m³. Είναι εμφανής η ύφεση της ρύπανσης και σε αυτή την περίπτωση, χωρίς να τίθεται θέμα ανησυχίας για περαιτέρω μέτρα προστασίας του κοινού.
- Για το διοξείδιο του θείου SO₂, η διακύμανση της συγκέντρωσης του ρύπου σε επίπεδο χώρου και χρόνου, παρουσίασε θετικά αποτελέσματα, πολύ χαμηλότερα του ορίου που είχε θέσει η Ευρωπαϊκή Οδηγία, δηλαδή τα 125 μg/m³ σε διάστημα 1 ημέρας. Τα δεδομένα που λάβαμε είναι της τάξεως περίπου του 30% του ορίου που προαναφέρθηκε. Σε ετήσιο επίπεδο οι τιμές δεν υπερέβησαν τα 35 μg/m³, σε μηνιαίο τα 40 μg/m³, σε ημερήσιο τα 20 μg/m³, σε ωριαίο τα 25 μg/m³ και σε χωρικό τα 20 μg/m³. Επομένως, η εξέλιξη του διοξειδίου του θείου μέσα στο χρονικό διάστημα που έγινε η μελέτη είχε τόσο πτωτική πορεία, όσο και ικανοποιητικά αποτελέσματα για την ρύπανση στην περιοχή.
- Για το όζον O₃, όπως και στους προηγούμενους ρύπους, δεν συντρέχει λόγος ανησυχίας, καθώς η χρονική και η χωρική εξέλιξη της συγκέντρωσής του δεν έδειξαν κάποια υπέρβαση του ορίου που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Οδηγία, δηλαδή τα 120 μg/m³. Τα αποτελέσματα δεν ξεπέρασαν το όριο, ωστόσο σε μερικές περιπτώσεις έφτασαν αρκετά κοντά. Σε ετήσιο επίπεδο οι τιμές δεν υπερέβησαν τα 105 μg/m³, σε μηνιαίο τα 120 μg/m³, σε ημερήσιο τα 90 μg/m³, σε ωριαίο τα 100 μg/m³ και σε χωρικό τα 82 μg/m³. Από τα αποτελέσματα του όζοντος προκύπτει μία αποδεκτή συμπεριφορά, που προς το παρόν δεν απαιτεί κάποια συμμόρφωση. Μερικές περιοχές, εμφανίζουν ανοδική πορεία της συγκέντρωσης του όζοντος, που σε επόμενη μελέτη για τα μετέπειτα χρόνια θα μπορούσαμε να έχουμε πιο ακριβή εικόνα για το αν θα χρειαστεί να προβούμε σε μέτρα προστασίας ή ενημέρωσης του κοινού.

Στο τέλος του έτους 2023 εκτιμάται η έναρξη λειτουργίας του μετρό Θεσσαλονίκης. Η συμβολή του στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα είναι μεγάλη , καθώς δεν εκπέμπει αέριους ρύπους, επομένως θα προσφέρει μηδενική επιβάρυνση στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, στις αστικές περιοχές θα εμφανιστεί μείωση των κυκλοφοριακών φορτίων, που συνεπάγεται την άμβλυνση της ρύπανσης. Το μετρό θα αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την εκπομπή ρύπων συγκρατώντας τους σε χαμηλότερα επίπεδα, από τα αντίστοιχα σε περίπτωση μη υλοποίησής του.

Εν κατακλείδι, τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Θεσσαλονίκης για την χρονική περίοδο 2001-2019 κυμαίνονται εντός ορίων και το γενικό πλαίσιο υποδεικνύει ύφεση αυτής. Αντίστοιχο συμπέρασμα προκύπτει και από την χωρική εξέλιξή της. [33]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ατμοσφαιρική ρύπανση, *European Space Agency (ESA)*, (3 Ιουνίου 2013) URL: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMQ3T4SZLG_0.html
2. National Geographic (2013), Εγκυκλοπαίδεια του Περιβάλλοντος για νέους, Εκδόσεις Σελένα URL: <https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-5-ripansi.pdf>
3. Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), (15/11/2008) URL: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>
4. Εμμανουέλα Ρεμουντάκη Επικ. Καθηγήτρια Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, (Αθήνα 2010), Οδηγός για το Περιβάλλον: Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση WWF, URL: https://www.contentarchive.wwf.gr/images/pdfs/WWF%20Ellas_Odigos%20gia%20to%20perivallon_Aeras.pdf
5. Ιωάννης Γεντεκάκης, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά (2010), Ατμοσφαιρική Ρύπανση, επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες
6. Air Pollution, URL: <https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/>
7. Actions and interactions of nitric oxide, carbon monoxide and hydrogen sulphide in the cardiovascular system and in inflammation — a tale of three gases!, LingLiAnnaHsuPhilip K.Moore,(2009), URL: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0163725809001090?via%3Dihub>
8. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide, Bonn, Germany 13–15 January 2003 , URL: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf
9. Ozone, National Library of Medicine (National Center for Biotechnology Information), 1/8/2005 URL: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8C%CE%B6%CE%BF%CE%BD>
10. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και κλίμακες διασποράς, URL: <http://lap.physics.auth.gr/atmdiasp/simeiwseis/chapter2.pdf>
11. Δεδομένα Μετρήσεων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*, URL: <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/dedomena-metriseon-atmosfairikis-rypansis/>
12. (7/6/2011), Ατμοσφαιρική ρύπανση και στην αρχαιότητα, *iefimerida*, URL: <https://www.iefimerida.gr/news/8736/%CE%B1%CF%84%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%B1%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>
13. Vallero D.A., 2006. Paradigms Lost. Learning from Environmental Mistakes, Mishaps and Misdeeds. Elsevier Inc. ISBN 0-7507-788-7
14. <https://www.lifo.gr/san-simera/pano-apo-12000-thanatoys-prokalese-great-smog-52>
15. <https://www.pkm.gov.gr/default.aspx?lang=el-GR&page=507> (Εικόνα 3, Σταθμοί Καταγραφής Ατμοσφαιρικών Δεικτών Θεσσαλονίκης)

16. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης που υποβλήθηκε στον Τομέα της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, *Χαρακτηριστικά των Ηλεκτρικών Εκκενώσεων στο Ελλαδικό χώρο και σχέση αυτών με τον νετό*, Ρούπα Παρασκευή Φυσικός, Θεσσαλονίκη (2009) URL: <http://ikee.lib.auth.gr/record/113841/files/Binder1.pdf>
17. TITAN GREECE, Βιώσιμη Ανάπτυξη, Αέριες Εκπομπές, URL: <https://www.titan.gr/el/viwsimh-anaptuksh/perivallon/perivallontiki-diaxeirish/aeries-ekpompes>
18. Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος, Δεδομένα που αφορούν τα Δασικά και Αστικά συμβάντα στα οποία επεμβαίνει το Π.Σ., (2000-2019) URL: <https://www.fireservice.gr/el/synola-dedomenon>
19. TyposThes, Θεσσαλονίκη: Ο Ζέρβας στον τρύγο στον Αττικό Αμπελώνα, Λεμονιά Βασβάνη, (15/09/2020) URL: https://www.typosthes.gr/thessaloniki/228105_thessaloniki-o-zerbas-ston-trygo-ston-astiko-ampelona-foto
20. NUTRI EXPERTS, Το διοξείδιο του θείου ως συντηρητικό των κρασιών και των αφυδατωμένων φρούτων, Θωμάς Ζαφειριάδης, Τεχνολόγος Τροφίμων MSc, (19/09/2020) URL: <https://www.nutriexperts.gr/t%CE%BF-%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B8%CE%B5%CE%AF%CE%BF%CF%85-%CF%89%CF%82-%CF%83%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%84/>
21. Ε.Υ.Α.Θ., Εταιρεία Ύδρευσης & Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης, Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων της ΕΥΑΘ- Προστασία του Θερμαϊκού URL: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLVSEIS_2007_2009/THERMAIKOS_H_THALASSA_DIPLA/Tab2/thermaikos_skodras.pdf
22. Catherine A. Calder, Noel Cressie, Kriging and Variogram Models, International Encyclopedia of Human Geography, Science Direct, (2009) URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081022955104007?via%3Dihub>
23. How Kriging works, ArcGIS Pro, URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.8/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
24. H.GüstenG.HeinrichE.MönnichJ.WeppnerT.CvitašL.KlasincC.A.VarotsosD.N.Asimakopoulos, Science Direct, Atmospheric Environment: Thessaloniki '91 field measurement campaign—II. Ozone formation in the greater Thessaloniki area, (Απρίλιος 1997), URL: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00050-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00050-7)
25. George Tsilingiridis, Theodoros Zachariadis, Zissis Samaras, Science Direct, Science of The Total Environment: Spatial and temporal characteristics of air pollutant emissions in Thessaloniki, Greece: investigation of emission abatement measures, (Δεκέμβριος 2002), URL: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00170-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00170-5)
26. Kostas A Kourtidis, Ioannis Ziomas, Christos Zerefos, Evangelos Kosmidis, Panayotis Symeonidis, Epaminondas Christophilopoulos, Stavros Karathanassis, Antonios Mploutsos, Science Direct, Atmospheric Environment: Benzene, toluene, ozone, NO2 and SO2

- measurements in an urban street canyon in Thessaloniki, Greece, (Νοέμβριος 2002), URL: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00580-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00580-0)
27. N.Moussiopoulos, Ch.Vlachokostas, G.Tsiliniridis, I.Douros, E.Hourdakakis, C.Naneris, C.Sidiropoulos, Science Direct, Science of the total Environment: Air quality status in Greater Thessaloniki Area and the emission reductions needed for attaining the EU air quality legislation, (Φεβρουάριος 2009), URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.034>
28. Victoria Aleksandropoulou, Mihalis Lazaridis, Science Direct, Atmospheric Pollution Research: Spatial and temporal disaggregation of natural emissions in urban areas in Greece for the period 2010–2013 and future projections, (Ιανουάριος 2019) URL: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.07.003>
29. Στογιάννης Κλεόνικος, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών- Διαχείριση Αποβλήτων, Χωρική και χρονική κατανομή των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλες Ελληνικές περιοχές, (Σεπτέμβριος 2019), URL: file:///C:/SOFIA/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97/Word-%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE/90768_%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%91%CE%9D%CE%9D%CE%97%CE%A3_%CE%9A%CE%9B%CE%95%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3.pdf
30. Christina Mitsakoua, James P. Adamson, Artemis Doutsis, Huw Brunt, Sarah J. Jones, Alison M. Gowers, Karen S. Exley, Science Direct, Journal of Transport & Health: Assessing the exposure to air pollution during transport in urban areas – Evidence review, (Ιούνιος 2021), URL: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101064>
31. Παπαχατζής Παναγιώτης, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πρόγραμμα Ναυτιλιακών Σπουδών στην Ναυτιλία, Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Ελληνική Ακτοπλοΐα, (Μάιος 2010), URL: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/4666/Papachatzis.pdf?sequence=2>
32. Sandra Sorte, Vera Rodrigues, Carlos Borrego, Alexandra Monteiro, Science Direct, Environmental Pollution: Impact of harbour activities on local air quality: A review, (Φεβρουάριος 2020), URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113542>
33. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. https://www.ametro.gr/?page_id=7843