



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Χωρική και χρονική διακύμανση αέριων και σωματιδιακών
εκπομπών σε αστικά κέντρα του πλανήτη»**

Ευδοξία Λαγουδάκη

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. Ηλίας Κοπανάκης

Χανιά, 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν για την περάτωση της και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή, ερευνητή Δρ. Κοπανάκη Ηλία για την συνεχή καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθιστώντας κάθε μου βήμα πιο σίγουρο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Κατσίβελα Ελευθερία, καθώς και την MSc κ. Ραΐση Λουΐζα για τις υποδείξεις τους στην τελική φάση των διορθώσεων της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την υπομονή που μου έδειξε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- 1. Εισηγητής Δρ. Ηλίας Κοπανάκης (Επιβλέπων καθηγητής)**
- 2. Μέλος Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσίβελα**
- 3. Μέλος MSc Λουΐζα Ραΐση**

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη των επιπέδων των αέριων και των σωματιδιακών ρύπων διοξειδίου του αζώτου (NO_2), τροποσφαιρικού όζοντος (O_3) και εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} , σε 6 αστικά κέντρα του πλανήτη το Άμστερνταμ (Ολλανδία), το Βερολίνο (Γερμανία), το Γκντάνσκ (Πολωνία), το Τόκυο (Ιαπωνία), το Χονγκ Κονγκ (Κίνα) και το Σαντιάγκο (Χιλή) για τα έτη 2018 και 2019. Στόχος είναι η μελέτη και η σύγκριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα διαφορετικών αστικών πόλεων αλλά και κατά πόσο αυτές οι πόλεις εναρμονίζονται στα θεσμοθετημένα ανώτατα επιτρεπτά όρια ρύπων. Έτσι, αφού συλλέχτηκαν τα δεδομένα για κάθε πόλη, υπολογίστηκαν οι μέσες ημερήσιες, μηνιαίες, εποχιακές (εξαμηνιαίες) και ετήσιες συγκεντρώσεις και δημιουργήθηκαν σχετικά διαγράμματα για κάθε ρύπο. Στην συνέχεια, μέσω ατμοσφαιρικού μοντέλου, μελετήθηκαν περαιτέρω οι πορείες των αέριων μαζών, συγκεκριμένα τις ημέρες που μετρήθηκαν ασυνήθιστα υψηλότερες τιμές από αυτές που επικρατούσαν συνήθως. Γενικότερα διαπιστώθηκε ότι το Χονγκ Κονγκ και το Σαντιάγκο είναι συγκριτικά οι πιο ατμοσφαιρικά ρυπασμένες πόλεις. Στο Σαντιάγκο τις περισσότερες μέρες και των δύο χρόνων σημειώνονταν υπερβάσεις, ενώ στο Χονγκ Κονγκ σημειώθηκε γενικότερη αυξητική τάση κατά το 2019. Αντίθετα, οι τρεις ευρωπαϊκές πόλεις όπως και το Τόκυο είχαν πολύ καλύτερη ποιότητα αέρα, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στο αυστηρότερο ευρωπαϊκό και ιαπωνικό νομοθετικό πλαίσιο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που ισχύουν στην Κίνα και στην Χιλή. Επίσης στις ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις και στο Τόκυο διαπιστώθηκε υψηλότερη συμμόρφωση κατά το έτος 2019 σε σχέση με το έτος 2018. Το αντίθετο διαπιστώθηκε στο Χονγκ Κονγκ και στο Σαντιάγκο. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, η γεωγραφική θέση, καθώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Στις ευρωπαϊκές πόλεις και το Τόκυο, οι ακραίες τιμές (υπερβάσεις) παρατηρούνται κυρίως τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες, ενώ στο Χονγκ Κονγκ και στο Σαντιάγκο συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή έξαρση στις συγκεντρώσεις παρατηρείται κατά τους χειμερινούς μήνες.

Λέξεις-κλειδιά: Αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι, ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα, ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλα αστικά κέντρα

ABSTRACT

This present thesis focuses on the study of the level of gaseous and particulate pollutants nitrogen dioxide (NO₂), tropospheric ozone (O₃), and inhalable particulate matter (PM₁₀) in six (6) urban centers of the planet, Amsterdam (Netherlands), Berlin (Germany), Gdansk (Poland), Tokyo (Japan), Hong Kong (China) and Santiago (Chile) for the years 2018-2019. The purpose is to study and compare atmospheric air quality of different city centers as well these cities obey to the institutionalized maximum permissible limits of pollutants. By selecting data for each city, the average daily, monthly, seasonal (semi-annual) and annual concentrations were calculated and created relevant charts for each pollutant. Then, through an atmospheric model a further examination of the course of air mass has been investigated during the days when unusually higher prices were measured. Generally, it was found that in Hong Kong and Santiago cities are the most atmospherically polluted cities than the European cities and Tokyo. In Santiago, most days of both years were noticed exceedances although in Hong Kong there was a general upward trend during 2019. On the contrary, the three European cities as well as Tokyo had much better air quality which is probably due to the stricter European and Japanese legislative framework compared to those in China and Chile. Also, in European big city centers and Tokyo was found higher compliance in 2019 in relation to 2018. The opposite was noticed in Hong Kong and Santiago. It is important, the prevailing weather conditions, geographical position and human activities. In European cities and Tokyo, outliers (exceedances) were noticed during spring and summertime, while in Hong Kong and Santiago cities is noticed dependence in the concentrations during winter months.

Keywords: Gaseous and particulate pollutants, atmospheric air quality, air pollution in big urban centers

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Ατμόσφαιρα
- 1.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση
- 1.3 Σωματιδιακοί Ρύποι
- 1.4 Μονάδες Μέτρησης ρυπαντών στον αέρα

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

- 2.1 Κατηγορίες Ταξινόμησης
 - 2.1.1 Με βάση τη πηγή εκπομπής
 - 2.1.2 Με βάση το μέγεθος-διάμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων
 - 2.1.3 Με βάση το μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων
 - 2.1.4 Με βάση την ικανότητα διείδυσης στο αναπνευστικό σύστημα
- 2.2 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης
- 2.3 Μηχανισμοί Σχηματισμού δευτερογενών σωματιδίων
- 2.4 Ολικά Αιωρούμενα σωματίδια
- 2.5 Χρόνος Παραμονής στην ατμόσφαιρα

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

- 3.1 Επιδράσεις αιωρούμενων σωματιδίων
 - 3.1.1 Στην μετεωρολογία
 - 3.1.2 Στον άνθρωπο και τα ζώα
 - 3.1.3 Στην βλάστηση

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

- 4.1 Διοξείδιο του Αζώτου NO₂
- 4.2 Όζον O₃
- 4.3 Αιωρούμενα Σωματίδια PM₁₀

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

- 5.1 Ο Ρόλος της μετεωρολογίας
- 5.2 Αέριες μάζες
- 5.3 Υδρατμοί - Υγρασία
- 5.4 Νέφη-ομίχλη
- 5.5 Άνεμοι
- 5.6 Ρόλος τοπογραφίας
- 5.7 Κλίμα και αιωρούμενα σωματίδια
- 5.8 Διασυνοριακή Ρύπανση
- 5.9 Σκόνη από Σαχάρα
- 5.10 Επεισόδια μεταφοράς αφρικανικής σκόνης

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 6.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
- 6.2 Φωτοχημικό Νέφος - Αιθαλομίχλη
- 6.3 Θερμοκρασιακή Αναστροφή
- 6.4 Όξινη Βροχή

7° ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ

- 7.1 Σύμβαση Πλαίσιο Ηνωμένων Εθνών
- 7.2 Πρωτόκολλο του Κιότο
- 7.3 Συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα
- 7.4 Πρωτόκολλο Γκέτεμποργκ

8° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- 8.1 Εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης
- 8.2 Εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης
 - 8.2.1 Ιαπωνία
 - 8.2.2 Χονγκ- Κονγκ
 - 8.2.3 Χιλή

9° ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- 9.1 Στόχος
 - 9.1.1 Γκντάνσκ, Πολωνία
 - 9.1.2 Τόκυο, Ιαπωνία
 - 9.1.3 Άμστερνταμ, Ολλανδία
 - 9.1.4 Χονγκ Κονγκ, Κίνα
 - 9.1.5 Βερολίνο, Γερμανία
 - 9.1.6 Σαντιάγκο, Χιλή
- 9.2 Σταθμοί Παρακολούθησης ατμοσφαιρικών σωματιδίων
- 9.3 Όργανα Εκτίμησης και Ανάλυσης ατμοσφαιρικών ρύπων
 - 9.3.1 Πρόγραμμα W.A.Q.I. (Real-Time Air Quality Index)
 - 9.3.2 HYSPLIT (Backyard Trajectories Analysis)
 - 9.3.3 SKIRON

10° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΡΥΠΩΝ

- 10.1 Μέθοδοι Καταγραφής Δεδομένων
 - 10.1.1 Για παρακολούθηση των εισπνεύσιμων αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀
 - 10.1.2 Για παρακολούθηση O₃
 - 10.1.3 Για παρακολούθηση NO₂
- 10.2 O.P.S
- 10.3 CALMET/CALPUFF
- 10.4 Διαδικασία

11° ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 11.1 Γκντάνσκ, Πολωνία
- 11.2 Τόκυο, Ιαπωνία
- 11.3 Άμστερνταμ, Ολλανδία
- 11.4 Χονγκ Κονγκ, Κίνα

11.5 Βερολίνο, Γερμανία

11.6 Σαντιάγκο, Χιλή

12° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 9.1: Πρόγραμμα W.A.Q.I. (Real- Time Air Quality Index)

Εικόνα 9.2: Πρόγραμμα W.A.Q.I., πίνακας ημερήσιων συγκεντρώσεων O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Εικόνα 9.3: Απεικόνιση πορείας αέριων μαζών 5 ημερών μέχρι να καταλήξουν στο Άμστερνταμ στις 9/5/2018

Εικόνα 9.4: Προγνωστική φωτογραφία SKIRON μεταφοράς σκόνης από την Αφρική μέχρι τα νησιά της Καραϊβικής στις 26/5/2020

Εικόνα 11.1: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην περιοχή Wzszcz στην πόλη του Γκντάνσκ

Εικόνα 11.2: Οπισθοπορεία αέριων μαζών στις 9/2/2018 στο Γκντάνσκ

Εικόνα 11.3: Οπισθοπορεία αέριων μαζών στις 17-18/10/2018 στο Γκντάνσκ

Εικόνα 11.4: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην περιοχή Daiba του Τόκυο

Εικόνα 11.5: Πορεία αέριων μαζών στις 4/4/2018 στο Τόκυο

Εικόνα 11.6: Οπισθοπορεία αέριων μαζών στις 27 Μαΐου 2019 στο Τόκυο

Εικόνα 11.7: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην πόλη του Άμστερνταμ

Εικόνα 11.8: Οπισθοπορεία αέρα μάζας για την 9^η Μαΐου 2018 με συγκέντρωση PM₁₀ 73 μg/m³ στην πόλη του Άμστερνταμ

Εικόνα 11.9: Οπισθοτροχιά αέριας μάζας για 29-30 Μαΐου στην πόλη του Άμστερνταμ

Εικόνα 11.10: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην περιοχή Central του Χονγκ Κονγκ

Εικόνα 11.11: Θέση σταθμού παρακολούθησης στο Βερολίνο

Εικόνα 11.12: Πορείας αέριας μάζας στις 9/3/2018 στο Βερολίνο με το πρόγραμμα HYSPLIT

Εικόνα 11.13: Πορεία αέριας μάζας στις 18 Οκτωβρίου 2018 στο Βερολίνο

Εικόνα 11.14: Θέση σταθμού παρακολούθησης στο πάρκο Parque O' Higgins στην πόλη Σαντιάγκο της Χιλής

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 8.1: Οριακές τιμές ρύπων και κατευθυντήριες γραμμές του Π.Ο.Υ. για την Ευρωπαϊκή Ένωση [20],[89]

Πίνακας 9.1: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃ στην Ιαπωνία [4]

Πίνακας 9.2: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃ στο Χονγκ Κονγκ

Πίνακας 9.3: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃ στην Χιλή

Πίνακας 9.4: Πίνακας επιπέδων ατμοσφαιρικών ρύπων τους προγράμματος W.A.Q.I.

Πίνακας 11.1: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Πίνακας 11.2: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Πίνακας 11.3: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Πίνακας 11.4: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Πίνακας 11.5: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Πίνακας 11.6: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Πίνακας 11.7: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Πίνακας 11.8: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Πίνακας 11.9: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Πίνακας 11.10: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Πίνακας 11.11: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Πίνακας 11.12: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Πίνακας 11.13: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Πίνακας 11.14: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Πίνακας 11.15: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Πίνακας 11.16: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

Πίνακας 11.17: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

Πίνακας 11.18: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και τυπική απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 11.1: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.2: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.3: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.4: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.5: Μέσες Μηνιαίες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.6: Μέσες Ημερήσιες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Γράφημα 11.7: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.8: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.9: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.10: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.11: Μέσες Μηνιαίες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.12: Μέσες Ημερήσιες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

Γράφημα 11.13: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.14: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.15: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.16: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.17: Μέσες Μηνιαίες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.18: Μέσες Ημερήσιες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Γράφημα 11.19: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.20: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.21: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.22: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.23: Μέσες Μηνιαίες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.24: Μέσες Ημερήσιες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Γράφημα 11.25: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Ευδοξία Λαγουδάκη

- Γράφημα 11.26: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο
Γράφημα 11.27: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO_2 για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο
Γράφημα 11.28: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO_2 για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο
Γράφημα 11.29: Μέσες Μηνιαίες τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο
Γράφημα 11.30: Μέσες Ημερήσιες τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο
Γράφημα 11.31: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο
Γράφημα 11.32: Μέσες Ημερήσιες τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο
Γράφημα 11.33: Μέσες Μηνιαίες τιμές NO_2 για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο
Γράφημα 11.34: Μέσες Ημερήσιες τιμές NO_2 για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο
Γράφημα 11.35: Μέσες Μηνιαίες τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο
Γράφημα 11.36: Μέσες Ημερήσιες τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

Πίνακας Συντομογραφιών

A.R.L. (Air Resources Laboratory)

A.Q.I. (Air Quality Index)

CONAMA (Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος Χιλής)

E.P.D (Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος στο Χονγκ Κονγκ)

F.T.T. (Free Tropospheric Transport)

HYSPLIT (Hybrid Single- Particle Lagrangian Integrated Trajectory)

NO₂ (Nitrogen Dioxide)

O₃ (Ozone)

PM (Particulate Matter)

PM₁₀ (Particulate Matter with diameter smaller than 10 μm)

ppb (parts per billion)

ppm (parts per million)

S.K.I.R.O.N. (Regional Forecast Europe)

U.N.F.C.C.C. (United Nations Framework Convention on Climate Change)

USA EPA (Environmental Protection Agency) Αμερικάνικη Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος

V.E.T. (Vertically Extended Transport)

VOC's (πτητικές οργανικές ενώσεις)

W.A.Q.I. (Real - Time Air Quality Index)

Π.Ο.Υ. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την όσο το δυνατόν καλύτερη διαβίωση των ανθρώπων αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος απαραίτητη είναι η τήρηση και η εφαρμογή περιβαλλοντικών όρων ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις, όπου οι συγκεντρώσεις των αέριων και σωματιδιακών ρύπων τείνουν να είναι αυξημένες. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χωρική και χρονική διακύμανση των σωματιδιακών και αέριων εκπομπών σε έξι μεγάλα αστικά κέντρα του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα, αντικείμενο μελέτης της, είναι η δυναμική των συγκεντρώσεων των αέριων και σωματιδιακών ρύπων PM₁₀, NO₂, O₃ και συνεπώς η ποιότητα του αέρα σε έξι μεγάλες πόλεις για τα έτη 2018 και 2019. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, συλλέχτηκαν από την ηλεκτρονική πλατφόρμα W.A.Q.I.. Η τελευταία έχει διαθέσιμα, καθημερινά δεδομένα των πιο σημαντικών ρύπων, τα οποία συλλέγει μέσω εγκατεστημένων ατμοσφαιρικών σταθμών σε διάφορες περιοχές όλου του πλανήτη τα τελευταία χρόνια. Έτσι στην εργασία θα αναλυθούν τα παρακάτω:

Στα πρώτα δύο κεφάλαια, πραγματοποιείται αρχικά εισαγωγή στο θέμα, διευκρινίζοντας όρους όπως ατμόσφαιρα, ατμοσφαιρική ρύπανση, αιωρούμενα σωματίδια. Έπειτα, γίνεται ανάλυση της προέλευσης και του σχηματισμού των αερολυμάτων που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα όπως επίσης και των επιπτώσεων που τα ίδια προκαλούν στην μετεωρολογία, στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στο 3^ο κεφάλαιο, επιχειρείται μια περαιτέρω ανάλυση των ατμοσφαιρικών ρύπων, δηλαδή των αιωρούμενων σωματιδίων, του διοξειδίου του αζώτου και του όζοντος. Στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται πως τα μετεωρολογικά φαινόμενα (άνεμος, κατακρημνίσεις, νέφη κ.ά.), η γεωγραφική θέση μίας πόλης καθώς και η διασυνοριακή ρύπανση, μπορούν να επηρεάσουν την ατμόσφαιρα μιας περιοχής.

Στην συνέχεια, μελετάται η σχέση των ρύπων με περιβαλλοντικά προβλήματα ρύπανσης της ατμόσφαιρας, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, της όξινης βροχής, του φωτοχημικού νέφους και κατά πόσο τα δεύτερα επιδρούν στο κλίμα ειδικά όταν υπάρχει υπερβολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.

Το 7^ο και 8^ο κεφάλαιο, ασχολούνται με την περιβαλλοντική νομοθεσία που ισχύει σε χώρες εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις διεθνείς συμβάσεις που έχουν υπογραφεί.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενέστερα οι έξι πόλεις, στις οποίες διενεργήθηκαν οι μετρήσεις, δίνοντας πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά

της γεωγραφικής θέσης τους, τις βιομηχανίες, τις μεταφορές, τις καιρικές συνθήκες κλπ.

Στο 10^ο και 11^ο κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι, με τους οποίους καταγράφηκαν οι καθημερινές συγκεντρώσεις στο διάστημα των 2 χρόνων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις μέσω διαγραμμάτων.

Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας, παρατίθενται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που διεξάχθηκαν από τα αποτελέσματα και αφορούν στην κάθε πόλη ξεχωριστά αλλά και συμπεράσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των πόλεων με παρόμοια χαρακτηριστικά.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγή

1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αέριο περίβλημα της Γης το οποίο χωρίζεται σε ποικίλα στρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές εξαιτίας της διαφοράς στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην Γη. Το χαμηλότερο στρώμα λέγεται τροπόσφαιρα. Σε αυτό ζουν και αναπτύσσονται όλοι οι οργανισμοί και εκδηλώνονται τα περισσότερα καιρικά φαινόμενα.

Αποτελείται από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος απαρτίζεται από ένα μείγμα αερίων που περιορίζονται κοντά στην επιφάνεια της Γης εξαιτίας της δύναμης της βαρύτητας. Τα αέρια αυτά είναι: άζωτο (78%), οξυγόνο (21%), αργό (1%), ενώ σε μικρότερες ποσότητες υπάρχει διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και όζον. Σχεδόν πάντα υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια, υδροσταγονίδια προερχόμενα από τους ωκεανούς και υδρατμοί που οφείλονται στην εξάτμιση των υγρών στοιχείων της Γης.

Βασικό χαρακτηριστικό της ατμόσφαιρας είναι η κυκλοφορία της που οφείλεται στις μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ των πολικών και τροπικών περιοχών καθώς και στην περιστροφή της Γης. Αποτέλεσμα των πολύπλοκων θερμοδυναμικών και χημικών διαδικασιών που συμβαίνουν εντός της ατμόσφαιρας, είναι η δημιουργία των διάφορων μετεωρολογικών φαινομένων.

Αυτά τα μετεωρολογικά φαινόμενα αποτελούν τη βάση για τη μελέτη του κλίματος μιας περιοχής. Η ποιότητα του αέρα συνδέεται στενά με το κλίμα και τα οικοσυστήματα παγκοσμίως, ωστόσο οι εκπομπές των ρύπων που οφείλονται σε ανθρωπογενείς ή φυσικές δραστηριότητες, επιβαρύνουν σημαντικά την ατμόσφαιρα τα τελευταία χρόνια προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση.

[91],[95]

1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των σύγχρονων πόλεων παγκοσμίως. Η αστικοποίηση, η εξέλιξη της τεχνολογίας, η υπερκατανάλωση ορυκτών καύσιμων, η ανάπτυξη της βιομηχανίας είναι μερικοί από τους λόγους που συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας ρυπαίνοντας την. Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η ύπαρξη ουσιών στην

ατμόσφαιρα σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα φυσιολογικά επίπεδα του περιβάλλοντος που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στη δημόσια υγεία και στα οικοσυστήματα.

Μερικοί από τους πιο σημαντικούς αέριους και σωματιδιακούς ρύπους, για τους οποίους έχουν θεσμοθετηθεί ανώτατα επιτρεπτά όρια και υπάρχει υποχρέωση παρακολούθησης των συγκεντρώσεων τους είναι τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10}), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3), οι οποίοι και θα αναλυθούν παρακάτω εκτενέστερα. Οι εκπομπές τους οφείλονται σε ανθρωπογενείς ή φυσικές πηγές και προκαλούν άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως είναι για παράδειγμα η ρύπανση του αέρα, οι κλιματικές αλλαγές, οι υλικές φθορές στα κτίρια, η υπερθέρμανση του πλανήτη και η έκθεση των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων σε αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων.

Εξαιτίας της καταγραφής συνεχόμενων υπερβάσεων στα πρότυπα ποιότητας του αέρα, και συγκεκριμένα του όζοντος (O_3), του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}), χώρες και οργανισμοί στοχεύουν διεθνώς στη βελτίωση της νομοθεσίας της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και στη δραστική μείωση των εκπομπών των παραπάνω ρύπων, έτσι ώστε να μειωθεί στο μέλλον η νοσηρότητα και η θνησιμότητα λόγω αυτών. Η υιοθέτηση πολιτικών που υποστηρίζουν πράσινες τεχνολογίες στις μεταφορές, στα ενεργειακά αποδοτικότερα σπίτια και στην παραγωγή ενέργειας μπορούν να το επιτύχουν αυτό.

[91],[94],[99]

1.3 ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Αιωρούμενα Σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μία μίξη πολλών ρύπων, οι οποίοι βρίσκονται διασκορπισμένοι στην ατμόσφαιρα και προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και φυσικές πηγές εκπομπής επιφέροντας άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Πρόκειται για σωματίδια στερεής ή υγρής φάσης, όπως σκόνη, καπνός, διάφορα σωματίδια μετάλλων και η διάμετρος τους κυμαίνεται από 2 nm μέχρι και 200 μm . Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να είναι μεταφορείς βαρέων μετάλλων και τοξικών ουσιών στον αέρα.

Η πρόβλεψη της χημικής τους σύστασης είναι δύσκολη καθώς επηρεάζεται άμεσα από τους μετεωρολογικούς παράγοντες και τα φαινόμενα μεταφοράς. Τα αερολύματα

αποτελούν σημαντικό παράγοντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης με αρνητικές επιδράσεις τόσο στην υγεία του ανθρώπου (καρδιοαναπνευστικά προβλήματα) όσο και στο περιβάλλον (μείωση ορατότητας, κλιματική αλλαγή).

Πιο συγκεκριμένα, οι διάφοροι όροι που έχουν χρησιμοποιηθεί για το χαρακτηρισμό νεφών που δημιουργούνται από αιωρούμενα σωματίδια, είναι σκόνη, ιπτάμενη τέφρα, ομίχλη, καπνός, αιθάλη, κάπνα, καπνομίχλη κ.ά.

Οι ρυπαντές χωρίζονται σε πρωτογενείς (εκπέμπονται από ανθρώπινες δραστηριότητες π.χ. SO₂, CO, υδρογονάνθρακες) και δευτερογενείς (προκύπτουν από πρωτογενείς ρυπαντές μετά από αλληλεπίδραση μεταξύ τους ή με συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα πχ τροποσφαιρικό O₃, NO₂).

[91],[97],[99],[98]

1.4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΥΠΑΝΤΩΝ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

Οι συγκεντρώσεις ρυπαντών στον αέρα υπολογίζονται ανάλογα με την αρχή λειτουργίας της διάταξης είτε σε συγκέντρωση μάζας προς όγκο (μg/m³, ng/m³), είτε σε συγκεντρώσεις όγκου προς όγκο, που είναι επί τοις εκατό (%), ή *όγκου* μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή για κάποιους ρύπους σε μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου (ppb). Για την παρουσίαση και τη σύγκριση των τιμών των ρύπων με τα θεσμοθετημένα όρια, η μονάδα που χρησιμοποιείται συνήθως, είναι το μg/m³.

Η νομοθεσία των χωρών σε συνεργασία με το Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ.) θέτουν ανώτατα επιτρεπτά όρια στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Όταν η συγκέντρωση τους ξεπερνά τα καθορισμένα όρια και την επιτρεπτή συχνότητα θεωρείται απαραίτητη η ενημέρωση του κοινού καθώς ενδέχεται να είναι επικίνδυνη η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα για την υγεία του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων.

[95],[96],[98]

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

2.1.1 Με βάση την πηγή εκπομπής

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα τη πηγή προέλευσης τους, τις ανθρωπογενείς και τις φυσικές πηγές εκπομπής.

Ανθρωπογενείς πηγές (τέτοιιοι ρύποι είναι NO, SO₂, CO)

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες αέριων και σωματιδιακών ρύπων. Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τον άνθρωπο είναι η σημαντικότερη παράμετρος υποβάθμισης του αέρα, καθώς απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μεταξύ άλλων και επικίνδυνες ενώσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον και ιδιαίτερα σε αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Επειδή οι ανθρωπογενείς εκπομπές συμβαίνουν κατά κύριο λόγο σε αστικές περιοχές, οι συγκεντρώσεις των ρύπων στις περιοχές αυτές είναι σε υψηλότερα επίπεδα. Οι πιο σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής είναι:

- *Τροχοφόρα οχήματα*

Η χρήση ιδιωτικού αυτοκινήτου εντείνει σημαντικά το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας περιοχής. Αν και η συμβολή κάθε αυτοκινήτου είναι μικρή, παρόλα αυτά ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός τους αποτελεί σημαντικό πρόβλημα κυρίως στα αστικά κέντρα. Η επιδείνωση της κατάστασης μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη πρασίνου και ανοιχτών χώρων αναψυχής σε μια περιοχή. Σημαντικό ρόλο όμως παίζει και η παλαιότητα των αυτοκινήτων. Για παράδειγμα, τα καταλυτικά αυτοκίνητα απελευθερώνουν 80% λιγότερους ρύπους από ότι παλιότερα μοντέλα αυτοκινήτων.

Κύρια πηγή ρύπανσης είναι τα προϊόντα της καύσης και η εξάτμιση του καύσιμου. Η βενζίνη και το ντίζελ περιέχουν μίγματα υδρογονανθράκων, ενώσεις που περιέχουν άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Η καύση στη μηχανή του αυτοκινήτου δεν είναι τέλεια οπότε απελευθερώνονται ρύποι από την εξάτμιση (κυρίως υδρογονάνθρακες, διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια), ενώ λόγω των υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην μηχανή, το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα αντιδρούν,

σχηματίζοντας οξείδια του αζώτου. Παρότι οι μηχανές diesel εκπέμπουν μικρότερες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα, έχουν μεγαλύτερη συνεισφορά στην εκπομπή των σωματιδίων και στις οσμές. Οι υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, σχηματίζουν το τροποσφαιρικό όζον, το οποίο θεωρείται το πιο επικίνδυνο συστατικό του φωτοχημικού νέφους των πόλεων.

- *Θέρμανση*

Η θέρμανση συνεισφέρει στην ατμοσφαιρική ρύπανση κυρίως το χειμώνα και παράγει μεταξύ άλλων ρύπων καπνό, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), διοξείδιο του θείου (SO₂) και οξείδια του αζώτου (NO_x). Οι χαμηλές καμινάδες δεν αφήνουν τους ρύπους να διασκορπιστούν στην ευρύτερη περιοχή με αποτέλεσμα να προκύπτουν τοπικά προβλήματα. Σήμερα η χρήση καυσίμων καλύτερης ποιότητας που περιέχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο (S) έχει βελτιώσει την ποιότητα του αέρα.

- *Βιομηχανία*

Η βιομηχανία αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή αέριων ρύπων σε τοπικό επίπεδο. Βιομηχανικές δραστηριότητες όπως διυλιστήρια πετρελαίου, θερμοηλεκτρικοί σταθμοί μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα και εργοστάσια τσιμέντου, παράγουν οξείδια του θείου και του αζώτου, υδρογονάνθρακες και μονοξείδιο του άνθρακα σε υψηλές συγκεντρώσεις. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει το είδος του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε μία μονάδα. Εργοστάσια που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη τον άνθρακα, παράγουν μεγάλες ποσότητες αιθάλης και σωματιδίων. Η καύση ορυκτών καυσίμων πλούσιων σε θείο παράγει μεγαλύτερη ποσότητα διοξειδίου του θείου και σωματιδίων, όμως με την χρήση βιομάζας, η παραγωγή σωματιδίων μειώνεται στο ¼ σε σχέση με την καύση ορυκτών καυσίμων.

- *Ορυχεία*

Κατά τη διάρκεια της εξόρυξης ορυκτών (καυσίμων και μεταλλευμάτων), στην οποία χρησιμοποιείται μεγάλος εξοπλισμός, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα πλήθος σωματιδίων (σκόνης, μετάλλων και άλλων χημικών ουσιών) προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση.

ο **Φυσικές πηγές**

Πολλά φυσικά φαινόμενα απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα αέριους ρύπους και σωματίδια της σκόνης που μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις ανάλογα την ισχύ του ανέμου. Ανεξάρτητα από το αν οφείλονται σε ανθρωπογενή ή φυσικά αίτια, όταν βρεθούν στην ατμόσφαιρα οι αέριοι ρύποι και τα αιωρούμενα σωματίδια παίρνουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις και εντείνουν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

▪ *Χλωρίδα*

Τα φυτά και τα δέντρα παρόλη τη συμβολή τους στην μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) της ατμόσφαιρας και στην παραγωγή οξυγόνου (O_2) μέσω λόγω της φωτοσύνθεσης αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπής φυσικών υδρογονανθράκων του πλανήτη. Σημαντική παραγωγή σωματιδίων και άλλων ρύπων είναι η καύση της χλωρίδας που χωρίζεται σε ατελή και τέλεια καύση ανάλογα με την διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και τις συνθήκες που επικρατούν.

▪ *Καύση βιομάζας*

Οι εκτεταμένες πυρκαγιές κατά τη διάρκεια των οποίων καίγεται βιομάζα μπορεί να δημιουργήσουν νέφος (αιθαλομίχλη) ικανό να προκαλέσει μείωση της ορατότητας. Τέτοιες πυρκαγιές που δεν οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις συμβαίνουν κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες είτε λόγω υψηλών θερμοκρασιών, είτε μετά από ισχυρές καταιγίδες λόγω κεραυνών. Ωστόσο, κάποιες φορές η ίδια η φύση δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την έναρξη πυρκαγιών ως μία διαδικασία ανανέωσης. Είναι γεγονός ότι από μια καμένη δασική περιοχή οι ποσότητες ρύπων που εκπέμπονται είναι υψηλότερες σε σύγκριση με τα φυσιολογικά επίπεδα.

▪ *Ηφαίστεια*

Όταν εκρήγνυται ένα ηφαίστειο απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες σωματιδίων, διοξειδίου του θείου (SO_2), μεθανίου (CH_4) και υδρόθειου (H_2S). Τα σύννεφα που δημιουργούνται από τα σωματίδια αυτά μπορεί να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για αρκετά μεγάλο διάστημα και να απλωθούν σε μεγάλες εκτάσεις.

▪ *Ωκεανοί*

Εκπέμπονται σταγονίδια που περιέχουν χλωριούχο νάτριο (NaCl) και δημιουργούνται μεταξύ άλλων με την θραύση των κυμάτων πάνω στα βράχια. Από αυτά τα σταγονίδια κάποια ανήκουν στο χονδρόκοκκο κλάσμα ενώ άλλα λόγω της μικρής διαμέτρου τους, μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα έως και 3 ημέρες. Η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία αφού τα ξεράνουν, οδηγούν στην παραγωγή σωματιδίων από θαλασσινό αλάτι με χημική σύσταση παρόμοια με το άλας της θάλασσας. Σε λιμάνια και ναυπηγεία υπάρχει περίπτωση ανίχνευσης βαρέων μετάλλων, όπως ψευδάργυρος, μόλυβδος, κάδμιο και άλλα.

▪ *Επιφάνεια εδάφους*

Οι εκπομπές σκόνης από το έδαφος είναι αποτέλεσμα της επαναιώρησης των σωματιδίων λόγω του αέρα ή των διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Η μεταφορά ή η επαναιώρηση σωματιδίων μπορεί να οφείλεται στον αέρα ή στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Για παράδειγμα, η κυκλοφορία των οχημάτων, το περπάτημα, οι βιομηχανικές και κατασκευαστικές διεργασίες μπορεί να προκαλέσουν αύξηση του ρυθμού εκπομπής σκόνης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι χώρες της Μεσογείου συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, στις οποίες παρατηρούνται έντονα φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από την έρημο από περιοχές της Αφρικής.

Έχει υπολογιστεί ότι τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων και ρύπων από φυσικές πηγές εκπομπής είναι πιο υψηλά από τα επίπεδα των ανθρωπογενών πηγών παγκοσμίως. Αντίθετα, δεν παρατηρείται το ίδιο σε τοπική κλίμακα και ιδιαίτερα σε αστική κλίμακα καθώς τα επίπεδα των εκπεμπόμενων ρύπων από ανθρωπογενείς πηγές είναι υψηλότερα.

2.1.2 Με βάση το μέγεθος-διάμετρο των αιωρούμενων σωματιδίων

Σκοπός του διαχωρισμού των σωματιδίων της ατμόσφαιρας ανάλογα του μεγέθους τους είναι η συσχέτιση και με άλλες παραμέτρους π.χ. το μηχανισμό σχηματισμού, το πλήθος, το χρόνο παραμονής τους στον ατμοσφαιρικό αέρα και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο κλίμα μιας περιοχής.

Συνήθως χρησιμοποιείται ο τύπος της αεροδυναμικής διαμέτρου D , η οποία ορίζεται ως η διάμετρος με πυκνότητα 1 g cm^{-3} που έχει την ίδια μέγιστη ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το εξεταζόμενο σωματίδιο. Η αεροδυναμική διάμετρος σχετίζεται με το χρόνο παραμονής του σωματιδίου στην ατμόσφαιρα αλλά και με την απόθεσή τους στο αναπνευστικό σύστημα. [95]

Η αεροδυναμική διάμετρος D :

$$D = D_g * k (P_p/P_o)^{1/2}$$

Η ισοδύναμη ηλεκτρική κινητικότητα (Electrical Mobility Equivalent Diameter: d_b) είναι η διάμετρος μιας σφαίρας που έχει την ίδια ηλεκτρική κινητικότητα με το εξεταζόμενο σωματίδιο.

όπου: D_g , κλασσική γεωμετρική διάμετρος σφαίρας

P_p , πυκνότητα

P_o , πυκνότητα αναφοράς

k , συντελεστής

Στην περίπτωση σφαίρας το $k=1$.

2.1.3 Με βάση το μηχανισμό σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων

Οι αέριοι και σωματιδιακοί ρύποι στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς ή φυσικές εκπομπές ανήκουν στους πρωτογενείς ρύπους αν εκπέμπονται απευθείας από τις πηγές ρύπανσης.

Όταν αέρια και αιωρούμενα σωματίδια δημιουργούνται μέσω μετατροπής από αέριες ενώσεις ή προϋπάρχοντα σωματίδια λέγονται δευτερογενείς ρύποι. Σχηματίζονται μέσα σε λίγες ώρες και τα σωματίδια έχουν μεγέθη που κυμαίνονται μεταξύ 0,1-1 μm . Τα σωματίδια αυτά μπορούν να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα γεγονός που σημαίνει ότι μπορούν να υπάρξουν σε διαφορετικό χρόνο και τόπο από το χρόνο και τόπο εκπομπής που προέρχονται. Τα δευτερογενή αιωρήματα είναι αποτέλεσμα χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων (με την βοήθεια ηλιακής ακτινοβολίας) που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Σε αυτές μπορεί συμμετέχουν υδρατμοί, ατμοσφαιρικό οξυγόνο, αντιδρώντα μόρια όπως το όζον O_3 και οι ρύποι SO_2 , NO_2 . Οι δευτερογενείς αέριοι ρύποι μπορεί να αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα.

Αφού σχηματιστούν τα πρωτογενή αιωρήματα υπόκεινται σε διάφορες διεργασίες (τη πυρηνοποίηση, τη συσσώρευση, τη συμπύκνωση και τη συσσωμάτωση). Οι διεργασίες αυτές επιφέρουν αλλαγές στο μέγεθος και το σχήμα τους. Έτσι, έχουμε μεγέθη που κυμαίνονται από μερικά νανόμετρα ($1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$) μέχρι μερικές δεκάδες μικρόμετρα ($1 \text{ }\mu\text{m}=10^{-6} \text{ m}$). Ανάλογα με τις εκπομπές και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή τα αιωρήματα μπορεί να παραμένουν στην τροπόσφαιρα από λίγες ώρες μέχρι και μερικές εβδομάδες.

2.1.4 Με βάση την ικανότητα διείσδυσης στο αναπνευστικό σύστημα

Οι ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα μπορούν να εισέλθουν με τρεις τρόπους στο ανθρώπινο σώμα, την αναπνοή, την κατάποση και την επαφή στο δέρμα. Σχετικά, με την διαδικασία της αναπνοής τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό διακρίνονται σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα. Εισπνεύσιμα είναι τα σωματίδια που μπορούν να εισέλθουν στο ανώτερο αναπνευστικό σύστημα (ρινοφάρυγγας) και έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από $10 \text{ }\mu\text{m}$, ενώ θωρακικά θεωρούνται τα σωματίδια που διαπερνούν το λάρυγγα και τους πνεύμονες κι έχουν διάμετρο μεγέθους μικρότερο από $7 \text{ }\mu\text{m}$.

Τέλος τα αναπνεύσιμα που θεωρούνται και τα πιο σημαντικά σωματίδια είναι αυτά που έχουν την ικανότητα να διεισδύουν μέχρι τις κυψελίδες των πνευμόνων, όπου γίνεται η αναπνοή. [50],[91],[93],[98],[86]

2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ

Οι κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης των ατμοσφαιρικών ρύπων από τον αέρα είναι η *ξηρή* και η *υγρή εναπόθεση*. Ξηρή εναπόθεση έχουμε όταν ένα σωματίδιο ή αέριο έρχεται σε επαφή με το φυσικό περιβάλλον (φυτά, ζώα, έδαφος) και παραμένει εκεί με προσρόφηση, απορρόφηση ή διάλυση, ενώ υγρή εναπόθεση έχουμε όταν τα αιωρήματα συμπαρασύρονται με τις κατακρημνίσεις ή ενσωματώνονται σε σταγονίδια νερού μέσα στα νέφη και ύστερα πέφτουν στο έδαφος μέσω υετού. [96]

2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα δευτερογενή σωματίδια υπόκεινται σε μια σειρά διαδικασιών σχηματισμού που περιλαμβάνουν την πυρηνοποίηση, την συσσώρευση, την συσσωμάτωση και τη συμπύκνωση. Αυτές οι διαδικασίες προκαλούν αλλαγές στο μέγεθος και στο σχήμα των σωματιδίων. Έτσι, τα μεγέθη τους κυμαίνονται από λίγα νανόμετρα (nm) μέχρι δεκάδες μικρόμετρα (μm).

Πυρηνοποίηση: Είναι η διεργασία που λαμβάνει χώρα στην ατμόσφαιρα και βοηθάει στη δημιουργία σωματιδίων και νεφών. Πιο συγκεκριμένα, σχετίζεται με τη μετατροπή της ύλης από μία κατάσταση σε μία άλλη π.χ. η αλλαγή από την αέρια στην υγρή φάση πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας μικρών συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων. Η πυρηνοποίηση διακρίνεται σε ομογενή και ετερογενή. Η ομογενής πυρηνοποίηση συμβαίνει όταν η μεταβολή των φάσεων πραγματοποιείται χωρίς προϋπάρχοντα σωματίδια, ενώ η ετερογενής προϋποθέτει την ύπαρξη σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Συσσώρευση: Η διεργασία αυτή σχετίζεται με την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων που προέρχονται από την περιοχή της πυρηνοποίησης.

Συμπύκνωση: Με αυτήν οι ενώσεις μπορούν να αλλάζουν φάση από αέρια σε υγρή π.χ. υδρατμοί, οποίοι με την διαδικασία της συμπύκνωσης γίνονται νερό ή παγοκρύσταλλοι.

Συσσωμάτωση: Είναι η σύγκρουση των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ τους λόγω της σχετικής τους κίνησης και ο σχηματισμός μεγαλύτερων σωματιδίων.

[86], [94],[95],[96]

2.4 ΟΛΙΚΑ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Πριν τη διαφοροποίηση τους ανάλογα με το μέγεθός τους τα αιωρούμενα σωματίδια αναφέρονταν ως ολικά αιωρούμενα σωματίδια TSP (Total Suspended Particles). Τα μεγέθη τους κυμαίνονται από 0,001 μm μέχρι μερικές εκατοντάδες μm . Τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερα από 50 μm έχουν τη τάση να καθιζάνουν εύκολα. Τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες σωματιδίων.

Λεπτόκοκκα ή λεπτά σωματίδια

Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (PM_{2,5}). Λόγω του μικρού σχετικά βάρους τους παραμένουν στην ατμόσφαιρα από ημέρες μέχρι και εβδομάδες και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Παράγονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες π.χ. καύσεις, φωτοχημικώς παραγόμενα σωματίδια. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το κλάσμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενεργός επιφάνεια του, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τοξικότητα του λόγω προσρόφησης.

Χονδρόκοκκα ή Χονδρά σωματίδια

Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μεγαλύτερη από 2,5 μm . Συνήθως καθιζάνουν εντός ολίγων ωρών λόγω βαρυτικής εναπόθεσης, ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παράγονται κυρίως από μηχανικές διεργασίες και αποτελούνται κυρίως από σωματίδια σκόνης και θαλάσσια υδροσταγονίδια.[86],[96]

2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Όταν τα αέρια και σωματίδια βρεθούν στην ατμόσφαιρα, απομακρύνονται από αυτή με διάφορες διεργασίες, από τις οποίες εξαρτάται ο χρόνος παραμονής τους σε αυτήν. Σημαντικό ρόλο στα σωματίδια παίζει η ταχύτητα πτώσης. Ισχύει ότι ο χρόνος παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, είναι αντιστρόφως ανάλογος της διαμέτρου των σωματιδίων. Δηλαδή, όσο πιο μεγάλη διάμετρο έχει ένα σωματίδιο, τόσο λιγότερο χρόνο θα μείνει στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 20 μm , παραμένουν στην ατμόσφαιρα μερικές ώρες. Από την άλλη τα σωματίδια με διάμετρο μεταξύ 0,1-1 μm , παραμένουν για μεγαλύτερους χρόνους στην ατμόσφαιρα και μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις. Τα μικρότερα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εναπόθεσης με τυρβώδη διάχυση ή με έκπλυση. Για παράδειγμα, σε απόσταση 20 χιλιομέτρων από σημείο στο οποίο έχει εκδηλωθεί εκτεταμένη πυρκαγιά, ενώ η συγκέντρωση των υπέρλεπτων και λεπτών σωματιδίων είναι σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με την συγκέντρωση υποβάθρου της περιοχής, δεν υπάρχει ωστόσο καμιά αύξηση στη συγκέντρωση των μεγαλύτερων σωματιδίων.

[86], [93], [94], [96], [98]

3^ο Κεφάλαιο : Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης

3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.1.1 ΣΤΗΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Με τη πάροδο των δεκαετιών παρατηρείται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης κατά 0,5 °C. Αυτό οφείλεται στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες θερμαίνουν την ατμόσφαιρα με την παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων σωματιδίων. Παράλληλα όμως, τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στην μετεωρολογία και στη διαμόρφωση του κλίματος με την συμμετοχή των πρώτων στο σχηματισμό νεφών. [91],[93]

3.1.2 ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ ΤΑ ΖΩΑ

Η εισχώρηση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας στον οργανισμό των ανθρώπων ή των ζώων μπορεί να προκαλέσουν μια σειρά προβλημάτων στην υγεία τους. Γενικά, η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια είναι μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές και γύρω από σημειακές πηγές ρύπανσης όπως εργοστάσια, εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και χυτήρια. Συγκεκριμένα, τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό με την αναπνοή, εναποτίθενται στο αναπνευστικό σύστημα. Η υπερβολική και μακροχρόνια έκθεση συμβάλλει στη δημιουργία χρόνιων πνευμονικών προβλημάτων (άσθμα, καρκίνος του πνεύμονα, πνευμονικές δυσλειτουργίες, χρόνια βρογχίτιδα) ή καρδιαγγειακές ασθένειες (αρρυθμίες, καρδιακές προσβολές, θρόμβωση). [82], [86], [91], [93]

3.1.3 ΣΤΗΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Ο βαθμός επίδρασης των αέριων ρύπων στη βλάστηση εξαρτάται από την ηλικία του φυτού, την υγρασία, τη θρεπτική ισορροπία και το ποσοστό ηλιοφάνειας. Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να εισέλθουν στο φυτικό σύστημα μέσω της αναπνοής του φυτού. Παράλληλα, η εναπόθεση σωματιδίων στις επιφάνειες των φύλλων περιορίζουν το ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που μπορεί το φυτό να απορροφήσει (φωτοσύνθεση), καθώς επίσης δυσκολεύουν την πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα. Τα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν το φυτό εξίσου κατά την εναπόθεσή τους στο έδαφος. Αλλάζοντας την σύσταση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, τα σωματίδια μεταφέρονται μέσω των ριζών στο φυτό. [91], [93]

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εξεταζόμενοι Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Οι σημαντικότεροι ρύποι της ατμόσφαιρας οι συγκεντρώσεις των οποίων παρακολουθούνται με βάση τη νομοθεσία, είναι τα αιωρούμενα σωματίδια PM (Particulate Matter), το διοξείδιο του θείου (SO_2), η αμμωνία (NH_3), τα βαρέα μέταλλα (Heavy Metal), το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO , CO_2), το μεθάνιο (CH_4), οι μη μεθανικές οργανικές ενώσεις, τα οξείδια και το υπεροξείδιο του αζώτου (NO_x , N_2O), το όζον (O_3) και οι παραμένοντες οργανικοί ρύποι. Στην εργασία θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στις συγκεντρώσεις του NO_2 , του τροποσφαιρικού O_3 και των PM_{10} σωματιδίων.[95], [98]

4.1 Διοξείδιο του αζώτου (NO_2)

Το διοξείδιο του αζώτου, είναι ένας σημαντικός τοξικός αέριος ρύπος, ο οποίος προέρχεται από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου (NO). Υπάρχει στην ατμόσφαιρα εξαιτίας ανθρωπίνων δραστηριοτήτων π.χ. καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, βενζίνη), είτε λόγω φυσικών διεργασιών π.χ. ηφαιστειακές εκρήξεις, κεραυνοί, δασικές πυρκαγιές κ.ά. Ανήκει στους δευτερογενείς ρύπους, συμμετέχει στην παραγωγή όζοντος και στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους συνήθως στα μεγάλα αστικά κέντρα και στις γύρω περιοχές. Το NO_2 αντιδρώντας με τους υδρογονάνθρακες υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλεί τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου εμφανίζονται κατά τις πρωινές και βραδινές ώρες αιχμής είτε λόγω μεγάλου αριθμού κινούμενων οχημάτων (αστικές περιοχές) είτε αυξημένου ηλιακού φωτός (καλοκαίρι). [92], [95]

4.2 Όζον (O_3)

Είναι τριατομικό οξυγόνο, δηλαδή αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου και ανήκει στους δευτερογενείς ρύπους στην τροπόσφαιρα. Σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα από τη χημική αντίδραση πτητικών οργανικών ενώσεων ($\text{VOC}'\text{s}$) με τα οξείδια του αζώτου (NO_x), παρουσία ηλιακού φωτός. Επειδή είναι απαραίτητη η συμβολή του ηλιακού φωτός, η αντίδραση ονομάζεται φωτοχημική αντίδραση και το προϊόν αυτής, φωτοχημική αιθαλομίχλη. Πρόκειται για ασταθές αέριο το οποίο παράγεται πιο αργά απ' ό τι καταστρέφεται.

Το όζον αποτελεί το προστατευτικό περίβλημα της γήινης ατμόσφαιρας στα ανώτερα στρώματά της (στρατόσφαιρα 90%), λειτουργεί σαν ασπίδα καθώς δεν αφήνει την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου να φτάσει στην επιφάνεια της Γης. Η ύπαρξη του είναι είτε ωφέλιμη είτε επιβαρυντική για το περιβάλλον ανάλογα με το ύψος που βρίσκεται. Όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, εκεί που ζει και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος (τροπόσφαιρα), αποτελεί σημαντικό ρύπο που επηρεάζει τη δημόσια υγεία και τα οικοσυστήματα. Έχει ανοιχτό κυανό χρώμα και γίνεται αντιληπτό σε μεγάλες συγκεντρώσεις και λόγω της έντονης οξειδωτικής του δράσης αποτελεί εξαιρετικό φυσικό απολυμαντικό μέσο, μυκητοκτόνο αλλά και μικροβιοκτόνο.

Τα υψηλότερα επίπεδα σημειώνονται κυρίως τα καλοκαίρια τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες που η ηλιακή ακτινοβολία είναι στο μέγιστο.[91], [98], [96]

4.3 Αιωρούμενα Σωματίδια-PM₁₀

Τα εισπνεύσιμα PM₁₀ είναι μικρά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μm, τα οποία βρίσκονται διασκορπισμένα στον αέρα. Πρόκειται για μια κατηγορία ρύπων που προκαλεί προβλήματα τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο. Η ημερήσια συγκέντρωση σωματιδίων (PM₁₀) εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Οι πηγές που είναι υπεύθυνες για την ύπαρξη των PM₁₀ στον αέρα, όπως προαναφέρθηκε, είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η καύση της βιομάζας, η διάβρωση των εδαφών και των πετρωμάτων, οι αγροτικές δραστηριότητες και βιομηχανικές δραστηριότητες όπως εργοστάσια καύσης ορυκτών καυσίμων και οχήματα αλλά και βιομάζας από λέβητες ή άλλες διατάξεις για την θέρμανση σπιτιών κ.α. [91], [98], [96]

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Μετεωρολογία και ατμοσφαιρική ρύπανση

5.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

Οι καιρικές συνθήκες, η ώρα της ημέρας και η εποχή του έτους, η υγρασία, τα νέφη, οι πνέοντες άνεμοι καθώς και οι θερμοκρασίες που επικρατούν σε μια περιοχή παίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ευστάθεια και τη διασπορά των αέριων ρύπων. Τις ηλιόλουστες ημέρες τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα σε συνθήκες άπνοιας οι τοπικά εκπεμπόμενοι ρύποι π.χ. τα καυσαέρια καύσης πετρελαίου (οξειδία του αζώτου και οι υδρογονάνθρακες) συσσωρεύονται στο αέρα με αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων τους. Το φως του ηλίου σε συνδυασμό με τις αέριες ουσίες προκαλούν χημικές αντιδράσεις σχηματίζοντας όζον. Επιπλέον οι διαστρωματικές θερμοκρασίες εμποδίζουν τους αέριους ρύπους να ανέβουν σε υψηλότερα υψόμετρα. Σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ετησίως η βροχή και το χιόνι συμβάλλουν σημαντικά στο καθαρισμό του αέρα μιας περιοχής από τους ρυπαντές. [95]

5.2 ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ

Μέσω των αέριων μαζών πραγματοποιείται η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας της Γης καθώς επίσης και η μεταφορά ποσών θερμότητας από τις περιοχές του Ισημερινού προς τις πολικές περιοχές και αντίστροφα. Σε κάθε αέρια μάζα σημαντικό ρόλο παίζει η ποσότητα των υδρατμών της και η θερμοκρασία που η ίδια έχει. Οι συμπυκνώσεις και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα εξαρτώνται από την ποσότητα των υδρατμών, ενώ από την θερμοκρασία εξαρτάται η ευστάθεια της. Η ευστάθεια ή αστάθεια της ατμόσφαιρας έχει σχέση με την ικανότητα της ίδιας να αναμιγνύει τους αέριους ρύπους, οι οποίοι προέρχονται από ανθρωπογενείς ή φυσικές δραστηριότητες.

Κάθε αέρια μάζα διακρίνεται από την *πηγή εκπομπής* δηλαδή την περιοχή, πάνω από την οποία σχηματίστηκε η αέρια μάζα και υιοθέτησε τα χαρακτηριστικά της. Την *διαδρομή*, την πορεία που ακολούθησε και την *ηλικία*, δηλαδή την χρονική περίοδο που ξεκίνησε από τη στιγμή που η αέρια μάζα άρχισε να απομακρύνεται από την πηγή της.

Οι μάζες αέρα χωρίζονται σε *ψυχρές* και *θερμές*. Οι τελευταίες είναι πιο θερμές από την περιοχή πάνω από την οποία κινούνται, με αποτέλεσμα αυτές να ψύχονται από κάτω. Σε αντίθεση με τις ψυχρές αέριες μάζες οι οποίες είναι πιο ψυχρές από την περιοχή πάνω από την οποία κινούνται, και έτσι θερμαίνονται από κάτω.

Στα στρώματα που βρίσκονται στο έδαφος συμβαίνει πιο έντονα η ψύξη των μαζών αέρα η οποία συμβαίνει αργά προς τα πάνω, και για αυτό το λόγο συμβαίνουν αναστροφές θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περίπτωση που επικρατούν ασθενείς άνεμοι τότε δημιουργείται ομίχλη.

Οι αέριες μάζες ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με τη πηγή τους:

- 1) Πολικές ηπειρωτικές (*cP*)
- 2) Πολικές θαλάσσιες (*mP*)
- 3) Αρκτικές (*A*)
- 4) Θαλάσσιες Τροπικές (*mT*)
- 5) Ηπειρωτικές τροπικές (*cT*)
- 6) Ισημερινές (*E*)

Οι κυριότερες μάζες αέρα που φθάνουν στην Μεσόγειο και ασκούν επιρροές σε αυτήν είναι η θαλάσσια αρκτική, ηπειρωτική αρκτική, πολικές θαλάσσιες, θαλάσσιες τροπικές και οι ηπειρωτικές τροπικές. Εκτός όμως απ' αυτές υπάρχουν και η:

- Τροποποιημένη θαλάσσια τροπική (*tmP*): Η αέρια αυτή μάζα αποτελείται από θαλάσσιο πολικό αέρα και προέρχεται από τη θαλάσσια περιοχή της Γροιλανδίας. Ο αέρας αυτός πριν φτάσει στην περιοχή της Μεσογείου πέρασε πάνω από θερμή θάλασσα για αρκετό χρονικό διάστημα.
- Μεσογειακή αέρια μάζα (*med*): Αυτή η αέρια μάζα προέρχεται από πολικές περιοχές αλλά λόγω της εκτεταμένης παραμονής της στην Μεσόγειο έχει υιοθετήσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής.

Η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου η οποία παρουσιάζει και μεγάλο ενδιαφέρον, επηρεάζεται από θαλάσσιες και ηπειρωτικές πηγές αερολυμάτων. Συγκεκριμένα με τη επικράτηση βόρειων ανέμων μεταφέρονται αερολύματα στην περιοχή των Χανίων.

[85],[95],[98]

5.3 ΥΔΡΑΤΜΟΙ- ΥΓΡΑΣΙΑ

Η ατμόσφαιρα περιέχει εκτός από τα αέρια και υδρατμούς, οι οποίοι προέρχονται από την εξάτμιση ωκεανών, θαλασσών, ποταμών και από τη διαδικασία της διαπνοής των φυτών. Η πρώτη περιέχει τεράστιες ποσότητες υδρατμών που μεταβάλλονται συνεχώς. Η υγρασία αυτή στον αέρα είναι πολύ σημαντική διότι καθορίζει την δημιουργία νεφών. Επίσης οι υδρατμοί αποτελούν σημαντικό φορέα θερμικής ενέργειας στην Γη και την αιτία δημιουργίας μετεωρολογικών φαινομένων. [95],[85]

5.4 ΝΕΦΗ -ΟΜΙΧΛΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια συμμετέχουν στην δημιουργία νεφών και καθορίζουν τις κατακρημνίσεις επηρεάζοντας έτσι την κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και τον υδρολογικό κύκλο. Πιο συγκεκριμένα δημιουργούνται όταν η θερμοκρασία μιας μάζας αέρα είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, τότε οι υδρατμοί που περιέχει η αέρια μάζα συμπυκνώνονται. Με τη συμπύκνωση τους αυξάνεται η σχετική υγρασία και μειώνεται η ορατότητα. Σε αυτές τις συνθήκες οι υδρατμοί αλλάζουν μορφή από αέριοι σε υγροί ή στερεοί και σχηματίζονται έτσι λεπτά σταγονίδια ή λεπτοί παγοκρύσταλλοι. Το σύνολο αυτών που αιωρείται στην ατμόσφαιρα χαρακτηρίζει ως νέφος. Μια περαιτέρω αύξηση της υγρασίας προκαλεί αύξηση των σταγονιδίων της, τα οποία γίνονται ορατά. Σε συνθήκες όπου υπάρχει έντονη δυσκολία ορατότητας σε απόσταση μερικών μέτρων, τότε δημιουργείται νέφος ή αλλιώς ομίχλη. Η ίδια είναι συχνό φαινόμενο κυρίως πάνω από αστικά κέντρα. όπου υπάρχουν περισσότεροι αέριοι ρύποι επομένως και περισσότερα σωματίδια. [85],[95]

5.5 ANEMOI

Οι άνεμοι συμβάλλουν επίσης στην απομάκρυνση των αέριων ρύπων. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι ρύποι που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα για παράδειγμα από μία καπνοδόχο, απομακρύνονται από αυτή προς την κατεύθυνση που πνέει ο άνεμος. Από την άλλη πλευρά, αν επικρατεί άπνοια ή ασθενείς άνεμοι τότε ευνοείται η ανάπτυξη δυσμενών συνθηκών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πόσο μάλλον όταν υπάρχει ατμοσφαιρική ευστάθεια. Αυτό σημαίνει ότι ευνοούνται τοπικά

συστήματα ανέμου δηλαδή μικρής έντασης αέρας, ο οποίος; δεν είναι αρκετά για να απομακρύνουν τους αέριους ρύπους της περιοχής. [96],[98]

5.6 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Το ανάγλυφο μιας περιοχής αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη ρύπανση του αέρα καθώς διαμορφώνει τα πεδία της ατμοσφαιρικής ροής. Για παράδειγμα, τα βουνά, οι λόφοι, οι κοιλάδες και τα κτίρια επηρεάζουν το βαθμό ρύπανσης της περιοχής.

Στην περίπτωση που οι ρυπογόνες πηγές ή τα αστικά κέντρα βρίσκονται στη βάση μιας κοιλάδας, τότε ο μορφολογικός παράγοντας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Εάν εντός της κοιλάδας λειτουργούν πηγές ρύπανσης και δεν υπάρχει αναστροφή θερμοκρασίας, τότε οι ρύποι ανεβαίνουν ψηλά στην ατμόσφαιρα και απομακρύνονται με τους γενικούς ανέμους. Αντίθετα, αν υπάρχουν συνθήκες αναστροφής της θερμοκρασίας, τότε οι καπνοί εγκλωβίζονται μέσα στην κοιλάδα.

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι στις κοιλάδες λειτουργούν οι μηχανισμοί της αύρας και των ανεβατών/κατεβατών ανέμων, οι οποίοι παρασύρουν τους αέριους ρύπους σε μια μεριά την ημέρα και σε άλλη κατεύθυνση τη νύχτα. Η ρύπανση του αέρα μπορεί να γίνει ακόμα πιο έντονη, αν οι άνεμοι πνέουν προς την κορυφή της κοιλάδας, με αποτέλεσμα να μην αφήνουν τους ρύπους να διαφύγουν.

Επίσης τα ψηλά κτίρια και οι ουρανοξύστες στέκονται εμπόδιο στην απορρύπανση της ατμόσφαιρας. Μειώνουν τη ταχύτητα του ανέμου άρα και τη διάλυση των αέριων ρυπαντών. [3],[5]

5.7 ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Τα χημικά συστατικά που αποτελούν την ατμόσφαιρα δύναται να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταβολή του κλίματος επηρεάζοντας άμεσα την καθημερινότητα του ανθρώπου. Σε όλο το πλανήτη απελευθερώνονται στο αέρα μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, υδρατμοί, όζον, μεθάνιο, οξείδια του αζώτου κ.ά. αέρια επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο την μέση θερμοκρασία της Γης και επομένως το κλίμα. Η συμμετοχή αέριων και σωματιδίων στο ατμοσφαιρικό

ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της επίδρασης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο κλίμα. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας καθώς τα αιωρούμενα σωματίδια με υγροσκοπική συμπεριφορά επιδέχονται αλλαγές στην χημική σύσταση, στο μέγεθος και στις οπτικές τους ιδιότητες.

Εκτός από την άμεση επίδραση στο κλίμα, τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα και έμμεσα, λειτουργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (CCN) συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς σε σταγονίδια, με τα οποία σχηματίζονται τα νέφη. Τέτοια σωματίδια είναι σταγονίδια προερχόμενα από το νερό της θάλασσας και τα θειικά σωματίδια. Τα νέφη επηρεάζουν σημαντικά το ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη και εξαρτώνται άμεσα από το είδος και τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων. [92], [93], [94]

5.8 ΔΙΑΣΥΝΟΡΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ποιότητα του αέρα σε μια περιοχή εξαρτάται τόσο από τις εγχώριες εκπομπές όσο και από εκπομπές που προέρχονται από άλλες περιοχές και μεταφέρονται με την βοήθεια του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα η διασυνοριακή ρύπανση αφορά ρύπους που προέρχονται από χώρες εκτός συνόρων. Οι εισαγόμενοι και εξαγόμενοι ρύποι μαζί επιβαρύνουν περισσότερο την ατμόσφαιρα επιβαρύνοντας την. Για παράδειγμα η ποιότητα του αέρα χωρών που βρίσκονται στην Κεντρική Ευρώπη που συνορεύουν με αρκετές άλλες χώρες, επηρεάζεται σημαντικά από γειτονικές χώρες με την επικράτηση κατάλληλων συνθηκών. [95],[99]

5.9 ΣΚΟΝΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΑΧΑΡΑ

Η σκόνη που έρχεται από την έρημο Σαχάρα αποτελεί σημαντικό ρύπο για την χώρας μας. Με τη βοήθεια του ανέμου η σκόνη επαναιωρείται στον αέρα και μεταφέρεται σε μακρινές αποστάσεις. Τα σωματίδια αυτά αναμειγμένα με σωματίδια από εγχώριες εκπομπές δημιουργούν προβλήματα. Γενικά οι μεγαλύτερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο σε μια "ζώνη σκόνης" που εκτείνεται από τα δυτικά της βόρειας Αφρικής, πάνω από την μέση Ανατολή, την Ασία έως και την Κίνα.

Συγκεκριμένα, η έρημος Σαχάρα είναι η μεγαλύτερη έρημος στη Γη και πρόκειται για μια άγονη, αμμώδη έκταση, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο κομμάτι της Βόρειας Αφρικής. Συνορεύει με τον Ατλαντικό ωκεανό από τα δυτικά, την Ερυθρά θάλασσα από τα ανατολικά και τη Μεσόγειο στα Βόρεια και εκτείνεται σε 11 χώρες: Δυτική Σαχάρα, Μαρόκο, Μαυριτανία, Αλγερία, Τυνησία, Τσαντ, Λιβύη, Νίγηρας, Μαλί, Σουδάν και Αίγυπτος. Στην Σαχάρα υπάρχουν βουνά, ποτάμια, αμμώδες πεδιάδες και ξηρές κοιλάδες. Η σκόνη της Σαχάρας αποτελείται από μια μίξη ορυκτών όπως χαλαζία, αλβίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, ιλύτη, και καολινίτη. [40], [41], [93], [95]

5.10 ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΦΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

Κάθε χρόνο, τους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς μήνες παρατηρούνται έντονα και συχνά επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα προς τη Κρήτη και γενικά σε όλες τις νότιες ευρωπαϊκές χώρες. Η σκόνη αυτή δημιουργεί μια κίτρινο-καφέ ατμόσφαιρα και ξεπλένεται με το νερό της βροχής.

Στην λεκάνη της Μεσογείου συναντώνται πολλά είδη αερολυμάτων, όπως ανθρωπογενή αερολύματα βιομηχανικών περιοχών της δυτικής Ευρώπης, ορυκτογενής σκόνη και σωματίδια με θαλάσσια προέλευση. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι μάζες αέρα πάνω από την έρημο της Σαχάρας θερμανθούν, μειώνεται η πυκνότητά τους και ανεβαίνουν προς τα πάνω. Έπειτα ποσότητα αέρα συνήθως κρύου αντικαθιστά τον ζεστό αέρα, δημιουργεί ρεύματα αέρα μεταφέροντας μαζί και διάφορα σωματίδια.

Τις ημέρες που συμβαίνουν έντονα επεισόδια αφρικανικής σκόνης στην ατμόσφαιρα, τα σωματίδια αυτά αν και δεν απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε μεγάλα μήκη κύματος, μπορούν να αυξήσουν την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεταφορά αυτής της σκόνης προς την ανατολική Μεσόγειο προκαλεί αλλαγές στις ιδιότητες της ατμόσφαιρας. Η σκόνη μπορεί να μεταφερθεί σε μια περιοχή είτε με Κατακόρυφη Εκτεταμένη Μεταφορά (Vertically Extended Transport –V.E.T.) μέσω της ελεύθερης τροπόσφαιρας μέσα σε επιφανειακό στρώμα ανάμειξης, είτε πάνω από το στρώμα ανάμειξης (Μεταφορά μέσω ελεύθερης Τροπόσφαιρας (Free Tropospheric Transport- F.T.T)).

Τους φθινοπωρινούς και χειμωνιάτικους μήνες παρατηρείται κυρίως η μεταφορά V.E.T., ενώ τους καλοκαιρινούς η μεταφορά F.T.T. και τους ανοιξιάτικους και οι 2 τύποι μεταφοράς. Πάντως και οι δύο συνεισφέρουν το ίδιο στην μεταφορά σκόνης προς τη λεκάνη της Μεσογείου.

Τα επίπεδα της αφρικανικής σκόνης καταγράφονται μέσω δύο σταθμών δειγματοληψίας στην Κρήτη. Ο πρώτος σταθμός βρίσκεται στην Φινοκαλιά Λασιθίου και ανήκει στο Πανεπιστήμιο της Κρήτης, και ο άλλος σταθμός ο οποίος ανήκει στο Πολυτεχνείο Κρήτης, βρίσκεται στο Ακρωτήριο Χανίων σε μία περιαστική - παραθαλάσσια περιοχή μερικά χιλιόμετρα έξω από την πόλη.[13],[40],[92],[93]

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Περιβαλλοντικά Προβλήματα

6.1 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι: το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το όζον (O₃), το μεθάνιο (CH₄), οι υδρατμοί, το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι χλωροφθοράνθρακες και οι υδρογονοφθοράνθρακες (CFC's και HCFC's), οι υπερφθοράνθρακες και οι υδρογονοφθοράνθρακες (PFC's και HFC's), και το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) που βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις στον αέρα. Τα αέρια αυτά απορροφούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ ανακλούν την γήινη υπέρυθη ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις και μεταξύ άλλων πίσω προς την επιφάνεια της Γης. Τα αέρια αυτά βρέθηκαν στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, όπως η καύση των ορυκτών καυσίμων, οι μεταφορές, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα εργοστάσια, η γεωργία και η αποψίλωση των δασών, καθώς και η χρήση αλογονωμένων υδρογονανθράκων σαν ψυκτικά και προωθητικά υλικά, αλλά και υλικά πυρόσβεσης κυρίως.

Τα περισσότερα συστατικά της ατμόσφαιρας επιτρέπουν σε μέρος της υπεριώδους, στην ορατή και υπέρυθη ακτινοβολία να φτάσουν στην επιφάνεια της Γης για να την θερμάνουν. Όμως, τα αέρια του θερμοκηπίου, ενώ αρχικά επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη, έπειτα την παγιδεύουν και δεν την αφήνουν να διαφύγει στο διάστημα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Σε συνθήκες ανέφελου ουρανού το φαινόμενο ενισχύεται εξαιτίας της ύπαρξης υδρατμών.

Τα αέρια του θερμοκηπίου δημιουργούνται κυρίως από φυσικές πηγές. Παρόλα αυτά, η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου και της ακτινοβολίας –θερμότητας που παγιδεύεται εντός της ατμόσφαιρας, εντείνοντας το φαινόμενο και οδηγώντας σε κλιματική αλλαγή. [91],[95],[98],[99]

6.2 Φωτοχημικό Νέφος -Αιθαλομίγλη

Το φωτοχημικό νέφος είναι ένα φαινόμενο ρύπανσης του αέρα που δημιουργείται από φωτοχημικές αντιδράσεις με την παρουσία πρωτογενών ρύπων όπως NO_x, υδρογονάνθρακες σε συνδυασμό με το ηλιακό φως σε αστικά κέντρα. Αποτέλεσμα αυτών των αντιδράσεων είναι η παραγωγή τροποσφαιρικού O₃ και άλλων

δευτερογενών ενώσεων, όπως π.χ. NO_2 , HNO_3 , νιτρικών υπεροξειδίων οργανικών ενώσεων που είναι φωτοχημικοί ρύποι. Οι πρωτογενείς ρύποι προέρχονται κυρίως από βιομηχανικές εκπομπές και από κινητήρες εσωτερικής καύσης βενζινοκίνητων αυτοκινήτων και άλλων οχημάτων.

Το τροποσφαιρικό όζον είναι το πιο σημαντικό αέριο το οποίο χρήζει στενής παρακολούθησης καθώς παράγεται από το φωτολυτικό κύκλο των οξειδίων αζώτου κατά τη διάρκεια σχηματισμού νέφους. Ένα μεγάλο μέρος του εξαντλείται για το σχηματισμό άλλων δευτερογενών ρύπων, ενώ το υπόλοιπο όσο βρίσκεται κοντά στο έδαφος είναι επιβλαβές για την δημόσια υγεία. Το όζον στη στρατόσφαιρα αντίθετα είναι χρήσιμο για την προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία

Το φωτοχημικό νέφος εμφανίζεται κυρίως τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες σε ηλιόλουστες μεγαλουπόλεις με θερμό ή ξηρό περιβάλλον καθώς σε αυτές υπάρχουν μεγαλύτερες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων, ενώ αναπτύσσονται και υψηλότερες θερμοκρασίες και συνθήκες άπνοιας. Ιδανική συνθήκη αποτελούν επίσης τα αστικά κέντρα που περιβάλλονται από βουνά καθώς έτσι το νέφος παραμένει εγκλωβισμένο και ιδιαίτερα σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής.

Σε αντίθεση με το φωτοχημικό νέφος, η *αιθαλομίχλη*, οφείλεται στα υψηλά επίπεδα διοξειδίου του θείου (SO_2) και δημιουργείται από την καύση ξύλου ή κάρβουνου. Συγκεκριμένα, κάνει έντονη την παρουσία της σε αστικά κέντρα. Τα τελευταία χρόνια έγινε μεγάλη στροφή προς την χρήση παραδοσιακών τζακιών και σομπών καθώς αποτελούν ένα οικονομικό τρόπο θέρμανσης. Ωστόσο, η καύση ξύλων και άλλων μορφών βιομάζας απελευθερώνει στο αέρα πολλά μικρά σωματίδια ευνοώντας έτσι στο σχηματισμό του φαινομένου της αιθαλομίχλης, τα οποία περιέχουν μεταξύ άλλων και καρκινογόνες ουσίες και επομένως είναι επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων.

Η παραμονή ή η διασπορά των ατμοσφαιρικών ρύπων εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ειδικότερα, σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής το φαινόμενο της αιθαλομίχλης είναι πιο έντονο. [98]

6.3 Θερμοκρασιακή Αναστροφή

Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι φαινόμενο, στο οποίο η θερμοκρασία του αέρα στην τροπόσφαιρα αυξάνεται με το ύψος σε μία περιοχή αντί να μειώνεται.

Παρατηρείται τους φθινοπωρινούς, χειμωνιάτικους και ανοιξιάτικους μήνες και ιδιαίτερα τις ημέρες καλοκαιρίας, τις βραδινές και πρωινές ώρες, ενώ διαλύεται τις πρώτες μεσημβρινές ώρες. Συμβαίνει κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές, πεδιάδες, κοιλάδες και λεκανοπέδια περιτριγυρισμένα από βουνά.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες οι περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο π.χ. πεδινές, παραθαλάσσιες. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του φαινομένου της θερμικής αναστροφής που συμβαίνει στην τροπόσφαιρα, η ατμόσφαιρα γίνεται πιο ζεστή καθώς αυξάνεται το υψόμετρο. Οι πιο θερμές μάζες λόγω της μικρής πυκνότητάς τους, ανεβαίνουν σε μεγαλύτερα ύψη μέχρι να συναντήσουν παρόμοιες αέριες μάζες. Αντίθετα, οι ψυχρότερες μάζες οι οποίες είναι βαρύτερες παραμένουν στάσιμες. Η ψύξη και αντικατάσταση των θερμών μαζών που βρίσκονται σε υψηλότερες περιοχές από θερμότερες μάζες που βρίσκονται κοντά στο έδαφος, υποστηρίζουν τη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Η θερμοκρασιακή αναστροφή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την μετεωρολογία. Οι ασθενείς άνεμοι, ο ανέφελος ουρανός και η υγρασία είναι συνθήκες που ενισχύουν την εμφάνιση του φαινομένου. Σε συνθήκες άπνοιας, τα αέρια στρώματα δεν μπορούν να αναμειχθούν μεταξύ τους. Η απουσία νεφών στον ουρανό βοηθάει στην γρήγορη ψύξη του εδάφους από την ημερήσια ακτινοβολία που έχει προσλάβει. Τέλος, η απουσία της ηλιακής ενέργειας παρατείνει το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής.

[91],[95],[98],[99]

6.4 Όξινη Βροχή

Όξινη βροχή είναι όλες οι κατακρημνίσεις της ατμόσφαιρας (βροχή, χιόνι, χαλάζι) που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών και θειικών οξέων. Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται γύρω στο 4,6 σε σύγκριση με την κανονική βροχή, της οποίας το pH βρίσκεται στο 5,0-5,6. Η οξύτητα του νερού της όξινης βροχής οφείλεται στην παρουσία νιτρικών και θειικών οξέων, τα οποία είναι αποτέλεσμα οξείδωσης των πρωτογενών ανθρωπογενών ρύπων οξειδίου του αζώτου (NO_x) και διοξειδίου του θείου (SO₂) από δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η καύση ορυκτών καυσίμων, οι μεταφορές και οι εκρήξεις ηφαιστειών που είναι οι κύριες πηγές παραγωγής τους στην ατμόσφαιρα.

Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου που είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση του φαινομένου αυτού, αντιδρούν με τους υδρατμούς και το νερό της βροχής στην ατμόσφαιρα και σχηματίζουν θειϊκά και νιτρικά οξέα, ενώ με τις κατακρημνίσεις πέφτουν στην Γη με την μορφή της όξινης βροχής. Το διοξείδιο του θείου είναι συστατικό των ορυκτών καυσίμων και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από τους κινητήρες των οχημάτων, τις κεντρικές θερμάνσεις κτιρίων, τα τζάκια και τα εργοστάσια. Από την άλλη, τα οξείδια του αζώτου οφείλονται στην αντίδραση των μορίων του αζώτου με τα μόρια του οξυγόνου της ατμόσφαιρας σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και παράγονται από τις εξατμίσεις των οχημάτων, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τις βιομηχανίες. [98],[99]

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Διεθνείς Συμβάσεις

7.1 ΣΥΜΒΑΣΗ- ΠΛΑΙΣΙΟ ΗΝΩΜΕΝΩΝ ΕΘΝΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)

Η σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών είναι μια διεθνής συνθήκη σχετικά με το περιβάλλον, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 21/3/1994. Στόχος της είναι να σταθεροποιήσει τις συγκεντρώσεις των θερμοκηπιακών ρύπων στον αέρα αποτρέποντας έτσι την επικίνδυνη παρέμβαση του ανθρώπου στο κλίμα. Ουσιαστικά, υποχρεώνει τις 197 συμβαλλόμενες χώρες τις οποίες τις χωρίζει σε 2 ομάδες, να καθιερώσουν εθνικά προγράμματα για να περιοριστεί η απελευθέρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα που συμβάλλουν στην εκδήλωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η πρώτη ομάδα αφορά τις βιομηχανικές χώρες τις οποίες η σύμβαση υποχρεώνει να μειώσουν τις δικιές τους εκπομπές ρύπων στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το έτος 2020. Μερικές απ' αυτές τις χώρες είναι η Ολλανδία, Γερμανία, Ιαπωνία οι οποίες θα μελετηθούν παρακάτω. Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν οι αναπτυσσόμενες χώρες οι οποίες είναι ευάλωτες είτε λόγω της κλιματικής αλλαγής είτε λόγω των επιπτώσεων από την λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος.

Από το 1995 οι εκπρόσωποι των κρατών μελών της σύμβασης συναντιούνται κάθε χρόνο σε διασκεύεις (COP) για να εκτιμήσουν την πρόοδο που έχει σημειωθεί για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος. [53]

7.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ

Το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι μια εξίσου διεθνής συμφωνία, η οποία αποτελεί ορόσημο για την πολιτική που αφορά την κλιματική αλλαγή και αποσκοπεί στην μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Εγκρίθηκε για πρώτη φορά στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 και σχετίστηκε με τη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (UNFCCC). Πολλές ανεπτυγμένες χώρες επικύρωσαν το Πρωτόκολλο (μεταξύ αυτών η Πολωνία, η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Ολλανδία) εκτός της Κίνας και της Ινδίας που εξαιρέθηκαν εντελώς από την συμφωνία, παρότι είναι από τους μεγαλύτερους παραγωγούς αερίων του θερμοκηπίου. Οι χώρες που επικύρωσαν το Πρωτόκολλο του Κιότο δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις ετήσιες εκπομπές υδρογονανθράκων, ενώ ταυτόχρονα τους ανατέθηκαν μέγιστα όρια εκπομπών των ρύπων. Παράλληλα, οι χώρες καταστρώνουν το δικό τους σχέδιο για

να πετύχουν τους στόχους τους μέχρι ένα συγκεκριμένο διάστημα. Με την τροποποίηση της Ντόχα αναθεωρήθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο μέχρι το έτος 2020. Για τις συμμετέχουσες χώρες προκειμένου να μειώσουν τις εκπομπές των ρύπων τέθηκαν νέοι στόχοι για το διάστημα 2012-2020. Το 2015 η συμφωνία του *Παρισιού για το κλίμα*, την οποία υπέγραψαν όλοι οι συμμετέχοντες της UNFCCC, αντικατέστησε το Πρωτόκολλο του Κιότο. [51],[52]

7.3 ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΤΟΥ ΠΑΡΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

Πρόκειται για μία περιβαλλοντική συμφωνία στο πλαίσιο της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) που υπογράφηκε το έτος 2015 από σχεδόν όλες τις μεγάλες χώρες που εκπέμπουν άνθρακα στην ατμόσφαιρα και αφορά στην καταπολέμηση της μεταβολής του κλίματος και των επιπτώσεων που η τελευταία προκαλεί. Η κεντρική ιδέα της Συμφωνίας της Παρισιού είναι η μείωση των παγκόσμιων εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων για να περιοριστεί η θερμοκρασιακή αύξηση της Γης πιο κάτω από 2° C μέχρι το έτος 2100. Ουσιαστικά, προέτρεψε κάθε χώρα-μέλος της συμφωνίας να θέσει τους δικούς της στόχους και να οργανώσει το δικό της σχέδιο δράσης προκειμένου να μειώσει τις εκπομπές των αέριων ρύπων. Τα αποτελέσματα όλων των χωρών από την εφαρμογή αξιολογούνται από κοινού κάθε πέντε χρόνια με σκοπό την καθιέρωση νέων κατευθυντήριων γραμμών και στρατηγικών για την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Στα συμβαλλόμενα κράτη ανήκουν 197 χώρες, μεταξύ των οποίων η Χιλή, η Κίνα, η Γερμανία, η Ιαπωνία, η Πολωνία και η Ολλανδία που επελέγησαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία. [54], [55]

7.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΓΚΕΤΕΜΠΟΡΓΚ

Το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ είναι η σύμβαση που αφορά τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλες αποστάσεις και αποτελεί τη βάση διεθνώς για την αντιμετώπιση της επιβάρυνσης του αέρα. Σε αυτή συμμετέχουν 51 χώρες συμπεριλαμβανομένων των κρατών της Ευρώπης και η ίδια έχει αναθεωρηθεί οχτώ φορές με πρωτόκολλα που περιλαμβάνουν αυστηρότερα όρια σχετικά με την απελευθέρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 χρόνων.

Η τελευταία αναθεώρηση ήταν το Πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ το 1999, η τροπολογία του οποίου διευρύνει τις διατάξεις του αρχικού πρωτοκόλλου για την διαφύλαξη της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Η τροπολογία θέτει αυστηρότερα όρια στους αέριους ρύπους SO₂, NO_x, μικροσωματίδια, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) εκτός του μεθανίου, και αμμωνία για κάθε χώρα και στις πηγές (σταθερές και κινητές) που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα. Το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ υποχρεώνει επίσης τα κράτη μέλη να υποβάλλουν εκθέσεις για τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και την πρόοδο που σημείωσαν. Η Ε.Ε. δεσμεύτηκε να μειώσει τους ρύπους που εκλύονται στην ατμόσφαιρα για το 2020, -42% το NO₂, πτητικές οργανικές ενώσεις -28%, λεπτά σωματίδια -22%, αμμωνία -6%, διοξείδιο του θείου -59%. Για το 2030 και μετά, στόχος της Ε.Ε. είναι η μείωση του διοξειδίου του αζώτου κατά -63%, πτητικές οργανικές ενώσεις -40%, λεπτά σωματίδια -49%, αμμωνία -19%, διοξείδιο του θείου -79%. Συμβαλλόμενες χώρες είναι οι ευρωπαϊκές χώρες, οι Ηνωμένες Πολιτείες, ο Καναδάς και κάποιες χώρες της κεντρικής Ασίας. [19],[56]

8^οΚΕΦΑΛΑΙΟ: Νομοθεσία

Ολοένα και περισσότερο υπάρχει η ανάγκη για καθαρό αέρα για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το Π.Ο.Υ. (Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας), η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ο σημαντικότερος περιβαλλοντικός κίνδυνος για την Ευρώπη αλλά και για όλο τον πλανήτη. Περισσότερο εκτεθειμένοι είναι οι κάτοικοι των αστικών πόλεων διότι μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού συνεπάγεται υψηλότερες εκπομπές περισσότερων ρύπων. Συγκεκριμένα, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι PM₁₀, NO₂ και O₃, οι οποίοι θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία είναι από τους πιο επιβλαβείς ατμοσφαιρικούς ρύπους και για αυτό είναι ανάγκη να παρθούν μια σειρά από μέτρα για την παρακολούθησή τους.

8.1 Εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρώπη θέλοντας να προστατέψει τους πολίτες της έχει θεσπίσει διεθνείς κανόνες και οδηγίες για τον περιορισμό των αέριων ρύπων. Όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν επικυρώσει τη Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC), τη Συμφωνία του Παρισιού και το Πρωτόκολλο του Κιότο. Ειδικότερα, θέτει στόχους και όρια για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους στα κράτη μέλη της και αφήνει στην κρίση τους να οργανώσουν το σχέδιο δράσης τους για να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι. Όλα τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να τηρούν αυτές τις στρατηγικές, οι οποίες πρέπει να επιτευχθούν σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ενώ κάποιες ευρωπαϊκές χώρες έχουν πάρει δραστικά μέτρα προκειμένου να μειωθούν τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κάποιες άλλες επιμένουν σε πιο ελαστικά μέτρα.

Στην Ευρώπη ισχύουν συγκεκριμένα όρια για τους αέριους ρύπους με βάση την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Τα όρια αυτά σκοπό έχουν να προστατέψουν τους πολίτες και τα οικοσυστήματα καθώς επίσης να μειώσουν τη θνησιμότητα λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι βασικές νομοθεσίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τον αέρα περιλαμβάνουν τις οδηγίες:

- ✚ 1996/62/ΕΚ του Συμβουλίου της 27^{ης} Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα. Στόχος της οδηγίας αυτής είναι ο καθορισμός συγκεκριμένων στόχων για την ποιότητα του αέρα ώστε να αποφευχθούν ή να μειωθούν οι βλαβερές επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο

περιβάλλον καθώς και να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα όταν δεν βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

- ✚ 1999/30/EK που αφορά τις οριακές συγκεντρώσεις των NO_x και SO₂ και Pb στην ατμόσφαιρα.
- ✚ 2002/3/EK η οποία αφορά τις συγκεντρώσεις όζοντος που βρίσκονται στον αέρα.
- ✚ 2008/50/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 2008 σχετικά με τη καλύτερη ποιότητα αέρα στην Ευρώπη. Αυτό συνεπάγεται μείωση της ρύπανσης του αέρα σε επίπεδα που δεν προκαλούν προβλήματα στην διαβίωση του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων. Έτσι, θέτει όρια στις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων και απαιτεί από τα κράτη μέλη να μην τα υπερβαίνουν, να τα παρακολουθούν και να ενημερώνουν τους πολίτες για τυχόν έντονα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σύμφωνα με τις παραπάνω οδηγίες για κάθε ατμοσφαιρικό ρύπο ορίζεται μία *οριακή τιμή* και ένα *περιθώριο ανοχής*, το οποίο αθροίζεται στην οριακή τιμή για να δώσει την *ενδεικτική οριακή τιμή*. Το περιθώριο ανοχής κάθε χρόνο έχει και πιο αυστηρά όρια για να μηδενιστεί στην ημερομηνία που θα ισχύσει κάποιο νέο όριο.

Η Ε.Ε δεν διαθέτει πρότυπα μόνο για τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων και εθνικά όρια για τις συνολικές εκπομπές ρύπων αλλά και για το σχεδιασμό ειδικής νομοθεσίας (π.χ. έλεγχος βιομηχανικών εκπομπών, εκπομπές οχημάτων). Η τελευταία νομοθεσία απαρτίζεται από διάφορα μέτρα και στρατηγικές για την προστασία του περιβάλλοντος.

ο Οδικές μεταφορές:

Για να περιοριστεί η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλούν οι οδικές μεταφορές, έχουν οριστεί πρότυπα για τις εκπομπές που προέρχονται από διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων (αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία, μοτοσυκλέτες κ.ά.), ρυθμίζοντας έτσι την ποιότητα των καυσίμων. Τα πρότυπα εκπομπών Euro-5 και Euro-6 που αφορούν αυτοκίνητα και ελαφριά φορτηγά θέτουν όρια στις εκπομπές ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως του NO₂ και των PM₁₀. Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλουν να μην επιτρέπουν την πώληση και την παρουσία οχημάτων στους δρόμους που δεν τηρούν τα όρια αυτά. Από τον Σεπτέμβριο του

2017 ξεκίνησε η διαδικασία ελέγχου των πραγματικών εκπομπών των νέων μοντέλων αυτοκινήτων.

ο Άλλες εκπομπές ρύπων από τις μεταφορές

Για να μειωθεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας λόγω των πλοίων η οποία ευθύνεται για πολλούς πρόωπους θανάτους ετησίως, η Ευρώπη έχει ορίσει όρια στην περιεκτικότητα των καυσίμων ναυσιπλοΐας σε θείο που χρησιμοποιούν τα πλοία για να μετακινηθούν στις θάλασσες της. Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός στοχεύει να μειώσει το όριο περιεκτικότητας σε θείο από 3,5% κατά βάρος (κ.β.) σε 0,5% κ.β. μέχρι το έτος 2020. Ήδη από το 2015 εφαρμόζονται αυστηρά όρια στις περιοχές της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας. Επίσης έχουν ορισθεί πρότυπα εκπομπών για τους οδοστρωτήρες, τους εκσκαφείς, τους δασικούς και γεωργικούς ελκυστήρες.

ο Βιομηχανικές εκπομπές

Η οδηγία αφορά στις βιομηχανικές εκπομπές που προέρχονται από ρυπαντικές βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως π.χ. μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, βιομηχανικές εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου, και είναι υπεύθυνες για ένα αρκετά σημαντικό μέρος της ρύπανσης στις ευρωπαϊκές χώρες και μη. Η οδηγία ορίζει τις προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις παρέχοντας μια σειρά μέτρων και μία βάση για την χορήγηση αδειών λειτουργίας για τη δημιουργία καινούργιων βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Προκειμένου να διαμορφωθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, λαμβάνεται υπόψη η συνολική περιβαλλοντική επίδοση της εγκατάστασης, οι πρώτες ύλες και η ενεργειακή απόδοση. [20],[88],[96]

Πίνακας 8.1: Οριακές τιμές ρύπων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και κατευθυντήριες γραμμές του Π.Ο.Υ. [20],[89]

ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ		ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε.		ΕΤΗΣΙΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΤΗΣ Ε.Ε.
		Π.Ο.Υ.	μg/m ³	ΣΕ	μg/m ³	
PM ₁₀	1 έτος		20		40	-
	24 ώρες		50		50	35
O ₃	8 ώρες		100		120	25
NO ₂	1 έτος		40		40	-
	1 ώρα		200		200	18

8.2 Εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης

8.2.1 Ιαπωνία

Ο βασικός περιβαλλοντικός νόμος της χώρας θεσπίστηκε το 1993 και περιλαμβάνει την αντιμετώπιση σημαντικών περιβαλλοντικών τοπικών και παγκόσμιων προβλημάτων, όπως είναι η κλιματική αλλαγή και η υπερθέρμανση πλανήτη.

Ο «*Νόμος ελέγχου του καπνού*» τέθηκε σε ισχύ το έτος 1962 και ήταν ο πρώτος ιαπωνικός νόμος για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα. Ορίζει συγκεκριμένες περιοχές, στις οποίες παρατηρούνται συχνά υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιθάλη ή καπνό, και περιοχές στις οποίες υπάρχει αυξημένος κίνδυνος εμφάνισης τέτοιας ρύπανσης.

Ο «*Νόμος ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης*» λειτουργεί ως συμπληρωματικός του προηγούμενου νόμου και θεσπίστηκε το έτος 1968 με στόχο την προστασία του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα αποσκοπεί στην διασφάλιση της δημόσιας υγείας των ανθρώπων και στην διατήρηση του περιβάλλοντος διαβίωσης καθορίζοντας επιτρεπόμενα όρια στα καυσαέρια των οχημάτων.

Γενικότερα, η κυβέρνηση της Ιαπωνίας για να αντιμετωπίσει την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θεσπίζει μέχρι και σήμερα πρότυπα εκπομπών για τις εγκαταστάσεις εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων που βρίσκονται τις περιοχές που ορίζει «*ο νόμος ελέγχου του καπνού*». Προσδιορίζει τις επικίνδυνες ουσίες και προωθεί μέτρα σε περίπτωση ατυχήματος ή διαρροής. Όσον αφορά στους ατμοσφαιρικούς ρύπους που απελευθερώνονται και διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα από εργοστάσια και αυτοκίνητα (diesel), καθορίζει πρότυπα εκπομπών για κάθε αέριο ρύπο και τύπο εγκατάστασης. Η λειτουργία καινούργιων εγκαταστάσεων παραγωγής αιθάλης και καπνού οφείλει να πληροί αυτά τα πρότυπα εκπομπών και να υπόκεινται σε έλεγχο ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η χώρα έχει υπογράψει διεθνείς συνθήκες όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο, τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών (UNFCCC) για την αλλαγή του κλίματος, τη Σύμβαση της Στοκχόλμης για τους οργανικούς ρύπους και τη Συνθήκη της Διασυννοριακής Ρύπανσης. [18],[26],[36],[51],[9]

8.2.2 Χονγκ Κονγκ

Το Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος του Χονγκ Κονγκ (EPD) έχει δεσμευτεί να βελτιώσει την ποιότητα της ατμόσφαιρας πετυχαίνοντας στόχους και προωθώντας την προστασία και τη βέλτιστη χρήση του αέρα προς όφελος των πολιτών. Έτσι, για να αντιμετωπίσει τις καθημερινές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η πόλη όσον αφορά στην ποιότητα του αέρα, έβαλε σε εφαρμογή το *Διάταγμα Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης* και τους επικουρικούς της κανονισμούς.

Η πρώτη νομοθεσία του Χονγκ Κονγκ για τον έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών λόγω καύσης ήταν το *διάταγμα Keep Air Clean*. Το διάταγμα παρέχει στις αρχές της νομοθετικής εξουσίας το δικαίωμα να θέτουν στόχους για την ποιότητα αέρα του Χονγκ Κονγκ και να παίρνουν μέτρα για την πρόληψη ή τη μείωση των εκπομπών ρύπων του αέρα.

Σχετικά με τον *έλεγχο των εκπομπών από τα οχήματα*, οι κανονισμοί απαιτούν από τα πρόσφατα ταξινομημένα αυτοκίνητα να πληρούν τα ίδια πρότυπα εκπομπών με την Ευρώπη και την Ιαπωνία.

Τα καυσαέρια των πλοίων είναι εξίσου μία από τις κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Χονγκ Κονγκ. Οι κανονισμοί ορίζουν ότι η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,05 % ανεξάρτητα από το αν το πλοίο πλέει ή αγκυροβολεί.

Σε περιφερειακό επίπεδο οι κυβερνήσεις του Χονγκ Κονγκ, του Μακάο και του Γκουάγγτονγκ υπέγραψαν συμφωνία για τον περιφερειακό έλεγχο και την πρόληψη των ατμοσφαιρικών ρύπων μεταξύ των πόλεων αυτών. Ως αποτέλεσμα των μέτρων που τέθηκαν σε εφαρμογή τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στις εκπομπές των ρύπων από τα εργοστάσια.

Τέλος, το Χονγκ Κονγκ έχει επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο, τη Συμφωνία του Παρισιού και τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το κλίμα (UNFCCC). [8],[11],[15],[16]

8.2.3 Χιλή

Ο βασικός περιβαλλοντικός νόμος της Χιλής θεσπίστηκε το 1994 και αφορά στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Το ίδιο έτος ιδρύθηκε ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος (CONAMA). Ο Οργανισμός αυτός συνεργάζεται με το Υπουργείο

Μεταφορών, Εκπαίδευσης, Υγείας, Γεωργίας και Αστικοποίησης και σκοπός του είναι η διασφάλιση της δημόσιας υγείας προστατεύοντας το περιβάλλον. Ο CONAMA δεν ελέγχει τους κανονισμούς, καθώς τα ανάλογα Υπουργεία είναι υπεύθυνα για το καθορισμό ορίων στις εκπομπές. Για παράδειγμα το Υπουργείο Μεταφορών είναι υπεύθυνο για τους περιορισμούς στις εκπομπές των μηχανοκίνητων οχημάτων. Παρόλο αυτά, τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης παραμένουν σε υψηλά επίπεδα στην χώρα. Το σχέδιο της Χιλής είναι να καταργήσει οριστικά τον άνθρακα έως το έτος 2040 με σκοπό να γίνει η χώρα ουδέτερη προς αυτόν έως το 2050.

Η Χιλή υπέγραψε συμφωνία συνεργασίας με τον Καναδά με στόχο τη προώθηση της προστασίας του περιβάλλοντος καθώς και της αειφόρου ανάπτυξης και στις 2 χώρες. Παράλληλα δεσμεύει και τις δύο χώρες για την τήρηση των περιβαλλοντικών νόμων. Η χώρα έχει υπογράψει τη Συμφωνία του Παρισιού, το Πρωτόκολλο του Κιότο καθώς επίσης έχει αποδεχτεί την τροποποίηση της Ντόχα στη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών.[23]

9^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Πειραματικό Μέρος

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώνεται στη μελέτη και σύγκριση της ατμοσφαιρικής και σωματιδιακής ρύπανσης σε έξι αστικά κέντρα του πλανήτη Άμστερνταμ (Ολλανδία), Σαντιάγκο (Χιλή), Γκντάνσκ (Πολωνία), Βερολίνο (Γερμανία), Χονγκ Κονγκ (Κίνα) και Τόκυο (Ιαπωνία), σε περιοχές που θα αναφερθούν παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα, θα μελετηθούν τα επίπεδα σωματιδιακής και αέριας ρύπανσης και ειδικότερα οι ρύποι PM₁₀, NO₂ και O₃ για κάθε μία από τις παραπάνω πόλεις για την διετία 2018 και 2019.

Η αρχική σκέψη για την επιλογή των περιοχών που θα μελετηθούν ήταν η παρουσίαση πόλεων εντός και εκτός της Ευρώπης. Αναλυτικότερα επιλέχθηκαν δύο σταθμοί παρακολούθησης που βρίσκονται σε περιοχές κοντά σε σημαντικά λιμάνια του πλανήτη, δύο σταθμοί που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα και δύο σταθμοί εντός της ενδοχώρας. Έτσι, οι τελικές επιλογές απαρτίζονται από το Άμστερνταμ και το Χονγκ Κονγκ τα οποία έχουν σημαντικά λιμάνια, το Σαντιάγκο και το Βερολίνο λόγω της γεωγραφικής τους θέσης (το Βερολίνο βρίσκεται στην Κεντρική Ευρώπη και το Σαντιάγκο σε μία λεκάνη περιτριγυρισμένη από βουνά) και τέλος το Γκντάνσκ της Πολωνίας με το Τόκυο οι οποίες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τη θάλασσα.

Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στην αερομεταφερόμενη σκόνη από τη Βόρεια Αφρική μέσω των αέριων μαζών στην πόλη των Χανιών καθώς επίσης πως οι μετεωρολογικές συνθήκες μπορούν να ευνοήσουν την μεταφορά αυτή.

9.1.1 ΓΚΝΤΑΝΣΚ, ΠΟΛΩΝΙΑ

Το Γκντάνσκ είναι μια από τις μεγαλύτερες πόλεις της Πολωνίας και είναι χτισμένη στο βόρειο τμήμα της χώρας. Οι ακτές της βρέχονται από την Βαλτική θάλασσα, στην οποία βρίσκεται και το πιο σημαντικό λιμάνι της χώρας, το οποίο αποτελεί μεγάλο διεθνή κόμβο μεταφορών.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Koppen το κλίμα στο Γκντάνσκ χαρακτηρίζεται ως ωκεάνιο με χαρακτηριστικά ηπειρωτικού. Οι χειμερινοί μήνες ιδιαίτερα ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι αρκετά κρύοι σε συνδυασμό με αρκετές χιονοπτώσεις ενώ οι πιο ζεστοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Η χώρα διαθέτει αρκετά εθνικά πάρκα, ποτάμια, λίμνες, φυσικά καταφύγια και προστατευόμενες περιοχές Natura 2000. Το Γκντάνσκ διαθέτει επίσης ένα σύγχρονο

δίκτυο δημόσιων μέσων μεταφοράς, το οποίο περιλαμβάνει λεωφορεία, τραμ, τρένα και υπόγειους σιδηρόδρομους.

Το μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας της με καύση άνθρακα στην Ευρώπη βρίσκεται στο Belchatow της Πολωνίας, το οποίο αποτελείται από 13 μονάδες που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη το λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το Γκντάνσκ θεωρείται μία αμιγώς βιομηχανική πόλη καθώς φιλοξενεί ναυπηγικές, χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες, παρόλα αυτά δεν διαθέτει σταθμούς παραγωγής ενέργειας άνθρακα.

Η πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων πραγματοποιείται μέσω των μοντέλων CALMET/CALPUFF χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα από το διαθέσιμο έργο NCEP/NCAR. Οι αέριοι ρύποι μετρούνται σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και τα όρια τους υπολογίζονται σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα.

[22],[25],[39],[44],[57],[60],[65],[74],[1]

9.1.2 ΤΟΚΥΟ, ΙΑΠΩΝΙΑ

Το Τόκυο είναι η πρωτεύουσα της Ιαπωνίας στην ανατολική Ασία και είναι η μεγαλύτερη πόλη της με πληθυσμό 13,8 εκατομμύρια κατοίκους το έτος 2018. Πρόκειται για νησιωτική χώρα με περισσότερα από 6.000 νησιά, η οποία βρίσκεται στην ηφαιστειακή ζώνη του Ειρηνικού ωκεανού *Ring of Fire*. Η βόρεια ακτή της βρέχεται από την θάλασσα *Okhotsk*, στα δυτικά από την *θάλασσα της Ιαπωνίας*, ενώ η ανατολική και νότια ακτή της βρέχεται από τον *Ειρηνικό ωκεανό*. Η χώρα είναι κυρίως ορεινή και το υψηλότερο βουνό της είναι το ενεργό ηφαίστειο *Fuji* με ύψος 3.776 m, το οποίο βρίσκεται 100 χλμ. μακριά από το Τόκυο. Τα αστικά κέντρα βρίσκονται κυρίως σε πεδιάδες, λεκάνες, ακτές και κοιλάδες. Από την μεριά του Ειρηνικού ωκεανού υπάρχουν βουνά που κυμαίνονται μέχρι 3.000 m ύψος με βαθιά φαράγγια. Σεισμικές δονήσεις γίνονται συχνά αισθητές λόγω των ηφαιστειών καθώς η χώρα βρίσκεται σε σημείο που διασταυρώνονται 4 τεκτονικές πλάκες. Μάλιστα υπολογίζεται ότι υπάρχουν περισσότερα από 100 ενεργά ηφαίστεια στην χώρα.

Η Ιαπωνία θεωρείται βροχερή χώρα με υψηλά επίπεδα υγρασίας. Στο Τόκυο, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως υγρό υποτροπικό σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen. Η περίοδος συχνών κατακρημνίσεων διαρκεί από το Μάρτιο μέχρι τον Οκτώβριο. Οι τυφώνες και οι τροπικοί κυκλώνες πλήττουν τη χώρα κυρίως τους

μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο με ισχυρούς ανέμους και καταρρακτώδεις βροχές. Η παρουσία ανέμων γίνεται αισθητή τους μήνες Ιανουάριο με Μάιο, ενώ τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου επικρατεί άπνοια. Ο Αύγουστος είναι ο πιο ζεστός μήνας ενώ ο Σεπτέμβριος ο πιο βροχερός.

Όσον αφορά στις μετακινήσεις, η χώρα διαθέτει ένα μεγάλο πλέγμα μέσων μαζικής μεταφοράς (σιδηροδρομική, εναέρια, οδική). Παράλληλα η Ιαπωνία κατέχει την 3^η υψηλότερη θέση στην παραγωγή αυτοκινήτων παγκοσμίως. Η χώρα παράλληλα διαθέτει αρκετά πάρκα και κήπους.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων που προκύπτουν είναι εκφρασμένες σε βάρος ανά όγκο αέρα ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) και υπολογίζονται με την μέθοδο της μέτρησης της εξασθένησης της βήτα ακτινοβολίας (beta gauge).

[37], [38], [58], [61],[67], [81], [70], [75]

Πίνακας 9.1: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM_{10} , NO_2 και O_3 στην Ιαπωνία [4]

ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	Παγκόσμιο Μέσο Μέσο Εύρος Συγκέντρωσης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Κατευθυντήριες Οδηγίες Π.Ο.Υ. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM_{10}	24 ώρες	10-100	50
	1 ώρα		20
O_3	8 ώρες	10-100	100
	24 ώρες		113
NO_2	1 ώρα	10-150	200
	1 έτος		40

9.1.3 ΑΜΣΤΕΡΝΤΑΜ, ΟΛΛΑΝΔΙΑ

Το Άμστερνταμ είναι η πρωτεύουσα των Κάτω Χωρών και η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της χώρας. Λίγα χιλιόμετρα έξω από το Άμστερνταμ βρίσκεται το Ρότερνταμ, το μεγαλύτερο λιμάνι της Ευρώπης και ένα από τα πιο μεγάλα αεροδρόμια στο κόσμο, το Schiphol. Το Άμστερνταμ θεωρείται "έξυπνη πόλη" καθώς χρησιμοποιεί την τεχνολογία για να βελτιώσει σημαντικά προβλήματα της πόλης και να εξασφαλίσει καλύτερη ποιότητας ζωής στους κατοίκους της.

Πρόκειται για μία πόλη επίπεδη με το υψηλότερο σημείο της να φτάνει στα 323m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Έχει ήπιο ωκεάνιο κλίμα, το οποίο επηρεάζεται από τη Βόρεια θάλασσα και από τους βορειοδυτικούς- συχνά-θυελλώδεις ανέμους που πνέουν από εκεί. Οι θερμοκρασίες το χειμώνα και το καλοκαίρι είναι ήπιες, ενώ σπάνια εμφανίζεται καύσωνας. Η παρουσία άφθονου

νερού στις εδαφικές λεκάνες ευθύνεται για την εμφάνιση πολλών νεφών και υγρασίας στην ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα τους μήνες Οκτώβριο με Μάιο.

Η Ολλανδία είναι μία από τις πιο ανεπτυγμένες χώρες στον κόσμο. Έχει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, όπως ηλεκτροπαραγωγική, ηλεκτρονική και χημική βιομηχανία καθώς και αυτοκινητοβιομηχανίες.

Αν και γίνεται εκτεταμένη χρήση ποδηλάτου, παρόλα αυτά τα επίπεδα των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι πολύ υψηλότερα από ότι επιτρέπουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα κυρίως λόγω της έντονης κυκλοφορίας. Η χρήση φυσικού αερίου στα νοικοκυριά αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα ρύπανσης του αέρα.

Η ποιότητα αέρα στις Κάτω Χώρες υπολογίζεται με τη χρήση του μοντέλου Operational Priority Substances (OPS). Τα όρια των ατμοσφαιρικών ρύπων NO₂, PM₁₀ και O₃ ορίζονται σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα και εκφράζονται μg/m³. [2],[9],[27],[29],[62],[63],[71],[45]

9.1.4 ΧΟΝΓΚ ΚΟΝΓΚ, ΚΙΝΑ

Το Χονγκ Κονγκ είναι παραθαλάσσια πόλη νοτιοανατολικά της Κίνας και αποτελεί σημαντικό λιμένα εμπορευματοκιβωτίων στο κόσμο. Θεωρείται εξίσου ένα από τα πιο πυκνοκατοικημένα μέρη του κόσμου με πληθυσμό περίπου 7.500.700.

Η χώρα είναι κυρίως ορεινή και απαρτίζεται από αρκετές εκτάσεις πράσινου. Τα αστικά κέντρα της βρίσκονται κατά μήκος της θάλασσας. Κατά Κορρεν το κλίμα χαρακτηρίζεται ως υγρό υποτροπικό. Πιο συγκεκριμένα, οι πιο ζεστοί μήνες παρατηρούνται από το μήνα Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο, ενώ οι πιο κρύοι από το μήνα Δεκέμβριο μέχρι και το Μάρτιο. Κατά τη διάρκεια των μηνών Απρίλιος έως Σεπτέμβριος παρατηρούνται οι περισσότερες βροχές και τα νέφη. Παράλληλα στο χρονικά διάστημα Σεπτέμβριος έως Μάρτιος παρατηρείται ο περισσότερος άνεμος. Τέλος, από τον Ιούλιο μέχρι και το Σεπτέμβριο τροπικοί κυκλώνες κατακλύζουν την πόλη του Χονγκ Κονγκ.

Το Χονγκ Κονγκ είναι μια ανεπτυγμένη πόλη, η οποία διαθέτει μεγάλο δίκτυο μέσων μαζικής μεταφοράς. Παρόλα αυτά αρκετοί πολίτες προτιμούν τα ιδιωτικά αυτοκίνητα για τις μετακινήσεις τους, υπολογίζεται ότι πάνω από 500.000 ιδιωτικά αυτοκίνητα κυκλοφορούν στους δρόμους του Χονγκ Κονγκ. Παράλληλα η πόλη διαθέτει το μεγαλύτερο αριθμό ουρανοξυστών στο κόσμο.

Η πόλη έρχεται αντιμέτωπη καθημερινά με δύο μεγάλες προκλήσεις, την τοπική ρύπανση κατά μήκος των μεγάλων αυτοκινητόδρομων και το φαινόμενο της αιθαλομίχλης περιφερειακά. Μηχανοκίνητα diesel οχήματα, θαλάσσια σκάφη, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής είναι υπεύθυνα για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας του Χονγκ Κονγκ. Αν και η Κίνα έχει επικυρώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο, δεν ανήκει στις ανεπτυγμένες χώρες, οπότε δεν απαιτείται να περιορίσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Παρότι το Χονγκ Κονγκ θεωρείται μεγάλη πηγή εκπομπής CO₂, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (υδροηλεκτρική, ηλιακή και αιολική ενέργεια) αναπτύσσεται γρηγορότερα από ότι η παραγωγή από ορυκτά καύσιμα.

[7],[24],[30],[48],[68],[83],[84]

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων NO₂, PM₁₀ και O₃ είναι εκφρασμένες σε μg/m³. Τα πρότυπα της ποιότητας του αέρα είναι τα παρακάτω.

Πίνακας 9.2: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃ στο Χονγκ Κονγκ [17]

ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΟΡΙΑ (μg/m ³)	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ (μg/m ³)
PM ₁₀	24 ώρες	100 μg/m ³ N	9
	1 έτος	50 μg/m ³ N	δεν εφαρμόζεται
O ₃	8 ώρες	160 μg/m ³ N	9
NO ₂	1 ώρα	200 μg/m ³ N	18
	1 έτος	40 μg/m ³ N	δεν εφαρμόζεται

9.1.5 ΒΕΡΟΛΙΝΟ, ΓΕΡΜΑΝΙΑ

Η Γερμανία βρίσκεται στην κεντρική Ευρώπη, βρέχεται από την Βόρεια και Βαλτική θάλασσα, ενώ συνορεύει με την Πολωνία, την Ολλανδία, την Τσεχία, την Αυστρία, την Ελβετία, την Γαλλία και το Βέλγιο. Συγκεκριμένα το Βερολίνο είναι η πρωτεύουσα και η μεγαλύτερη σε πληθυσμό πόλη της Γερμανίας. Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Koppen το Βερολίνο έχει ήπιο ηπειρωτικό κλίμα με κρύους και ξηρούς χειμώνες και υγρά και ζεστά καλοκαίρια. Ο πιο θερμός μήνας είναι ο Ιούλιος και ο πιο ψυχρός ο Ιανουάριος. Οι χιονοπτώσεις είναι συχνό φαινόμενο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ πιθανότητα βροχής υπάρχει όλο το χρόνο. Ψυχρές μάζες και ρεύματα προερχόμενες από την Σιβηρία και τον Ατλαντικό επηρεάζουν σημαντικά το κλίμα της πόλης.

Στο Βερολίνο υπάρχουν αρκετά πάρκα, δάση, λίμνες, ποτάμια ενώ η πόλη βρίσκεται 34 μ πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αν και το Βερολίνο διαθέτει ένα πολύπλοκο δίκτυο δημόσιων συγκοινωνιών συμπεριλαμβανομένων της εναέριας και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, παρόλα αυτά γίνεται εκτεταμένη χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων. Ανέκαθεν το Βερολίνο θεωρούνται μια από τις πιο ατμοσφαιρικά ρυπασμένες πόλεις στο κόσμο. Λόγω της γεωγραφικής του θέσης η ατμόσφαιρα του Βερολίνου επιβαρύνεται από ποικιλία σωματιδιακών και αέριων εκπομπών ρύπων από τις γύρω χώρες (διασυνοριακή ρύπανση), καθώς επίσης και από την αέρια ρύπανση που η ίδια προκαλεί μέσω βιομηχανιών, σταθμών παραγωγής ενέργειας κ.ά..

Σύμφωνα με τα πρότυπα της Ε.Ε. τα όρια για τις ημερήσιες τιμές για τα PM_{10} είναι $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, για το NO_2 είναι $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και για το O_3 είναι $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και υπολογίζονται με την βαρυμετρική μέθοδο.[6],[31],[46],[64],[69],[72],[47]

9.1.6 ΣΑΝΤΙΑΓΚΟ, ΧΙΛΗ

Η Χιλή ανήκει στη Λατινική Αμερική και είναι μία από τις πιο ανεπτυγμένες χώρες στο νότιο ημισφαίριο. Πρωτεύουσα της είναι το Σαντιάγκο, το μεγαλύτερο και πιο πυκνοκατοικημένο μέρος της Χιλής.

Η πρωτεύουσα βρίσκεται σε μία μεγάλη κοιλάδα με εύφορες εκτάσεις που περιβάλλονται από βουνά, τις Άνδεις και το Cordillera de la Costa. Το υψηλότερο σημείο του Σαντιάγκο βρίσκεται μέχρι 650 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και η πόλη έχει διαφορετική υψομετρική διαφορά, από 400 m στα δυτικά μέχρι 700m στα ανατολικά. Η γεωγραφική θέση του Σαντιάγκο επηρεάζει πολύ το κλίμα καθώς η παράκτια οροσειρά εμποδίζει την εξάπλωση της θαλάσσιας επιρροής, με αποτέλεσμα τη διατήρηση χαμηλών επίπεδων υγρασίας.

Στο Σαντιάγκο το κλίμα είναι μεσογειακό. Το καλοκαίρι στην Χιλή διαρκεί από το μήνα Νοέμβριο μέχρι και το Μάρτιο, κατά τη διάρκεια των οποίων πνέουν συχνοί άνεμοι. Από την άλλη το χειμώνα από το Μάιο μέχρι τον Αύγουστο επικρατούν συνθήκες άπνοιας. Μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου καταγράφονται οι περισσότερες βροχές.

Το Σαντιάγκο διαθέτει τη μεγαλύτερη βιομηχανία της χώρας καθώς παράγει ρούχα, παπούτσια, συσκευές, χημικά προϊόντα, κ.ά. Επίσης, διαθέτει τεράστιο πλέγμα σιδηροδρομικών γραμμών και αρκετά αεροδρόμια. Η ρύπανση του αέρα είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα της χώρας. Οι βιομηχανίες, οι εκπομπές των

αυτοκίνητων και η εκτεταμένη χρήση καυσόξυλων για θέρμανση είναι οι πιο σημαντικές αιτίες που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα. Ειδικότερα, κατά την διάρκεια του χειμώνα που επικρατούν συνθήκες άπνοιας και χαμηλά επίπεδα βροχής, η ατμόσφαιρα της πόλης του Σαντιάγκο γίνεται αφόρητη καθώς τα υψηλά βουνά εμποδίζουν την διασπορά των ρύπων με αποτέλεσμα να παγιδεύονται στην λεκάνη του Σαντιάγκο. Αντίστοιχα, τα καλοκαίρια εκδηλώνονται συχνά δασικές πυρκαγιές. Η χώρα για να αντιμετωπίσει την κατάσταση συμφώνησε να συμμετέχει σε ένα πρόγραμμα αντικατάστασης των υπαρχόντων θερμαντήρων με θερμαντήρες μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης με χρήση φυσικού αερίου.[10],[12],[14],[66],[80]

Η Χιλή έχει ορίσει δικές της οδηγίες σχετικά με τα όρια των ατμοσφαιρικών ρύπων. Τα όρια αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 9.3.

Πίνακας 9.3: Οριακές τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃ στην Χιλή [35]

ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ
PM ₁₀	24 ώρες	150 μg/m ³ N
	1 έτος	50 μg/m ³ N
O ₃	8 ώρες	120 μg/m ³ N
NO ₂	1 ώρα	400 μg/m ³ N
	1 έτος	100 μg/m ³ N

9.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Πρόκειται για προκατασκευασμένους μεταλλικούς οικίσκους με όργανα, τα οποία συλλέγουν δείγματα ατμοσφαιρικού αέρα σε τακτά χρονικά διαστήματα για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι σταθμοί παρακολούθησης μπορεί να είναι τοποθετημένοι σε περιοχές με αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση, σε αστικές ή βιομηχανικές περιοχές καθώς και σε πάρκα. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των ρύπων στην ατμόσφαιρα, όπως των ρύπων PM₁₀, NO₂ και O₃. Πιο συγκεκριμένα, οι πλέον σύγχρονοι σταθμοί παρακολούθησης στέλνουν τα δεδομένα των μετρήσεων εντός μερικών λεπτών σε μια κεντρική μονάδα ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμα στους πολίτες για το περιορισμό των μετακινήσεων, όταν οι

ρύποι βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα αλλά και στους επιστήμονες που τα παρακολουθούν για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι μετρήσεις αυτές αφορούν συγκεκριμένες ώρες και τοποθεσίες και εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, την τοπογραφία, την απόσταση του σταθμού μέτρησης από την πηγή εκπομπής καθώς και την κατανομή των πηγών εκπομπών. Πιο συγκεκριμένα για το τελευταίο, στην Κεντρική Ευρώπη η πυκνότητα των εκπομπών είναι υψηλή.

Η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς ο ρυπασμένος αέρας είναι επιβαρυντικός για την υγεία του ανθρώπου και ιδιαίτερα για τις ευπαθείς ομάδες και το περιβάλλον. [5]

9.3 ΟΡΓΑΝΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Κατά τη διάρκεια της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν βοηθητικά προγράμματα για την εύρεση και κατανόηση των δεδομένων που μετρήθηκαν στα έξι αστικά κέντρα του πλανήτη. Με το πρόγραμμα W.A.Q.I. συλλέχτηκαν οι μετρήσεις της ποιότητας του αέρα σε πραγματικό χρόνο για τις επιθυμητές περιοχές για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το πρόγραμμα HYSPLIT για μια πιο ξεκάθαρη εικόνα της πορείας των αέριων μαζών καθώς και το πρόγραμμα SKIRON που μαρτυρά την κίνηση των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων μαζών στην ατμόσφαιρα.

9.3.1 Πρόγραμμα W.A.Q.I. (Real – Time Air Quality Index)

Το πρόγραμμα W.A.Q.I. (Real – Time Air Quality Index) έχει σε λειτουργία περισσότερους από 30.000 σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα σε όλο τον κόσμο και είναι βασισμένο στο πρότυπο US EPA (USA Environmental Protection Agency, Αμερικάνικη Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας). Συγκεκριμένα, ο δείκτης ποιότητας αέρα ή A.Q.I. (Air Quality Index) μετράει σε πραγματικό χρόνο τις ημερήσιες συγκεντρώσεις για τους ρύπους PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO και O₃. Με αυτό τον τρόπο κρίνει πόσο καθαρή ή ρυπασμένη είναι η ατμόσφαιρα. Το A.Q.I. υποδεικνύει σε μια κλίμακα από το 0 ως 300+ τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης για μια περιοχή. Όλες οι μετρήσεις βασίζονται σε ωριαίες αναγνώσεις σχετικά με την ποιότητα του αέρα απ όλους τους σταθμούς για τα τελευταία 7 χρόνια. Οι μετρήσεις αυτές είναι επίσημα δεδομένα από

AQI	Air Pollution Level	Health Implications	Cautionary Statement (for PM _{2.5})
0 - 50	Good	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk	None
51 -100	Moderate	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
101-150	Unhealthy for Sensitive Groups	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
151-200	Unhealthy	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid prolonged outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit prolonged outdoor exertion
201-300	Very Unhealthy	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion.
300+	Hazardous	Health alert: everyone may experience more serious health effects	Everyone should avoid all outdoor exertion

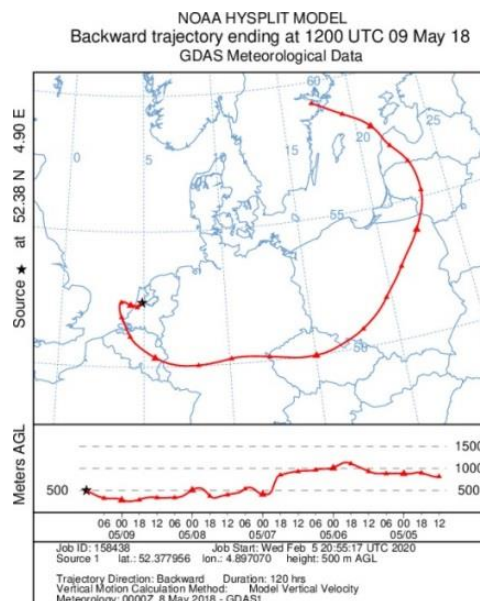
Όσο πιο υψηλό είναι το A.Q.I. τόσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τόσο μεγαλύτερη ανησυχία υπάρχει για την δημόσια υγεία. Για παράδειγμα, ένα A.Q.I. κάτω από 50 σημαίνει ότι η ποιότητα του αέρα κυμαίνεται σε φυσιολογικά επίπεδα. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός A.Q.I., τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία και χρειάζεται να ληφθούν προφυλάξεις. Για τιμές που κυμαίνονται από 51-100 το επίπεδο ατμοσφαιρικής ρύπανσης κρίνεται μέτριο καθώς μπορεί να επηρεάσει τις ευαίσθητες κοινωνικές ομάδες και για αυτό προτείνεται ο περιορισμός μετακινήσεων τους σε εξωτερικούς χώρους. Οι τιμές A.Q.I. κάτω από 100 θεωρούνται γενικά ως ικανοποιητικές. Οι συγκεντρώσεις από 151-200 μπορεί επηρεάσουν την μεγαλύτερη μερίδα ανθρώπων, ενώ οι ευπαθείς ομάδες ενδέχεται να παρουσιάσουν πιο σοβαρά προβλήματα στην υγεία τους. Αντίστοιχα, η κατάσταση της ατμόσφαιρας κρίνεται από πολύ ανθυγιεινή μέχρι επικίνδυνη σε τιμές υψηλότερες από 201 και συνιστάται ο περιορισμός κάθε εξωτερικής άσκησης. [59]

9.3.2 HYSPLIT (Backward Trajectories Analysis) ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΙΣΘΟΠΟΡΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

Το HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) μέσω της ιστοσελίδας ARL (Air Resources Laboratory) είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των οπισθοτροχιών (backward trajectories analysis) του αέρα, δηλαδή, των πορειών που έκαναν οι αέριες μάζες από μία εστία εκπομπής ρύπων μέχρι να φθάσουν στην τοποθεσία μελέτης. Στην ουσία μελετάται η συσχέτιση των συγκεντρώσεων των ρύπων της ατμόσφαιρας με την προέλευση των αέριων μαζών. Οι πορείες αυτές εκτιμούνται ως η μέση κίνηση μιας αέριας μάζας. Στην ουσία το HYSPLIT παρουσιάζει προσομοιώσεις για μακράς διάρκειας μεταφορά, διάχυση και απόθεση ρύπων.

Για το υπολογισμό μιας οπισθοτροχιάς είναι απαραίτητη η εισαγωγή δεδομένων εισόδου. Για μια συγκεκριμένη ημερομηνία το HYSPLIT χρησιμοποιεί τα μετεωρολογικά δεδομένα FNL (Final Run) της υπό μελέτη περιοχής μέσω της βάσης δεδομένων GDAS (Global Data Assimilation System) τα οποία αναλύει για 6 ώρες. Έπειτα ακολουθεί η εισαγωγή των συντεταγμένων ή του κωδικού στην περίπτωση καταχωρημένου κράτους της επιθυμητής περιοχής. Αφού επιλεγεί το *backward*, εισάγουμε την ημερομηνία και τη ώρα, το χρόνο run time που θέλουμε να υπολογιστεί η οπισθοτροχιά της αέριας μάζας καθώς και το ύψος που θέλουμε να υπολογίσει. Το αποτέλεσμα είναι μια εναέρια φωτογραφία της πορείας που διέσχισε η αέρια μάζα μέχρι να φτάσει στην περιοχή μελέτης και ένα διάγραμμα της κίνησης τους στα ύψη που κινήθηκε.

Η μελέτη της πορείας των αέριων μαζών παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς μέσα από αυτές γίνεται εκτίμηση της μεταφοράς των αιωρούμενων σωματιδίων π.χ. από την έρημο Σαχάρα προς διάφορες κατευθύνσεις καθώς επίσης και η επίδραση του κλίματος στην ρύπανση μιας περιοχής.[28],[93]

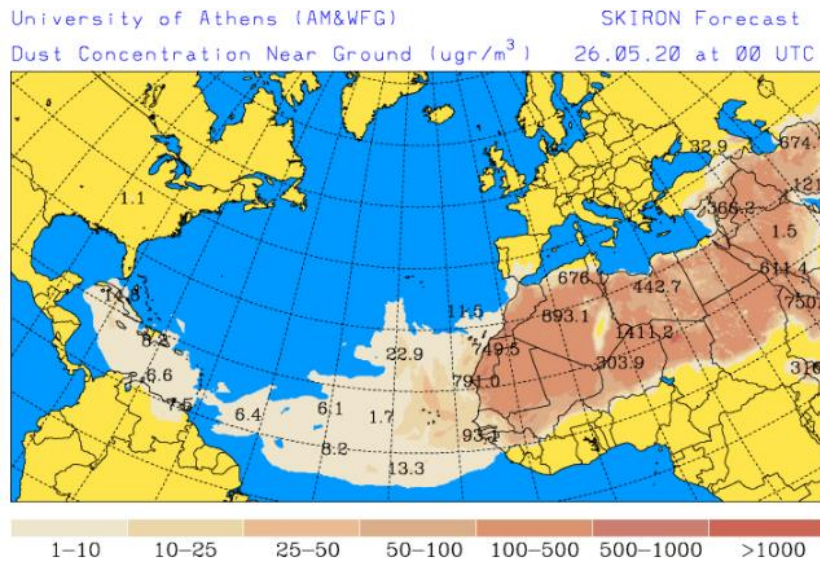


Εικόνα 9.3:Απεικόνιση πορείας αέριων μαζών 5 ημερών μέχρι να καταλήξουν στο Άμστερνταμ στις 9/5/2018

9.3.3 SKIRONMODEL

Το SKIRON είναι ένα ολοκληρωμένο προγνωστικό εργαλείο παγκόσμιας εμβέλειας, το οποίο βασίζεται στο μοντέλο Eta/NCEP και αποτελεί σημαντικό

πρόγραμμα για την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Μέσω Ουλεριανών εξισώσεων προκύπτουν προβλέψεις που αφορούν στην συγκέντρωση της σκόνης κοντά στο έδαφος, το συνολικό φορτίο της και εναπόθεσης της από το βόρειο τμήμα της Αφρικής προς τα βορειοανατολικά και βορειοδυτικά πέρα από τον Ατλαντικό και μέχρι νότια των ΗΠΑ. Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα προσφέρει πενθήμερη πρόγνωση της κατάστασης της ατμόσφαιρας και της μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα και τη στεπική και ερημική χλωρίδα γης Σάχελ κατευθυνόμενη προς τις ευρωπαϊκές χώρες και τη περιοχή της Μεσογείου.[49],[93]



Εικόνα 9.4: Προγνωστική φωτογραφία SKIRON μεταφοράς σκόνης από την Αφρική μέχρι τα νησιά της Καραϊβικής στις 26/5/2020

10^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Παρακολούθηση Ρύπων

Οι μέθοδοι μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των επιπέδων των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι:

10.1 Μέθοδοι Καταγραφής Δεδομένων

10.1.1 Για την παρακολούθηση των εισπνεύσιμων αιωρούμενων

σωματιδίων PM₁₀:

A) Βαρυμετρική μέθοδος με δειγματολήπτη μεγάλου και μικρού όγκου εξοπλισμένο με κεφαλή PM₁₀

Η λειτουργία του στηρίζεται στη σταθμική μέθοδο σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN12341. Πρόκειται για δειγματολήπτη που διαθέτει ενσωματωμένη αντλία σταθερής ροής 2,3 m³/h, ο οποίος συλλέγει σωματίδια αέρα για 24 ώρες, σε διαφορετικά φίλτρα με ενσωματωμένο έναν ελεγκτή που ρυθμίζει τη ροή. Στην συνέχεια τα σωματίδια ταξινομούνται με βάση το μέγεθος τους και αφήνονται σε ένα φίλτρο συλλογής. Έπειτα στην οθόνη του οργάνου παρουσιάζεται η τιμή του όγκου αέρα που μετρήθηκε και η διορθωμένη τιμή του. Για τα PM₁₀ το πρότυπο εφαρμόζεται από 1 μg/m³ (όριο ανίχνευσης) μέχρι και τα 150 μg/m³. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα από χαλαζία, ίνες υάλου, φίλτρα TEFLON ή φίλτρα κυτταρίνης.[95],[96]

B) Μέθοδος Απορρόφησης β-ακτινοβολίας (Beta Ray Attenuation Method)

Είναι γνωστό ότι όταν ακτίνες βήτα έρθουν σε επαφή με ένα υλικό τότε απορροφούνται, ανακλώνται ή το διαπερνούν απευθείας. Η ένταση τους εξαρτάται από το ηλεκτρική πυκνότητα του υλικού αυτού.

Το σύστημα μέτρησης της εξασθένησης της βήτα ακτινοβολίας εξαρτάται από τη πηγή ακτινοβολίας beta και τον ανιχνευτή. Η πηγή βήτα επιλέγεται με το κριτήριο να έχει υψηλό επίπεδο ενέργειας, ώστε να συλλεχθούν τα σωματίδια στην φιλτροταινία. Σημαντικό είναι ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές μετρήσεις για αρκετό χρονικό διάστημα. Το Carbon-14 είναι η πηγή, η οποία ξεχωρίζει για την ασφάλεια, το υψηλό επίπεδο ενέργειας και το χρόνο ζωής της. Όσον αφορά στο μετρητή, συνήθως χρησιμοποιείται ο μετρητής Geiger Muller.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία BAM 1022 πραγματοποιεί συνεχόμενες μετρήσεις συγκέντρωσης σωματιδίων στο αέρα συλλέγοντας τα στην φιλτροταινία για ένα λεπτό. Ουσιαστικά, μετράει την εξασθένιση των ακτινών βήτα με παράλληλη δειγματοληψία σωματιδίων. Μετρώντας τις ακτίνες β βελτιώνεται η ανάλυση του χρόνου και η ευαισθησία. Σημαντικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μηχανήματος είναι η διατήρηση των μετρήσεων σε σταθερή θερμοκρασία ελαχιστοποιώντας τις πιθανότητες σφάλματος λόγω υγρασίας στο δείγμα είτε λόγω παρουσίας ημιπτητικού σωματιδιακού υλικού. Επίσης οι εξαιρετικά ακριβείς μετρήσεις αυξάνουν την αξιοπιστία και μειώνουν το κόστος.

Το όργανο με λειτουργία BAM 1020 καταγράφει αυτόματα τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων στο αέρα, μετρώντας τις ακτίνες β από έναν ανιχνευτή για να προσδιοριστεί η μηδενική ένδειξη. Στην συνέχεια λαμβάνεται ένα δείγμα εξωτερικού αέρα μέσω της ταινίας φίλτρου, την οποία καλύπτει σταδιακά με σκόνη περιβάλλοντος. Τέλος, μετά την τοποθέτηση αυτού του σημείου της ταινίας μεταξύ του ανιχνευτή και της πηγής βήτα ακτινοβολίας προκαλείται εξασθένιση των ακτινών βήτα. [33],[34]

10.1.2 Για την παρακολούθηση του O₃:

A) Χημειοφωταύγεια με αιθυλένιο

Η μέθοδος για τον υπολογισμό του O₃ είναι χημειοφωταύγεια με αιθυλένιο. Κατά την αντίδραση του όζοντος με αιθυλένιο προκύπτουν διεγερμένα προϊόντα, τα οποία καθώς αποδιεγείρονται φθορίζουν και εκπέμπουν ακτινοβολία (φως). Με βάση αυτή την εκπομπή λειτουργεί η συγκεκριμένη μέθοδος μέτρησης του όζοντος. Το όργανο αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

- Θάλαμο αντίδρασης
- Φωτοπολλαπλασιαστή
- Γραμμή εισόδου του αέρα της ατμόσφαιρας
- Μόνιμη πηγή αιθυλενίου
- Ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργασίας των ενδείξεων

Ο ρυθμός που ακτινοβολείται η ενέργεια από το φωτοπολλαπλασιαστή εξαρτάται είτε από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και του αιθυλενίου είτε από το ρυθμό που παράγονται τα διεγερμένα προϊόντα στο θάλαμο αντίδρασης.

Στην περίπτωση που το αιθυλένιο βρίσκεται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση από το όζον, τότε το φως που εκπέμπεται είναι ανάλογο μόνο του όζοντος, αφού η αντίδραση χαρακτηρίζεται μηδενικής τάξης ως προς τη συγκέντρωση του αιθυλενίου.

Κατά τη μέτρηση δείγμα καθαρού αέρα αναμειγνύεται με όζον από μία γεννήτρια όζοντος. Έτσι μέσω της διαδικασίας της φωτομετρίας υπεριώδους καθορίζεται η συγκέντρωση του όζοντος, η οποία θεωρείται πλέον ως κατάσταση αναφοράς. Στην συνέχεια βαθμονομείται η απόκριση του αναλυτή όζοντος αφού πρώτα συγκριθεί με την κατάσταση αναφοράς. Από τη δημιουργία πολλών μειγμάτων με γνωστή συγκέντρωση όζοντος και τη μέτρηση αυτών προκύπτει μια λεπτομερής καμπύλη βαθμονόμησης του οργάνου, η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του όζοντος σε άγνωστα δείγματα. [98]

B) Φωτομετρία υπεριώδους απορρόφησης

Για τη μέτρηση του όζοντος με την μέθοδο της υπεριώδους φωτομετρίας πραγματοποιείται πρώτα βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπο δείγμα αέρα, στο οποίο το όζον έχει μηδενική τιμή. Έπειτα το όργανο συλλέγει δείγμα με το οποίο μετράει την υπεριώδη UV ακτινοβολία που περιέχει επιφανειακό όζον και την ένταση I που εξέρχεται. [98]

10.1.3 Για την παρακολούθηση του NO₂:

A) Χημειοφωταύγεια

Η μέθοδος της χημειοφωταύγειας αποτελεί ένα συνηθισμένο τρόπο μέτρησης του NO₂ συνήθως για τις αστικές περιοχές. Κατά τη μέθοδο αυτή εκπέμπεται ακτινοβολία, ενώ πραγματοποιείται η χημική αντίδραση. Ουσιαστικά το διοξείδιο του αζώτου μετατρέπεται σε μονοξείδιο του αζώτου μέσω ενός θερμαινόμενου μετατροπέα και υπολογίζει τη διαφορά που προκύπτει από το άθροισμα του NO₂ και NO αν δεν υπήρχε ο μετατροπέας. [87],[98]

B) Μέθοδος Griess- Saltzman

Πρόκειται για μία φασματοφωτομετρική μέθοδο για την μέτρηση του NO και NO₂ στην ατμόσφαιρα. Αποτελείται από ένα τροποποιημένο αντιδραστήριο, το οποίο περιέχει 0,5% σουλφανιλικό οξύ και 50 ppm υδροχλωρική αιθυλενοδιαμίνη σε 50%

όξινο οξύ. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή κόκκινου χρώματος σε διάστημα 15 λεπτά, το οποίο μετράται φασματοφωτομετρικά. στα 550 nm.[42],[43]

10.2 OPERATIONAL PRIORITY SUBSTANCES (OPS)

Πρόκειται για ένα μοντέλο μεταφοράς ρύπων στην ατμόσφαιρα για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων και της εναπόθεσης τους σε συνδυασμό με μετεωρολογικά δεδομένα. Η χρονική περίοδος υπολογισμού κυμαίνεται από 1 μήνα μέχρι 10 χρόνια. Απαραίτητη είναι η εισαγωγή δεδομένων 6 ωρών που αφορούν τη θερμοκρασία, την ακτινοβολία, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται από τις Κάτω Χώρες για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης. [32]

10.3 CALMET/CALPUFF

Πρόκειται για ένα προηγμένο σύστημα μοντελοποίησης και ποιότητας αέρα μη σταθερής κατάστασης, το οποίο χρησιμοποιείται στην Πολωνία για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης. Το CALMET/CALPUFF έχει οριστεί από τον Οργανισμό Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) για την εκτίμηση της μεταφοράς των ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις και οι επιπτώσεις που οι τελευταίοι προκαλούν. Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της στασιμότητας και της συσσώρευσης των ρύπων, της μεταφοράς μεγάλης εμβέλειας, και της αξιολόγησης της ορατότητας που είναι πέρα από τις δυνατότητες των μοντέλων σταθερής κατάστασης. Το πρόγραμμα CALMET είναι ένα διαγνωστικό μετεωρολογικό μοντέλο που παράγει τρισδιάστατα πεδία ανέμου, ενώ το CALPUFF είναι ένα μοντέλο διασποράς των ρύπων (Langrangian Gaussian Puff). [21]

10.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Αρχικά για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα W.A.Q.I. (Real-Time Air Quality Index) για κάθε προαναφερθέν αστικό κέντρο. Τα δεδομένα αποτελούν μέσες ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων για κάθε ρύπο. Για κάθε μία από τις έξι πόλεις υπήρχαν ελλείψεις δεδομένων κάποιες μέρες κατά την διάρκεια των δύο χρόνων. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HYSPLIT (Hybrid

Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) για τον υπολογισμό των οπισθοτροχιών τις ημέρες που παρουσίαζαν ασυνήθιστα υψηλή τιμή ατμοσφαιρικής ρύπανσης σύμφωνα με τα δεδομένα του W.A.Q.I..

Επειδή μας ενδιέφεραν συγκεκριμένες μέρες επιλέχθηκε η βάση δεδομένων GDAS (1degree,global,2006-present) και έπειτα έγινε αναζήτηση των συντεταγμένων (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) της κάθε πόλης μέσω του Google Earth με βάση το μεσημβρινό του Greenwich. Κρίθηκε απαραίτητη η χρήση της επιλογή *backward* καθότι, η γνώση της προέλευσης των αέριων μαζών ήταν ζωτικής σημασίας. Επακολούθησε η εισαγωγή της ημερομηνίας, της ώρας και του χρόνου (runtime) για τον υπολογισμό της πορείας. Στη παρούσα εργασία, σημείο εκκίνησης του HYSPLIT ορίστηκε η 12 ώρα πμ. και υπολογίστηκε συνεχόμενα για 120 ώρες, δηλαδή για πέντε ημέρες.

Σε δεύτερο στάδιο υπολογίστηκαν οι μηνιαίοι και ετήσιοι μέσοι όροι και δημιουργήθηκαν γραφήματα για την διευκόλυνση της εξαγωγής συμπερασμάτων. Επίσης, μελετήθηκαν η θερινή και η ψυχρή περίοδος κάθε χώρας, του βορείου και νοτίου ημισφαιρίου. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση με τα θεσμοθετημένα όρια κάθε ρύπου για κάθε πόλη που μελετήθηκε.

11ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

11.1 Γκντάνσκ, Πολωνία

Ο σταθμός παρακολούθησής της βρίσκεται στην περιοχή Wrzeszcz, στο κέντρο του Γκντάνσκ. Είναι η πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της πόλης. Σήμερα είναι από τις πιο πολυσύχναστες περιοχές καθώς λόγω της θέσης της διαθέτει πλήθος καταστημάτων, καφέ και πάρκα. Ακόμα στην περιοχή υπάρχουν γραμμές του τρένου καθώς και υπόγεια σιδηροδρομική γραμμή και κεντρικοί δρόμοι που τους διασχίζουν καθημερινά πολλά οχήματα. Οι συνολικές ελλείψεις δεδομένων κατά τα δύο χρόνια μελέτης στο συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί στο 4% για κάθε ρύπο.[79]



Εικόνα 11.1: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην περιοχή Wrzeszcz στην πόλη του Γκντάνσκ

Πίνακας 11.1: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

PM ₁₀ (μg/m ³)	2018	2019
Average	21,7	20
Stdev	11,5	10,6

Όπως μπορούμε να δούμε, δεν σημειώθηκε σημαντική διαφορά στις μέσες τιμές των PM₁₀ μεταξύ των 2 χρόνων, όπου καταγράφηκαν συγκεντρώσεις $21,7 \pm 11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2018 και $20 \pm 10,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 11.2: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

NO ₂ (μg/m ³)	2018	2019
Average	8,3	7,3
Stdev	4,7	3,8

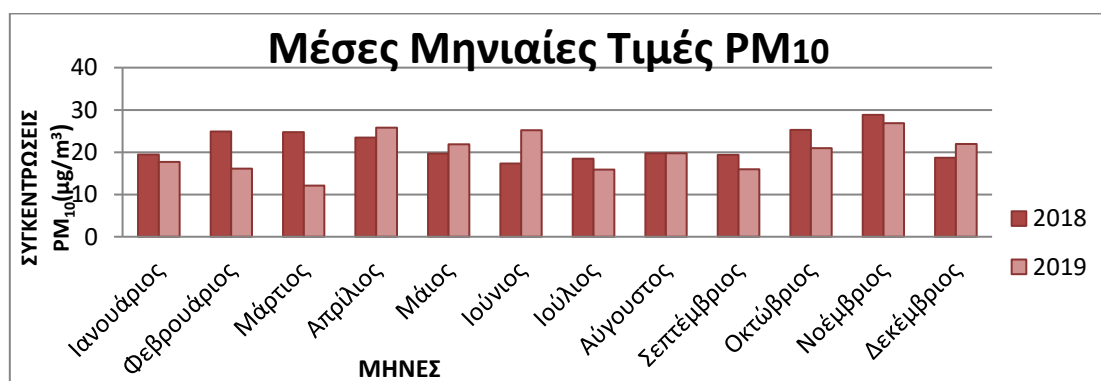
Αντίστοιχα, και για το NO₂, το έτος 2018 σημειώθηκε μέση τιμή $8,3 \pm 4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και τον επόμενο χρόνο $7,3 \pm 3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 11.3: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

O ₃ (μg/m ³)	2018	2019
Average	25,2	26,4
Stdev	10,4	9,6

Για το O₃, το έτος 2018 σημειώθηκε Μέση Τιμή Average $25,2 \pm 10,4$ και $26,4 \pm 9,6$ το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

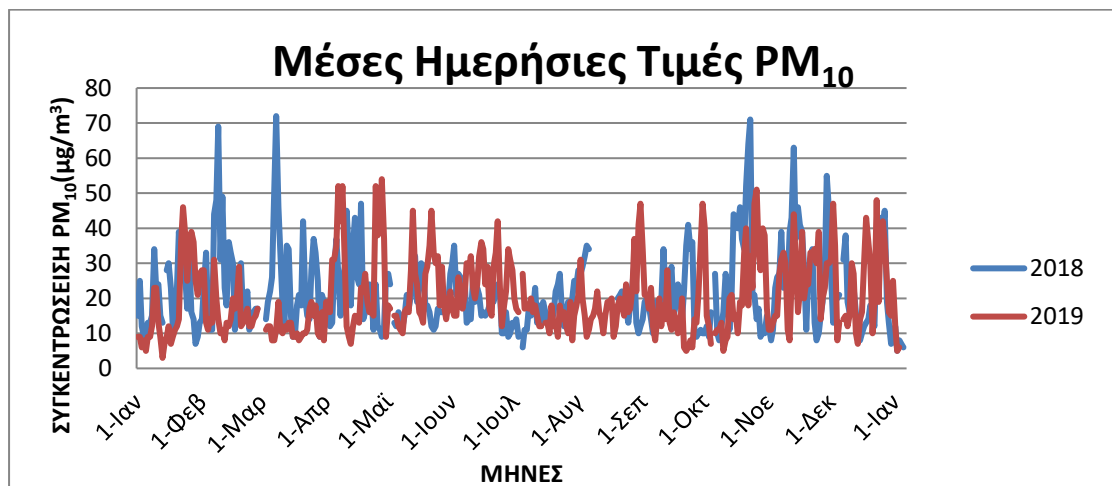
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές PM₁₀



Γράφημα 11.1: Μέσες Μηνιαίες Τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018-2019 στο Γκντάνσκ

Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων και ημερήσιων τιμών, διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των PM_{10} μετρήθηκαν το μήνα Νοέμβριο και τα 2 χρόνια (2018: $28.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019: $26.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 2) Οι χαμηλότερες τιμές συγκεντρώσεις PM_{10} μετρήθηκαν τους μήνες Ιούνιο ($17,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2018 και το Μάρτιο ($12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2019.
- 3) Η μέση ημερήσια τιμή για τα PM_{10} είναι $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές ανά έτος. Με βάση αυτό το όριο μετρήθηκαν 8 υπερβάσεις το 2018 και 5 υπερβάσεις το 2019.



Γράφημα 11. 2: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

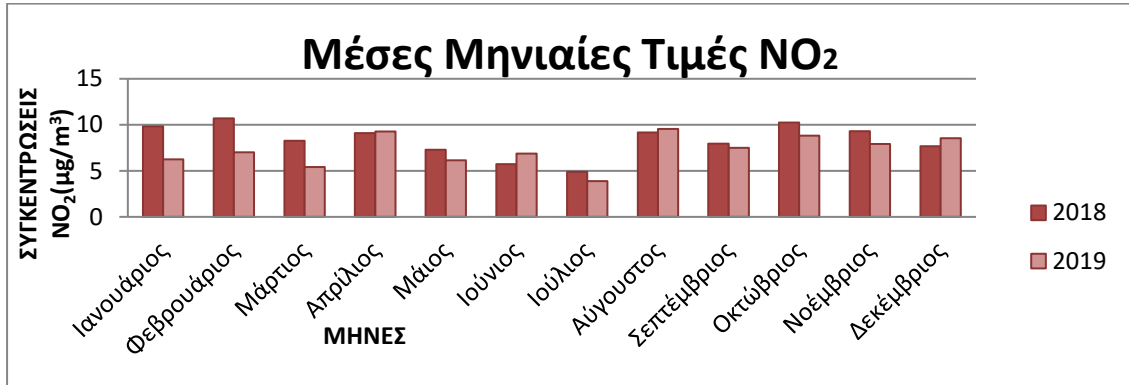
4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Γκντάνσκ στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018- 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε συγκέντρωση PM_{10} $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα από 1 Απρίλη 2019 - 30 Σεπτέμβρη 2019 μετρήθηκε συγκέντρωση $20,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει μια μέση αύξηση μόνο κατά $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019, για τα PM_{10} , στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτώβρη 2018 - 31 Μάρτη 2019 και 1 Οκτώβρη 2019- 31 Μάρτη 2020 παρατηρήθηκε αύξηση περίπου $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ από το 2018 στο 2019. (2018: $19,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και 2019: $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

6) Συγκρίνοντας τη θερινή και ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και

19,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα για το έτος 2018. Για το έτος 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 20,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

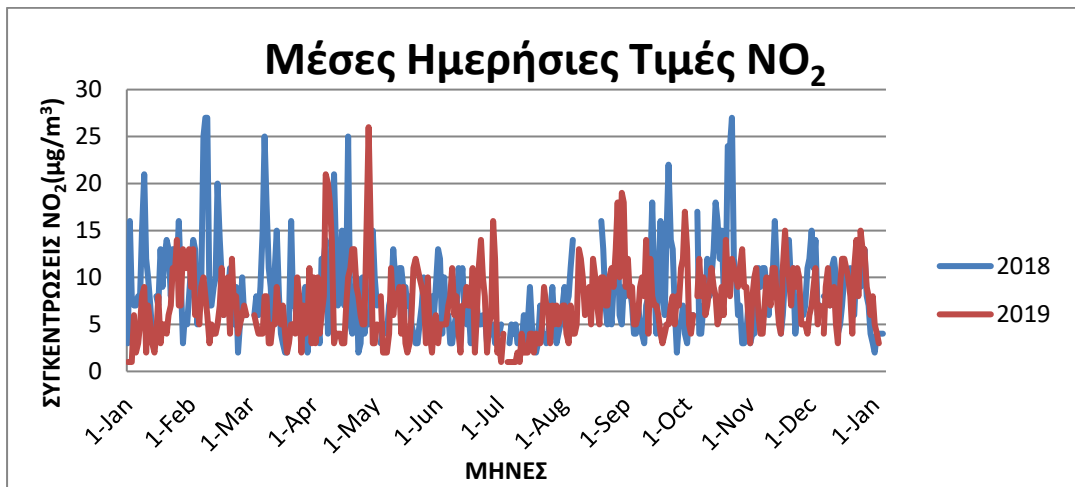
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές NO₂:



Γράφημα 11.3: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Από τα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων και ημερήσιων τιμών φαίνεται ότι:

- 1) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους μήνες Φεβρουάριο (10,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Οκτώβριο (10,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2018 και τους μήνες Απρίλιο (9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Αύγουστο (9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2019.
- 2) Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις NO₂ μετρήθηκαν το μήνα Ιούλιο και τα δύο χρόνια (2018: 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019: 3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Γράφημα 11. 4: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

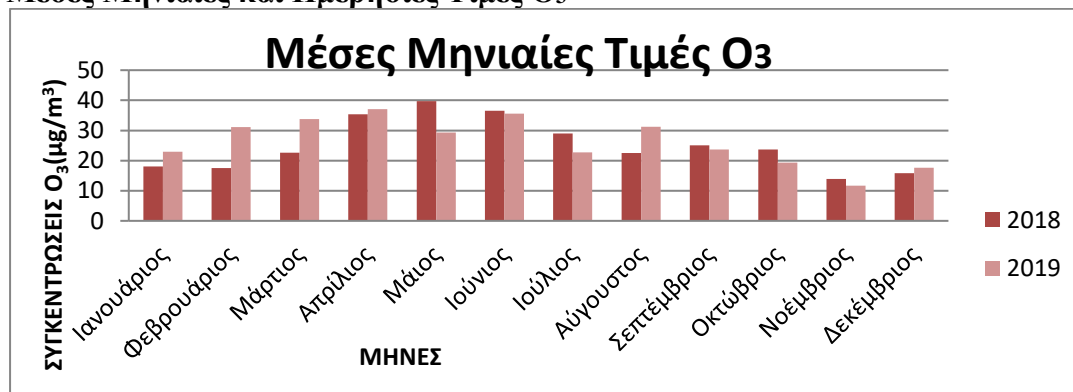
3) Με βάση την μέση ετήσια τιμή τα $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση κατά τη διάρκεια των ετών 2018 και 2019.

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Γκντάνσκ κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε συγκέντρωση NO_2 $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα από 1 Απρίλη 2019 έως 30 Σεπτέμβρη 2019 μετρήθηκε συγκέντρωση $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει μια σχεδόν μηδενική διαφορά.

5) Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του NO_2 τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019, κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτώβρη 2018 - 31 Μάρτη 2019 και 1 Οκτώβρη 2019 - 31 Μάρτη 2020 παρατηρήθηκε μια ελάχιστη αύξηση (2018: $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και 2019: $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

6) Συγκρίνοντας τη θερινή και την ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα για το έτος 2018. Για το έτος 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές O_3

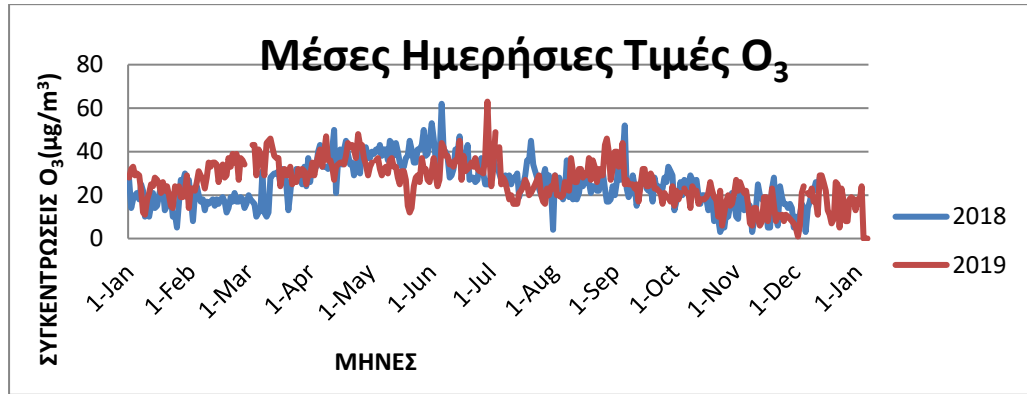


Γράφημα 11.5: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

Από τα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων και ημερήσιων συγκεντρώσεων του O_3 διαπιστώθηκε ότι:

1) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το μήνα Μάιο ($39,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2018 και τον Απρίλιο ($37,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2019.

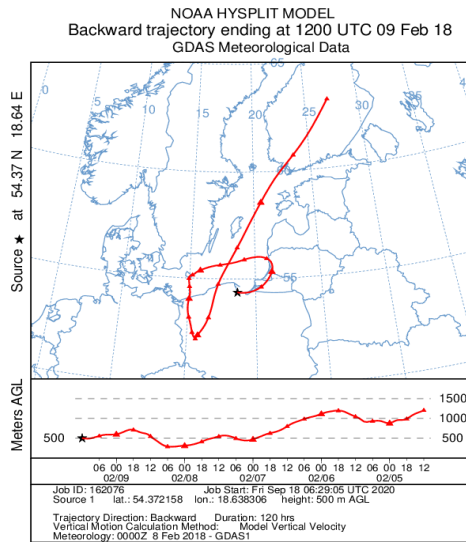
- 2) Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις O_3 παρατηρήθηκαν το μήνα Νοέμβριο και τα δύο έτη με συγκεντρώσεις $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.
- 3) Το ημερήσιο όριο για το O_3 αναφέρεται σε 8ωρη μέτρηση και είναι $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Δεν μετρήθηκε καμιά υπέρβαση κατά το χρονικό διάστημα των 2 χρόνων.



Γράφημα 11.6: Μέσες Ημερήσιες Τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Γκντάνσκ

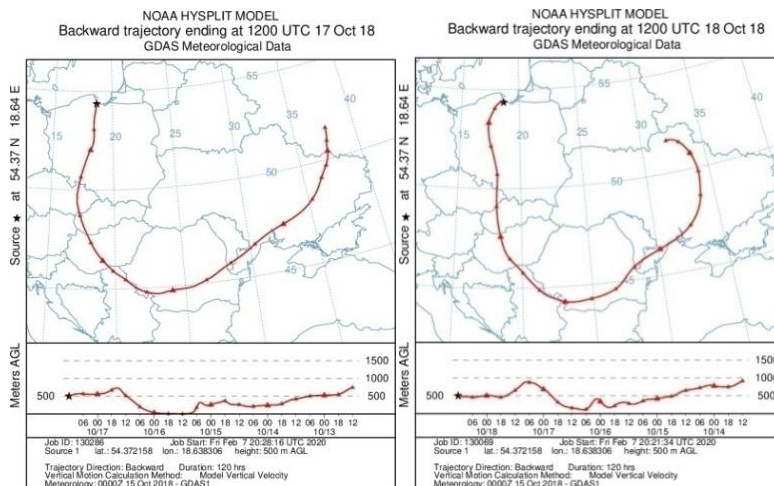
- 4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Γκντάνσκ κατά το χρονικό διάστημα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε συγκέντρωση O_3 $32,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα από 1 Απρίλη 2019 έως 30 Σεπτέμβρη 2019 μετρήθηκε συγκέντρωση $30,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Από την παραπάνω σύγκριση προκύπτει μείωση $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 5) Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του O_3 κατά τους χειμερινούς μήνες του έτους 2018 και του έτους 2019 και κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτώβρη 2018 - 31 Μάρτη 2019 και 1 Οκτώβρη 2019 - 31 Μάρτη 2020 παρατηρήθηκε μείωση $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με συγκεντρώσεις $23,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.
- 6) Όσον αφορά στους συντελεστές συσχέτισης PEARSON στην πόλη του Γκντάνσκ το έτος 2018 παρατηρήθηκε καλή συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων PM_{10} και NO_2 με τιμή 0,72. Παράλληλα κατά το έτος 2019 παρατηρήθηκε μια σχετικά καλή συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων PM_{10} και NO_2 με τιμή 0,61.
- 7) Συγκρίνοντας τη θερινή και την ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018-30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 -31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $32,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $23,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα για το έτος 2018. Για το έτος 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019-30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 -31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $30,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Ευδοξία Λαγουδάκη



Εικόνα 11.2: Οπισθοπορεία αέριων μάζων στις 9/2/2018 στο Γκντάνσκ

Στις 9 Φεβρουαρίου 2018, ο σταθμός μέτρησης στην περιοχή του Wrzeszcz στο Γκντάνσκ μέτρησε τιμή PM₁₀ υψηλότερη από το ευρωπαϊκό θεσμοθετημένο ημερήσιο όριο των 50 μg/m³ (69 μg/m³). Από την εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η αέρια μάζα προέρχεται από βορειοανατολικά και πιο συγκεκριμένα από την χώρα της Φινλανδίας και ύψος περίπου 1.200m. Στην συνέχεια με την βοήθεια νότιων ανέμων διέσχισε κατά μήκος την Βαλτική Θάλασσα και πέρασε πάνω από κάποιες πόλεις της Πολωνίας. Με την αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου κινήθηκε βόρεια και έπειτα δυτικά προς τα παράλια της Λιθουανίας για να καταλήξει στο Γκντάνσκ. Λόγω του χαμηλού ύψους οι αέρια μάζες αναμειγνύονταν καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας τους με θαλάσσιες αέρια μάζες καθώς υπήρχε αλληλεπίδραση θάλασσας αέρα.

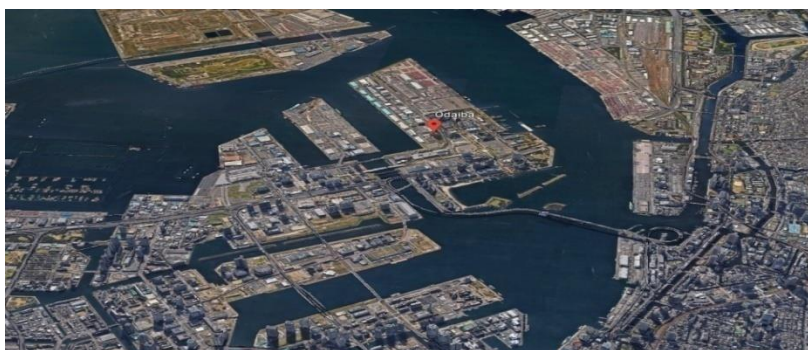


Εικόνα 11.3: Οπισθοπορεία αέριων μαζών στις 17 και 18/10/2018 στο Γκντάνσκ

Στις 17 και 18/10/2018 ο σταθμός παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής κατάστασης μέτρησε επίσης PM_{10} συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 64-71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμές υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ημερήσιο όριο των 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στις 17 Οκτωβρίου 2018 με συγκέντρωση PM_{10} 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, οι αέριες μάζες ξεκίνησαν από τη Ρωσία σε ύψος 700 m μέτρα περίπου, κατευθύνθηκαν νότια και δυτικά προς την Ουκρανία, την Μολδαβία και τη Ρουμανία. Με αλλαγή κατεύθυνσης του ανέμου διέσχισαν τη Σερβία, την Ουγγαρία, τη Σλοβακία και την Τσεχία και κατέληξαν στο Γκντάνσκ της Πολωνίας. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής οι αέριες μάζες κινήθηκαν σε αρκετά χαμηλά υψόμετρα μεταξύ 200 και 600 m περίπου. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχε σημαντική αλληλεπίδραση των αέριων μαζών με τις περιοχές, τις οποίες διέσχισαν. Αντίστοιχα στις 18 Οκτωβρίου 2018 με συγκέντρωση 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, οι αέριες μάζες ξεκίνησαν από τη Ουκρανία σε ύψος 1.000 m αρχικά κινήθηκαν νοτιοδυτικά μέχρι τη Ρουμανία (ύψος:500 m) και έπειτα βορειοδυτικά προς τη Σερβία (ύψος:300m), Ουγγαρία, Σλοβακία (ύψος: 900 m) και Τσεχία με τελικό προορισμό το Γκντάνσκ.

11.2 Τόκιο, Ιαπωνία

Ο σταθμός παρακολούθησης βρίσκεται στο τεχνητό νησί Daiba Minato, το οποίο βρίσκεται στο κόλπο του Τόκιο. Φιλοξενεί πολλά ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα και μεγάλες εταιρίες τεχνολογίας και αυτοκινήτων, ενώ απέναντι από το νησί βρίσκεται μία πολυσύχναστη γέφυρα η οποία είναι αυτοκινητόδρομος. Τρένα, λεωφορεία και πλοία συνδέουν την πρωτεύουσα με το Daiba Minato. Οι ελλείψεις δεδομένων από το συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί στο 3% και τα δύο χρόνια για κάθε ρύπο.[77]



Εικόνα 11.4: Θέση σταθμού παρακολούθησης στη περιοχή Daiba του Τόκιο.

Πίνακας 11.4: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκιο

PM ₁₀ (μg/m ³)	2018	2019
Average	18,9	17,3
Stdev	10,7	9,4

Τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ το έτος 2018 σημείωσε μέση ετήσια τιμή $18,9 \pm 10,7$ μg/m³ και το έτος 2019 $17,3 \pm 9,4$ μg/m³ χωρίς ιδιαίτερη διαφορά στις τιμές μεταξύ των δύο χρόνων. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο.

Πίνακας 11.5: Μέση ετήσια τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για το NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκιο

NO ₂ (μg/m ³)	2018	2019
Average	18,9	17,9
Stdev	9,2	8

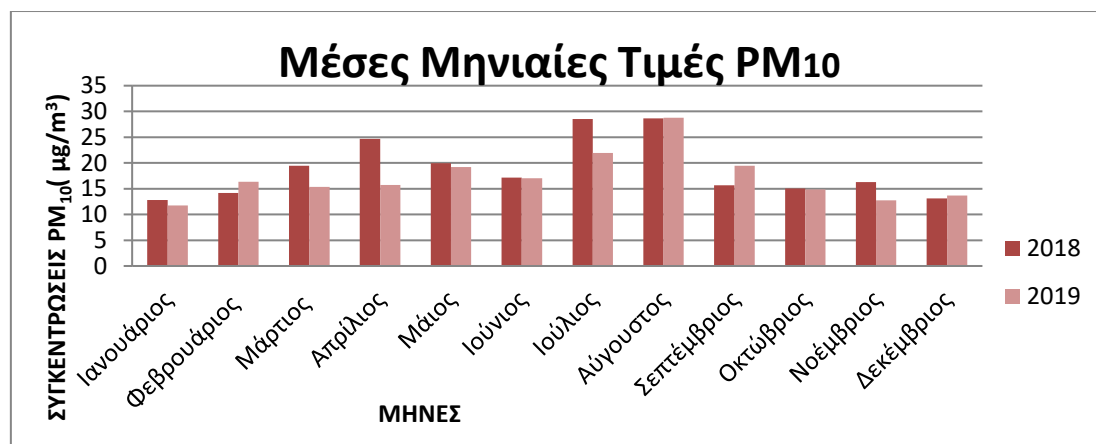
Αντίστοιχα και για το NO₂, το έτος 2018 σημειώθηκε μέση ετήσια τιμή $18,9 \pm 9,2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το έτος 2019 $17,9 \pm 8$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 11.6: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για το O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκυο

O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2018	2019
Average	28,2	28,8
Stdev	12,8	12

Το O₃ το έτος 2018 σημείωσε μέση ετήσια τιμή, $28,2 \pm 12,8$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το έτος 2019, $28,8 \pm 12$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο.

Μέσες Ημερήσιες και Μηνιαίες Τιμές PM₁₀



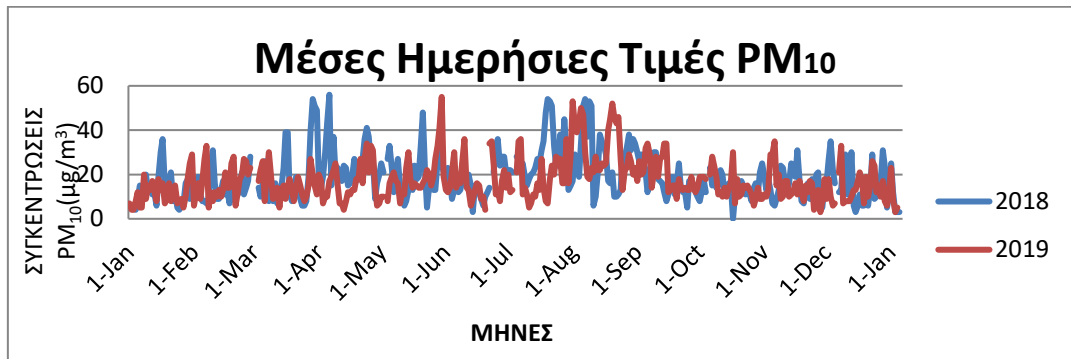
Γράφημα 11.7: Μέσες Μηνιαίες Τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 για το Τόκυο

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, παρατηρήθηκε ότι:

- 1) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις PM₁₀ στο Τόκυο παρατηρήθηκαν τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με συγκεντρώσεις $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018. Το 2019 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τον μήνα Αύγουστο με συγκέντρωση $28,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 2) Αντίθετα οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις για τα PM₁₀ παρατηρήθηκαν τους μήνες Ιανουάριο ($12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Δεκέμβριο ($13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2018. Το 2019 οι χαμηλότερες

συγκεντρώσεις σημειώθηκαν τους μήνες Ιανουάριο ($11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Νοέμβριο ($12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3) Μετρήθηκαν 10 υπερβάσεις υψηλότερες από το ημερήσιο όριο των PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2018 και 4 υπερβάσεις το 2019.



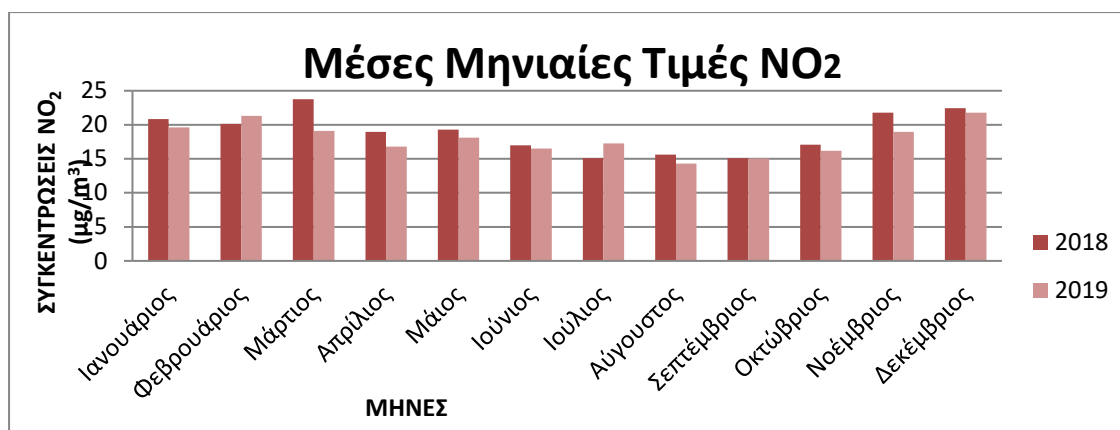
Γράφημα 11.8: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 για το Τόκυο

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018-30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019- 30 Σεπτεμβρίου 2019 σημειώθηκαν συγκεντρώσεις $22,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, δηλαδή μέση μείωση $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες των ετών 2018 και 2019 και συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 -31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019-31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις PM_{10} $14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, δηλαδή μείωση $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6) Συγκρίνοντας τους χειμερινή με τη θερινή εποχή κάθε χρόνου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 - 31 Μαρτίου 2019 για το έτος 2018 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $22,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Από 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 - 31 Μαρτίου 2020 για το έτος 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $20,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Συνολικά, παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων το έτος 2019 σε σύγκριση με το 2018.

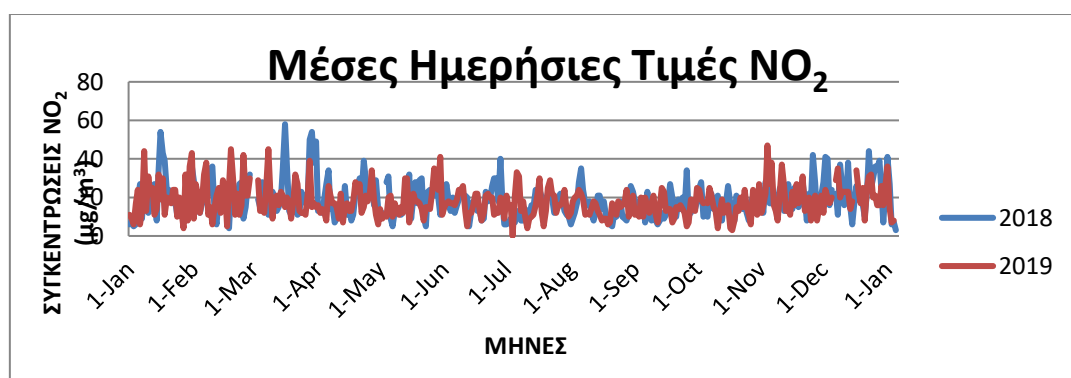
Μέσες Ημερήσιες και Μηνιαίες Τιμές NO_2



Γράφημα 11.9: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO₂ για το 2018 και το 2019 στο Τόκυο

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Οι υψηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις NO₂ στο Τόκυο παρατηρήθηκαν τους μήνες Μάρτιο (23,8 µg/m³) και Δεκέμβριο (22,4 µg/m³) το 2018, ενώ το 2019 τους μήνες Φεβρουάριο (21,3 µg/m³) και Δεκέμβριο (21,8 µg/m³).
- 2) Αντίθετα οι χαμηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο του 2018 με συγκεντρώσεις περίπου 15 µg/m³, ενώ το 2019 τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο με συγκεντρώσεις 14,3 µg/m³ και 15,1 µg/m³ αντίστοιχα.
- 3) Η μέση ημερήσια τιμή για τα NO₂ είναι 113 µg/m³, και δεν μετρήθηκε καμία μέτρηση πάνω από το όριο και τα δύο χρόνια.



Γράφημα 11.10: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 για το Τόκυο

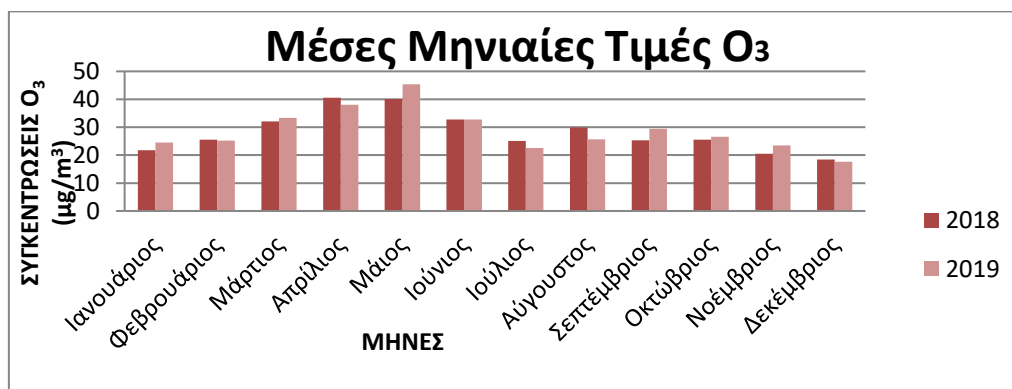
- 4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Απρίλη 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 παρατηρήθηκε μια

σταθερότητα στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου με μέση συγκέντρωση 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 και 16,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019.

5) Συγκρίνοντας του χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 και πιο συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 - 31 Μαρτίου 2019 το έτος 2018 και 1 Οκτωβρίου 2019 - 31 Μαρτίου 2020 για το έτος 2019 παρατηρήθηκε μείωση 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ από 20,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 σε 18,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019.

6) Συγκρίνοντας την χειμερινή με τη θερινή εποχή κάθε χρόνου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε ότι το NO_2 παρουσίασαν μέση αύξηση μέχρι και 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και τα δύο χρόνια από τους καλοκαιρινούς στους χειμερινούς μήνες. Ιδιαίτερα, το 2018 μετρήθηκαν οι παρακάτω τιμές, το καλοκαίρι 16,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και το χειμώνα 20,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αντίστοιχα το 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις την θερινή περίοδο 16,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και τη χειμερινή εποχή 18,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Μέσες Μηνιαίες Τιμές O_3

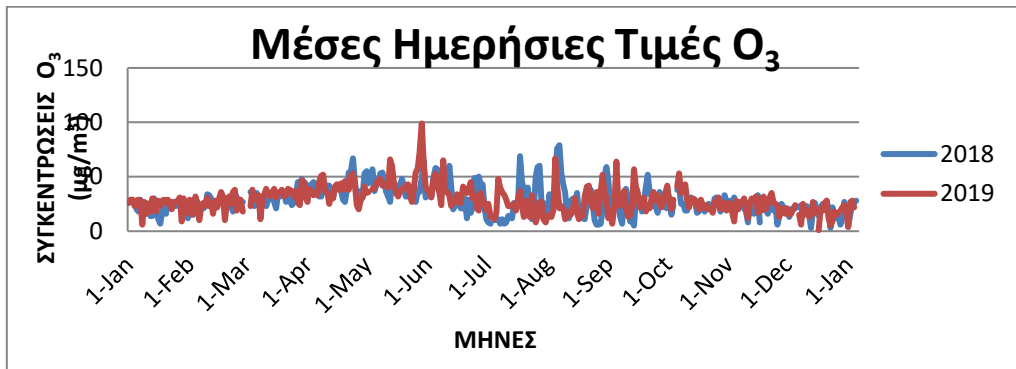


Γράφημα 11.11: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκιο

Όπως διαπιστώθηκε:

1) Οι υψηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις O_3 στο Τόκιο παρατηρήθηκαν τους μήνες Απρίλιο και Μάιο με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται γύρω στα 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και τους δύο μήνες για το έτος 2018. Αντίστοιχα, το 2019 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το Μάιο με μέση συγκέντρωση 45,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2) Αντίθετα οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκε το μήνα Δεκέμβριο και τα δύο χρόνια με μέση συγκέντρωση $18,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018) και $17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2019).



Γράφημα 11.12: Μέσες Ημερήσιες Τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Τόκιο.

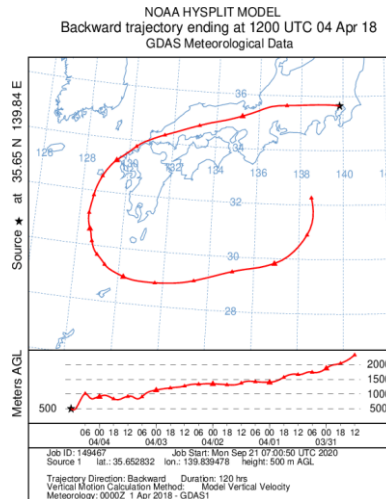
3) Από τα δεδομένα του προέκυψαν από τις ημερήσιες μετρήσεις των O₃ για τα 2 χρόνια και με βάση το ημερήσιο ανώτατο επιτρεπτό όριο (8ωρες μετρήσεις) των $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση και τα δύο χρόνια.

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Απρίλη 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 παρατηρήθηκε μία σταθερότητα στις συγκεντρώσεις όζοντος και τα δύο χρόνια με τιμή γύρω στο $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 - 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 - 31 Μαρτίου 2020, παρατηρήθηκε μία μείωση από $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018) σε $23,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2019).

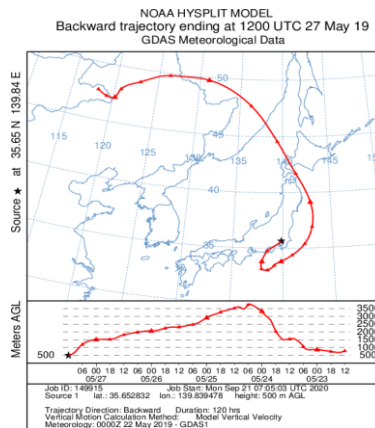
6) Συγκρίνοντας την θερινή με την χειμερινή εποχή στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 - 31 Μαρτίου 2019 για το έτος 2018 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $32,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Το έτος 2019 από 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 - 31 Μαρτίου 2020 με συγκεντρώσεις $32,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $23,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Ευδοξία Λαγουδάκη



Εικόνα 11.5: Πορεία αέριων μαζών στις 4/4/2018 στο Τόκυο

Στις 4 Απριλίου 2018 που μετρήθηκε συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, παρατηρείται ότι οι αέριες μάζες ξεκίνησαν από νότια της Ιαπωνίας, από τον Ειρηνικό Ωκεανό και ύψος 2.000 m και με την βοήθεια νοτιοδυτικών ανέμων κινήθηκαν δυτικά προς την Θάλασσα της Ανατολικής Κίνας. Έπειτα, σε ύψος λιγότερο από 1.000m οι αέριες μάζες κινούμενες βόρεια και ανατολικά έφτασαν στο Τόκυο.



Εικόνα 11.6: Οπισθοπορεία των αέριων μαζών στις 27 Μαΐου 2019 στο Τόκυο

Στις 27/5/2019 η ατμόσφαιρα στη περιοχή Daiba του Τόκυο παρουσίασε μια ασυνήθιστα υψηλή τιμή (55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) αιωρούμενων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα, οι αέριες μάζες 5 ημέρες πριν ξεκίνησαν από ανατολικά της Μογγολίας κινούμενες ανατολικά και ύστερα νότια διέσχισαν τις ανατολικές επαρχίες Χείλονγκτσιάνγκ της Λαϊκής Κινέζικης Δημοκρατίας. Έπειτα διασχίζοντας τη Θάλασσα της Ιαπωνίας με την συμβολή νότιων και δυτικών ανέμων κατέληξαν στο Τόκυο.

11.3 Άμστερνταμ, Ολλανδία

Ο σταθμός παρακολούθησης βρίσκεται στο κέντρο του Amsterdam δίπλα σε κανάλι που παράλληλα υπάρχει πολυσύχναστος δρόμος τον οποίο τον διασχίζουν καθημερινά αυτοκίνητα, ποδήλατα και πεζοί. Σε κοντινή απόσταση περίπου 3χλμ. από το σταθμό παρακολούθησης βρίσκεται διεθνής δρόμος και γραμμές τρένων καθώς επίσης χημική και κατασκευαστική βιομηχανία. Οι ελλείψεις δεδομένων από το συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί στο 3% και τα δύο χρόνια για κάθε ρύπο.



Εικόνα 11.7: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην πόλη του Άμστερνταμ.

Πίνακας 11.7: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα PM_{10} τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

$PM_{10}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	2018	2019
Average	31,8	22,2
Stdev	10,2	8,8

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα, σημειώθηκαν μέσες ετήσιες τιμές για τα PM_{10} $31,8 \pm 10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $22,2 \pm 8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά τα έτη 2018 και 2019 αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε ότι το έτος 2018 μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ενώ τον επόμενο χρόνο δεν παρατηρείται το ίδιο.

Πίνακας 11.8: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα NO_2 τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ.

$NO_2(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	2018	2019
Average	23	20,2
Stdev	7	7,3

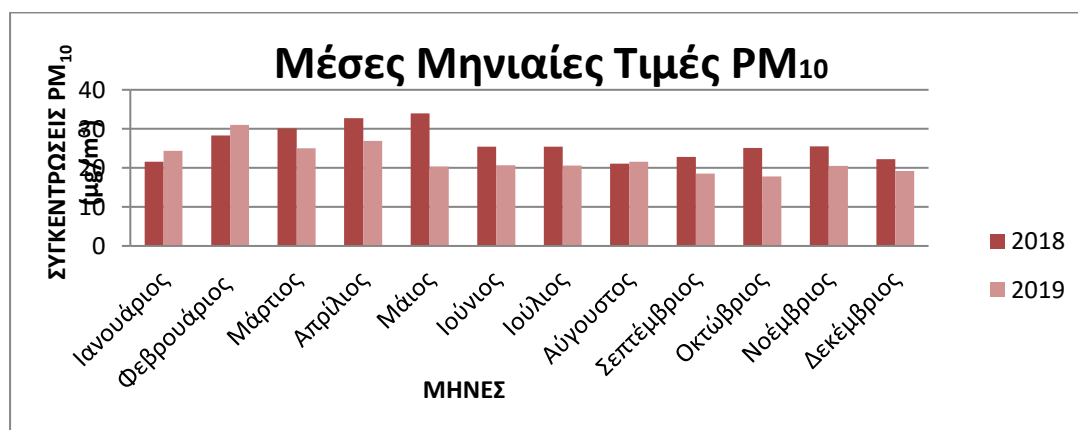
Το NO₂ το έτος 2018 σημείωσε μέση ετήσια τιμή $23 \pm 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ το έτος 2019, $20,2 \pm 7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 11.9: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα O₃ τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2018	2019
Average	26,9	26
Stdev	12	13

Το O₃ σημειώθηκε μέση ετήσια συγκέντρωση $26,9 \pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2018 και $26 \pm 13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο.

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές PM₁₀



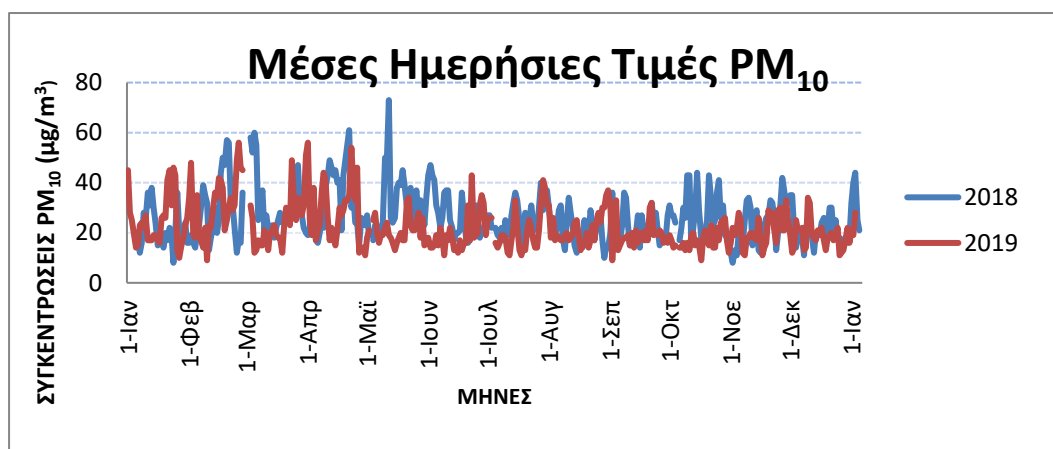
Γράφημα 11.13: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων και ημερήσιων τιμών:

1) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις PM₁₀ μετρήθηκαν κατά τους ανοιξιάτικους μήνες και συγκεκριμένα τον Απρίλιο ($32,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το Μάιο ($34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) κατά το 2018, ενώ το έτος 2019 κατά το μήνα Φεβρουάριο ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2) Οι χαμηλότερες τιμές συγκεντρώσεων PM_{10} για το 2018 παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες Ιανουάριο ($21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Αύγουστο ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ το 2019 κατά το μήνα Οκτώβριο ($17,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3) Με βάση το ημερήσιο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 18 φορές ανά έτος. Επομένως μετρήθηκαν 12 υπερβάσεις των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων κατά το έτος 2018, εκ των οποίων οι περισσότερες συνέβησαν κατά το μήνα Μάρτιο, ενώ το 2019 καταγράφηκαν 4 υπερβάσεις.



Γράφημα 11.14: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

4) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του έτους 2018 και του έτους 2019 για τα PM_{10} , παρατηρήθηκε μείωση $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτώβρη 2018-31 Μάρτη 2019 ($25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και 1 Οκτώβρη 2019-31 Μάρτη 2020 ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

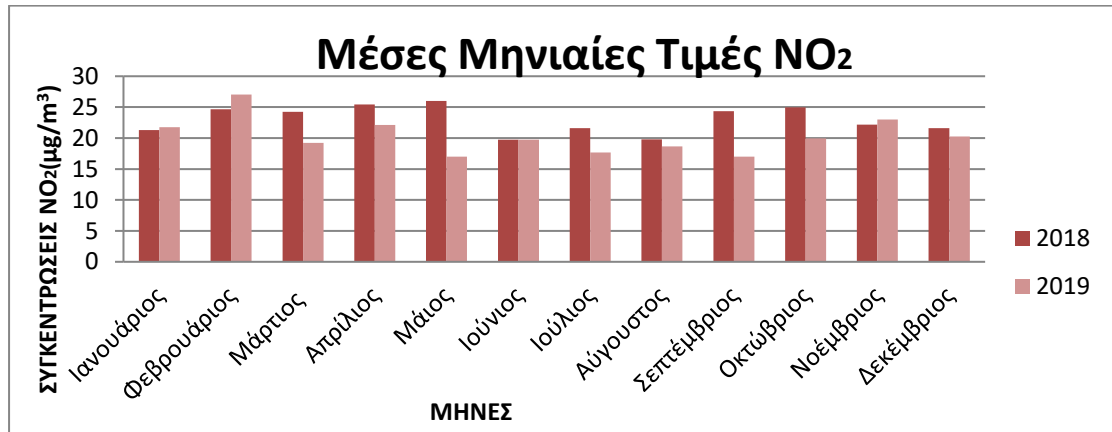
5) Κατά τους θερινούς μήνες των ίδιων χρόνων και συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απρίλη 2018-30 Σεπτέμβρη του 2018 ($26,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και 1 Απρίλη 2019 - 30 Σεπτέμβρη 2019 ($21,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκε επίσης ίδια μείωση ύψους $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6) Από τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις των PM_{10} για τα 2 χρόνια και με βάση το ετήσιο όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και επιτρεπτό αριθμού υπερβάσεων να μην ξεπερνούν τις 35 φορές ετησίως, μετρήθηκαν 39 υπερβάσεις (2018) και 21 υπερβάσεις (2019). Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι το 2018 οι υπερβάσεις ξεπέρασαν το ανώτατο επιτρεπτό όριο υπερβάσεων.

7) Συγκρίνοντας τη θερινή και τη ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018-30 Σεπτεμβρίου 2018

και 1 Οκτωβρίου 2018- 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις 26,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα για το έτος 2018. Για το έτος 2019 και για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019-30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019- 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

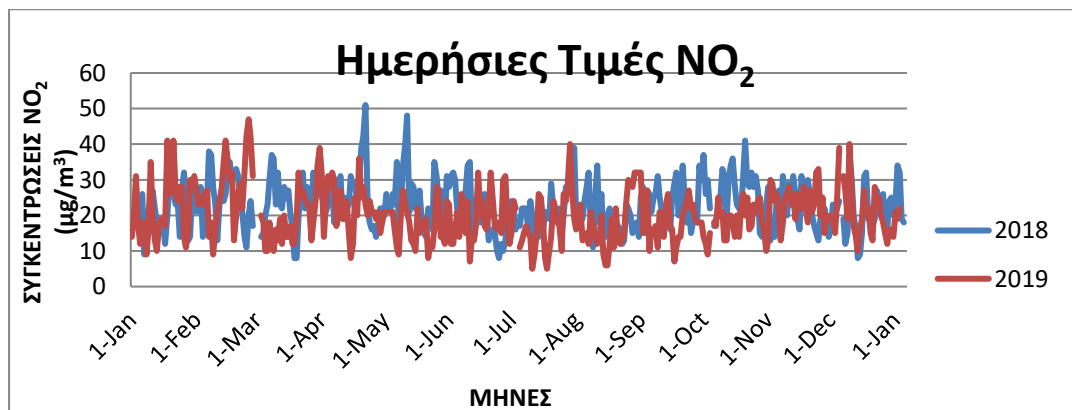
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες τιμές NO₂



Γράφημα 11.15: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- 1) Οι υψηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις NO₂ παρατηρούνται κατά τους μήνες Απρίλιο (25,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Μάιο (26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για το 2018 και κατά τον Οκτώβριο (19,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) για το 2019.
- 2) Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις του ίδιου ρύπου παρατηρούνται τον Ιούνιο (19,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και τον Αύγουστο (19,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) κατά το 2018 και το μήνα Μάιο (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) κατά το 2019.



Γράφημα 11.16: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

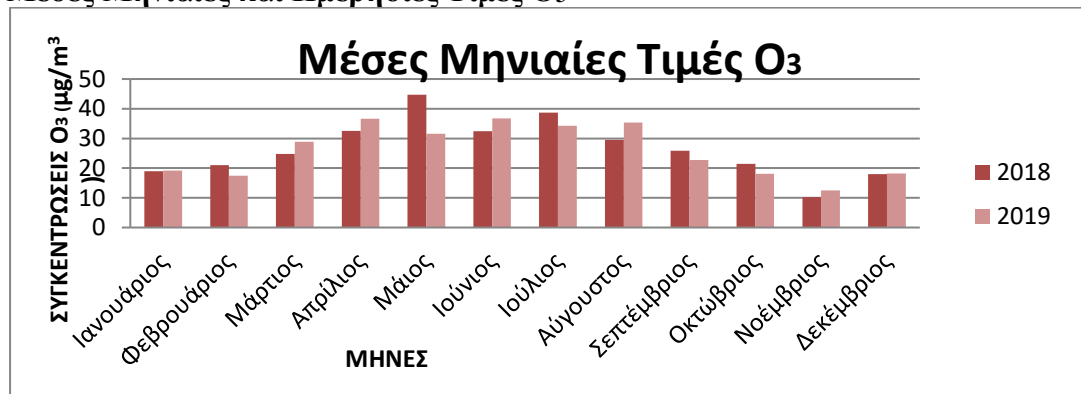
3) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες των ετών 2018 και 2019 που αφορούν στις συγκεντρώσεις του NO₂, παρατηρήθηκε μείωση κατά 4 μg/m³ συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018- 31 Μαρτίου 2019 (22,9 μg/m³) και 1 Οκτωβρίου 2019-31 Μαρτίου 2020 (18,9 μg/m³).

4) Η ίδια μείωση παρατηρήθηκε και κατά τους θερινούς μήνες των ίδιων χρόνων και συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απρίλη 2018-30 Σεπτέμβρη του 2018 (22,7 μg/m³) και 1 Απρίλη 2019 - 30 Σεπτέμβρη 2019 (18,9 μg/m³).

5) Η μέση ετήσια τιμή για το ρύπο NO₂ είναι 40 μg/m³. Έτσι καταγράφηκαν 5 υπερβάσεις το έτος 2018 και 8 υπερβάσεις το 2019. Οι περισσότερες υπερβάσεις παρατηρήθηκαν το 2018 κατά τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, ενώ το 2019 το μήνα Φεβρουάριο.

6) Συγκρίνοντας τη θερινή και ψυχρή περίοδο στο Άμστερνταμ μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018-30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 -31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 7,3 μg/m³ και 7,6 μg/m³ αντίστοιχα, για το έτος 2018. Για το έτος 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019-30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 -31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 7,2 μg/m³ και 7,8 μg/m³ αντίστοιχα.

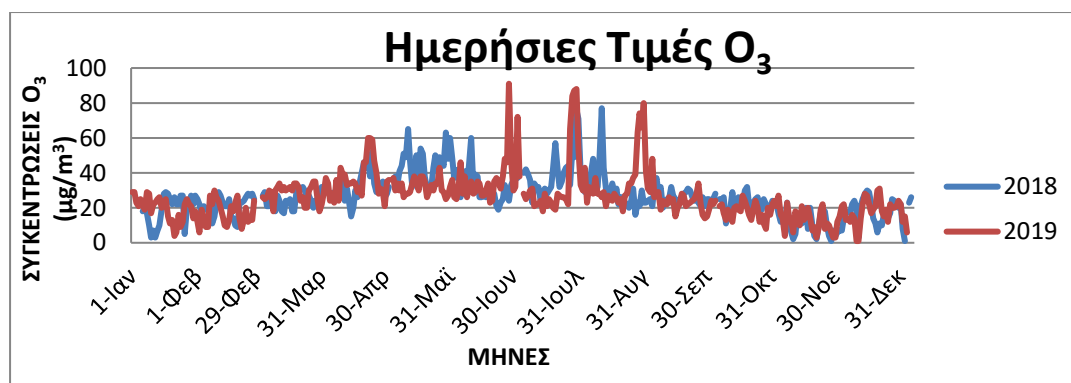
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές O₃



Γράφημα 11.17: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Άμστερνταμ

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- 1) Από τα διαγράμματα παρατηρείται ότι για το έτος 2018 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις O_3 καταγράφηκαν κατά το μήνα Μάιο ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και για το 2019 κατά τους μήνες Απρίλιο και Ιούνιο ($36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα).
- 2) Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρήθηκαν το μήνα Νοέμβριο και τα 2 έτη (2018: $10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και 2019: $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 3) Η ημερήσια ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση του O_3 των $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αναφέρεται στο μέσο όρο 8 ωρών. Με βάση αυτό το όριο δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση και τα δύο χρόνια.

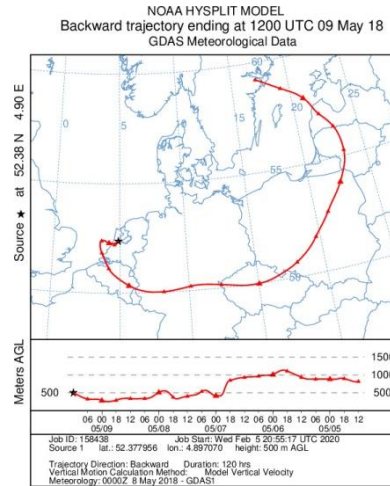


Γράφημα 11.18: Μέσες Ημερήσιες Τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στη πόλη του Άμστερνταμ

- 4) Συγκρίνοντας τις ημερήσιες συγκεντρώσεις του NO_2 κατά τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019, παρατηρήθηκε μια τάση αύξησης, η οποία ήταν χαμηλότερη από $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτώβρη 2018- 31 Μάρτη 2019 ($19,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και 1 Οκτώβρη 2019-31 Μάρτη 2020 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 5) Τους θερινούς μήνες των ίδιων χρόνων και συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απρίλη 2018-30 Σεπτέμβρη του 2018 ($34,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και 1 Απρίλη 2019 - 30 Σεπτέμβρη 2019 ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκε μείωση επίσης χαμηλότερη από $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 6) Από την σύγκριση μεταξύ θερινής και χειμερινής εποχής αξίζει να σημειωθεί ότι διαπιστώθηκε η μείωση των ημερήσιων συγκεντρώσεων του O_3 κατά $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (καλοκαίρι $34,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και χειμώνας $19,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για το χρονικό διάστημα Απρίλιος-Σεπτέμβριος 2018 και Οκτώβριος 2018-Μάιος 2019 αντίστοιχα. Για το χρονικό διάστημα Απρίλιος- Σεπτέμβριος 2019 και Οκτώβριος 2019- Μάρτιος 2020

Ευδοξία Λαγουδάκη

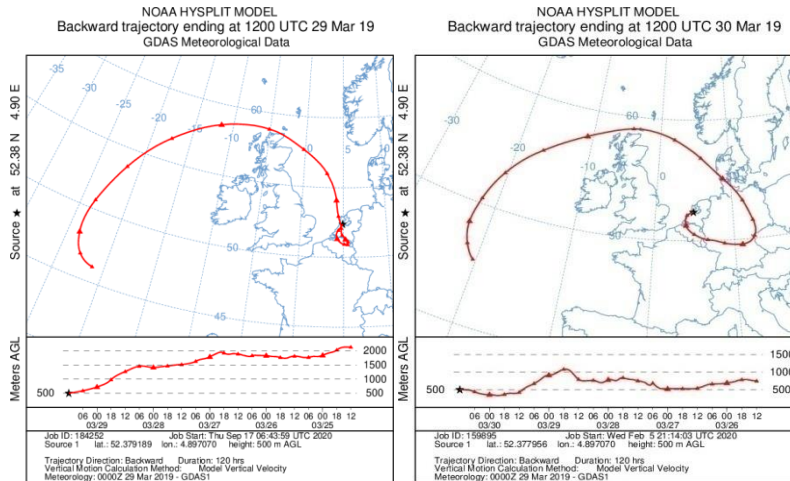
και τον ίδιο ρύπο (καλοκαίρι $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, χειμώνας $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) παρατηρήθηκε διαφορά $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Εικόνα 11.8: Οπισθοτροχιά της αέριας μάζας κατά την 9η Μαΐου 2018 με συγκέντρωση PM_{10} $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στην πόλη του Άμστερνταμ

Από την παραπάνω εικόνα στην οποία απεικονίζεται η πορεία των αέριων μαζών στις 9 Μαΐου 2018, κατά τη διάρκεια της οποίας μετρήθηκε ασυνήθιστα υψηλή συγκέντρωση PM_{10} σωματιδίων $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ υψηλότερο από το θεσμοθετημένο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Πιο συγκεκριμένα, οι αέριες μάζες ξεκινώντας από τη Στοκχόλμη πέρασαν πάνω από τις βιομηχανικές πόλεις της Νορβηγίας, Σουηδίας, Λετονίας, Λιθουανίας, Πολωνίας, Τσεχίας και Γερμανίας, κινούμενες σε αρκετά χαμηλά ύψη (500 m) με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες να επηρεάζονται σημαντικά από τις περιοχές πάνω από τις οποίες πέρασαν. Αξιοσημείωτο είναι ότι συχνά στην πόλη επικρατούν νοτιοδυτικοί άνεμοι, οι οποίοι μεταφέρουν βιομηχανικούς και μη ρύπους στις Κάτω Χώρες, γεγονός που δικαιολογεί τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συνδυασμό με την αυξημένη ηλιοφάνεια κατά το μήνα Μάιο.

Ευδοξία Λαγουδάκη

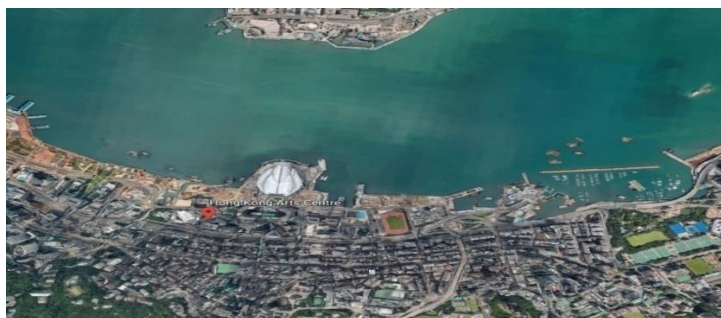


Εικόνα 11.9: Οπισθοτροχιά της αέριας μάζας για τις 29-30 Μαρτίου 2019 στην πόλη του Άμστερνταμ

Από τη εικόνα της πορείας των αερίων μαζών παρατηρείται ότι στις 29 Μαρτίου 2019 η αέρια μάζα ξεκίνησε δυτικά του Άμστερνταμ και συγκεκριμένα από το Βόρειο Ατλαντικό. Σε αρκετά μεγάλο ύψος (2.000 m) αρχικά κινήθηκε βορειοανατολικά προς τη Σκωτία και με τη βοήθεια πνεόντων ανέμων μετακινήθηκε νοτιοανατολικά μέχρι να καταλήξει στο Άμστερνταμ με συγκέντρωση $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}). Στις 30 Μαρτίου 2019 μετρήθηκε συγκέντρωση $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η αέρια μάζα διένυσε παρόμοια διαδρομή περνώντας επίσης από τη Γερμανία και το Βέλγιο μέχρι να φτάσει στο Άμστερνταμ, κινούμενη όμως σε χαμηλότερα ύψη (500 m).

11.4 Χονγκ Κονγκ

Ο σταθμός παρακολούθησης είναι τοποθετημένος κεντρικά της πόλης στην περιοχή Central. Η περιοχή αυτή είναι πολύβουη καθώς φιλοξενεί αρκετά ξενοδοχεία και εμπορικά πολυκαταστήματα σε υψηλούς ουρανοξύστες. Πολύ κοντά στο σταθμό παρακολούθησης βρίσκεται το λιμάνι Βικτώρια στο οποίο υπάρχουν αρκετά φέριμποτ, το πάρκο του Χονγκ Κονγκ και βοτανικοί κήποι. Οι ελλείψεις δεδομένων από το συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί στο 2% και τα δύο χρόνια για κάθε ρύπο. [73]



Εικόνα 11.10: Θέση σταθμού παρακολούθησης στην περιοχή Central του Χονγκ Κονγκ

Πίνακας 11.10: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα PM₁₀ κατά τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

PM ₁₀ (μg/m ³)	2018	2019
Average	28,9	32,3
Stdev	14,9	13,9

Όπως μπορούμε να δούμε, καταγράφηκαν συγκεντρώσεις $28,9 \pm 14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2018 και $32,3 \pm 13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον επόμενο χρόνο. Διαπιστώθηκε ότι και τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο, των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίνακας 11.11: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τον αέριο ρύπο NO₂ κατά τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

NO ₂ (μg/m ³)	2018	2019
Average	36,3	36,3
Stdev	13,2	12,5

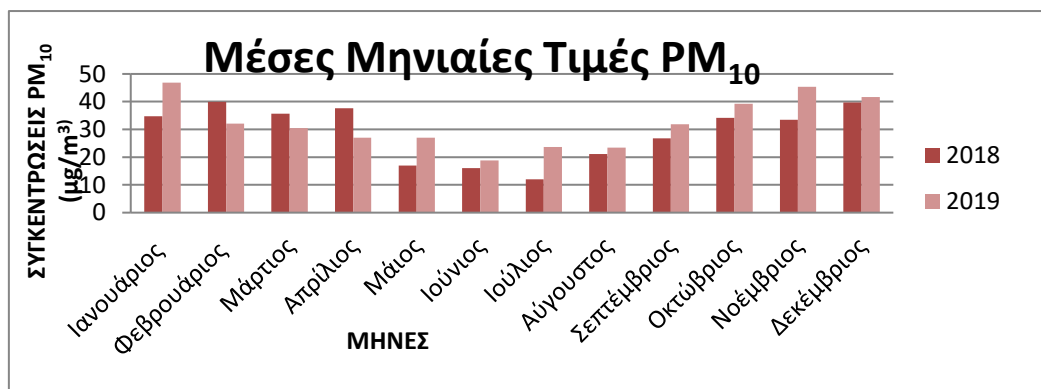
Από την άλλη από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι μετρήθηκαν συγκεντρώσεις NO_2 $36,3 \pm 13,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2018 και $36,3 \pm 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον επόμενο χρόνο. Διαπιστώθηκε ότι μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και τα δύο χρόνια στο Χονγκ Κονγκ.

Πίνακας 11.12: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα O_3 τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

$\text{O}_3(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	2018	2019
Average	16,4	22,5
Stdev	10,5	15

Όσον αφορά στο O_3 κατά το έτος 2018 μετρήθηκε Μέση Ετήσια Τιμή $16,4 \pm 10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $22,5 \pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ τον επόμενο χρόνο. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό ημερήσιο όριο 8 ωρών ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές PM_{10}



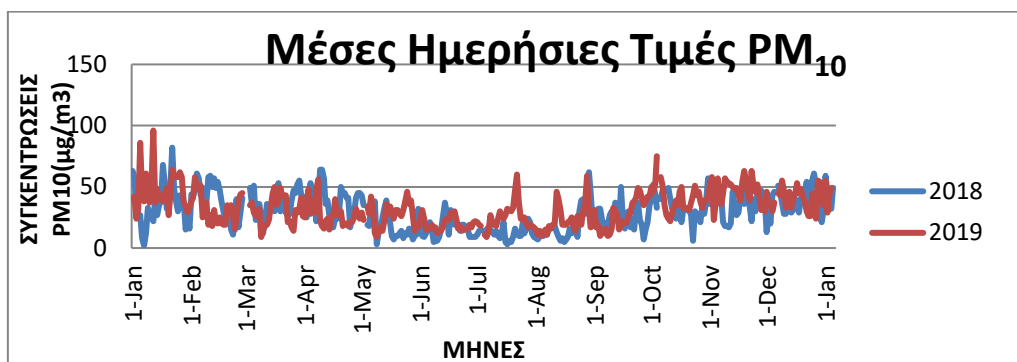
Γράφημα 11.19: Μέσες Μηνιαίες Τιμές PM_{10} για το 2018 και 2019 στο Χονγκ Κόνγκ

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

1) Οι υψηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM_{10} στο Χονγκ Κονγκ παρατηρήθηκαν τους μήνες Φεβρουάριο και Δεκέμβριο (συγκεντρώσεις περίπου $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2018. Το 2019 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους μήνες Ιανουάριο (συγκέντρωση $46,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Νοέμβριο ($45,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2) Αντίθετα, οι χαμηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις το 2018 παρατηρήθηκαν το μήνα Ιούλιο με μέση μηνιαία συγκέντρωση $12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και το 2019 το μήνα Ιούνιο με συγκέντρωση $18,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3) Με βάση την ανώτατη μέση ημερήσια τιμή για τα PM_{10} που είναι $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων τις 9 φορές, στο Χονγκ Κονγκ, δεν μετρήθηκε καμία ημέρα συγκέντρωση παραπάνω από το θεσμοθετημένο όριο και τα δύο χρόνια.



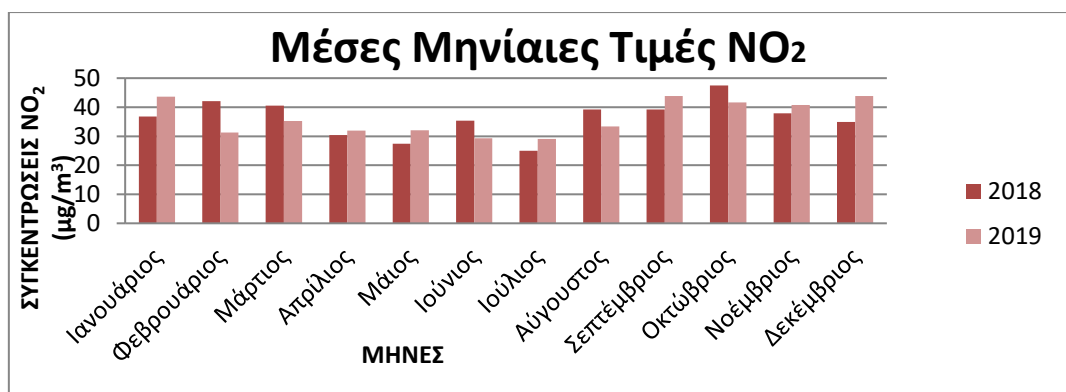
Γράφημα 11.20: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 για το Χονγκ Κονγκ

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018-30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019-30 Σεπτεμβρίου 2019 παρατηρήθηκε μία αύξηση κατά $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις συγκεντρώσεις PM_{10} (2018: $21,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019: $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες, και συγκεκριμένα τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018-31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2018-31 Μαρτίου 2019 παρατηρήθηκε μια σταθερότητα στις συγκεντρώσεις (2018: $36,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2019: $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

6) Συγκρίνοντας την χειμερινή με τη θερινή εποχή κάθε χρόνου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 - 30 Σεπτεμβρίου 2018 με 1 Οκτωβρίου 2018 - 31 Μαρτίου 2019 και 1 Απριλίου 2019 - 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 - 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις και των δύο χρόνων παρέμειναν σχεδόν σταθερές.

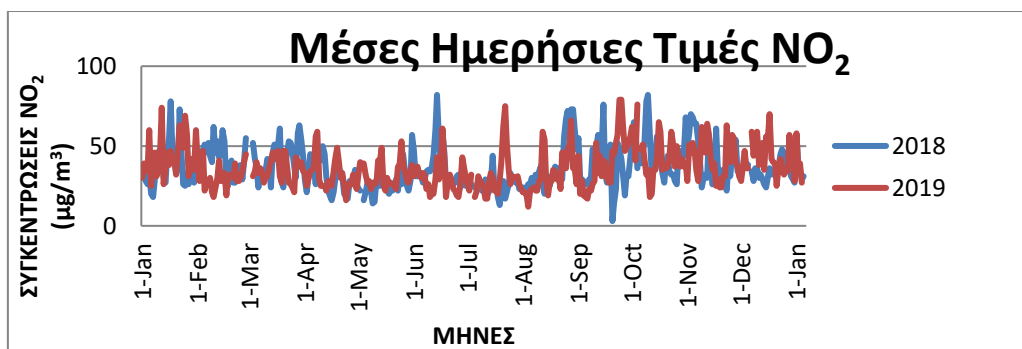
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές NO_2



Γράφημα 11.21: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Οι υψηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις NO₂ στο Χονγκ Κονγκ παρατηρήθηκαν το Οκτώβριο του 2018 με συγκέντρωση 47,5 µg/m³ και τον Ιανουάριο, το Σεπτέμβριο και το Δεκέμβριο το 2019 με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται περίπου στα 43,9 µg/m³.
- 2) Αντίθετα, οι χαμηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες Ιούλιο του 2018 (συγκέντρωση 25 µg/m³) και Ιούνιο και Ιούλιο του 2019 (συγκεντρώσεις 29 µg/m³).



Γράφημα 11.22: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Χονγκ Κονγκ

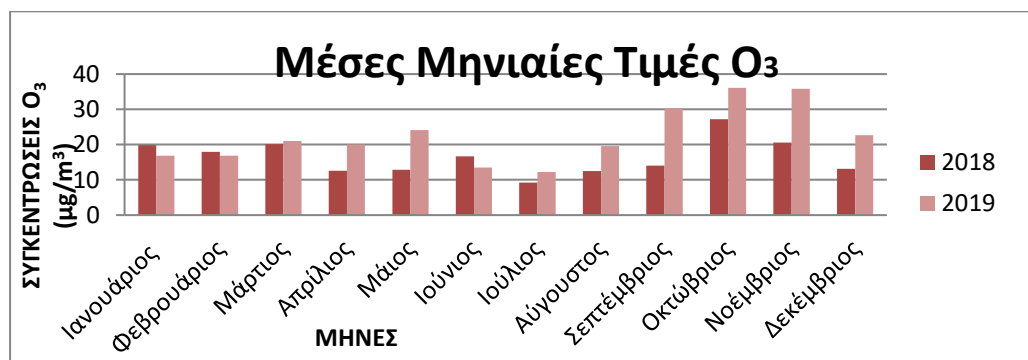
- 3) Από τα δεδομένα των μέσων ημερήσιων συγκεντρώσεων που προέκυψαν από τις μετρήσεις του ρύπου NO₂ για τα 2 χρόνια και με βάση το ημερήσιο όριο των 200 µg/m³ δεν μετρήθηκαν παραβάσεις το 2018 και το 2019.
- 4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019

παρατηρήθηκε σταθερότητα στις συγκεντρώσεις NO₂ με μέσες ημερήσιες τιμές περίπου 32,5 μg/m³.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 και συγκεκριμένα κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε μία μέση μείωση κατά 3 μg/m³ (2018:39 μg/m³, 2019:37,3 μg/m³).

6) Συγκρίνοντας τη χειμερινή με τη θερινή εποχή κάθε χρόνου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019, καθώς και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις και τα 2 χρόνια παρέμειναν σχεδόν σταθερές.

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές O₃



Γράφημα 11.23: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O₃ για τα έτη 2018-2019 στο Χόνγκ Κόνγκ

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Από το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών του O₃ φαίνεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στην περιοχή Daiba του Χονγκ Κονγκ κατά το μήνα Οκτώβριο και τα 2 χρόνια (2018:27,2 μg/m³, 2019:36,1 μg/m³).
- 2) Οι χαμηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις O₃ παρατηρήθηκαν και τα δύο χρόνια κατά το μήνα Ιούλιο (2018: 9,2 μg/m³, 2019:12,2 μg/m³).
- 3) Το ημερήσιο όριο για το O₃ αντιστοιχεί σε 8ωρη μέτρηση είναι 160 μg/m³ με επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων 9 φορές. Επομένως δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση τα 2 αυτά χρόνια.



Γράφημα 11.24: Μέσες Ημερήσιες Τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 για το Χονγκ Κονγκ

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 παρατηρήθηκε μία μέση αύξηση κατά 6 µg/m³ (2018:12,9 µg/m³, 2019:18,8 µg/m³).

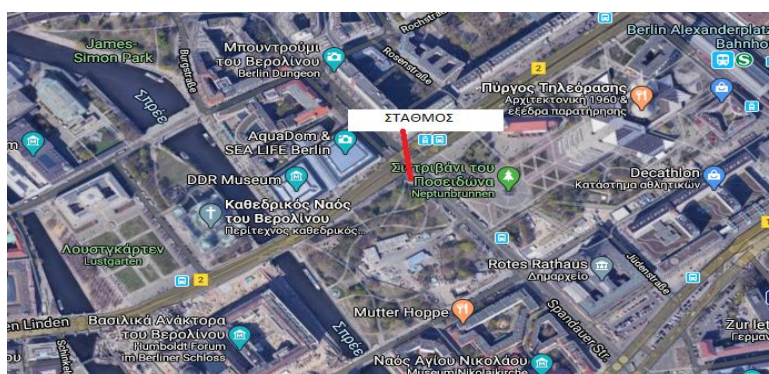
5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 και συγκεκριμένα τα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 παρατηρήθηκε μέση αύξηση κατά 8 µg/m³ (2018:19,4 µg/m³, 2019:27,2 µg/m³).

6) Σημαντική είναι και η αναφορά στους συντελεστές συσχέτισης PEARSON. Ιδιαίτερα, το έτος 2018 μεταξύ των ρύπων PM₁₀ και NO₂ μετρήθηκε καλή συσχέτιση ίση με 0,6, γεγονός που αποδίδεται σε κοινές πηγές των αέριων ρύπων. Παράλληλα και τον επόμενο χρόνο μετρήθηκε ακόμα πιο σημαντική συσχέτιση μεταξύ των ίδιων ρύπων με τιμή 0,7.

7) Συγκρίνοντας την χειμερινή με τη θερινή εποχή κάθε χρόνου προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019, καθώς και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε ότι κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (2018:19,4 µg/m³, 2019:27,2 µg/m³) μετρήθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με τις θερινές (2018:12,9 µg/m³, 2019:18,80 µg/m³). Συνολικά οι συγκεντρώσεις του έτους 2019 ήταν αυξημένες σε σύγκριση με το 2018.

11.5 Βερολίνο

Ο σταθμός παρακολούθησης για τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών ρύπων της γερμανικής πρωτεύουσας βρίσκεται στην κέντρο της πόλης στην περιοχή του Mitte κοντά στην πλατεία της Alexandersplatz. Σε κοντινή απόσταση βρίσκεται επίσης ο ποταμός Σπρέε και κεντρικοί δρόμοι, από τους οποίους περνούν καθημερινά πολλά αυτοκίνητα, τραμ, λεωφορεία και τρένα. Στην γύρω περιοχή επίσης δραστηριοποιούνται διάφορες βιομηχανίες. Οι ελλείψεις δεδομένων από το συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί στο 3% και τα δύο χρόνια για κάθε ρύπο.[76]



Εικόνα11.11: Θέση σταθμού παρακολούθησης στο Βερολίνο

Πίνακας 11.13: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα PM₁₀ τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

PM ₁₀ (μg/m ³)	2018	2019
Average	30,5	23,8
Stdev	11,9	10,2

Από το παραπάνω πίνακα μετρήθηκε Μέση Ετήσια Τιμή κατά το έτος 2018 $30,5 \pm 11,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $23,8 \pm 10,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι κατά το έτος 2019 μετρήθηκε μέση ετήσια συγκέντρωση χαμηλότερη από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ κατά το 2018 σημειώθηκε μια ελαφριά υπέρβαση.

Πίνακας 11.14: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα NO₂ τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

NO ₂ (μg/m ³)	2018	2019
Average	26,8	23,2
Stdev	8	6,2

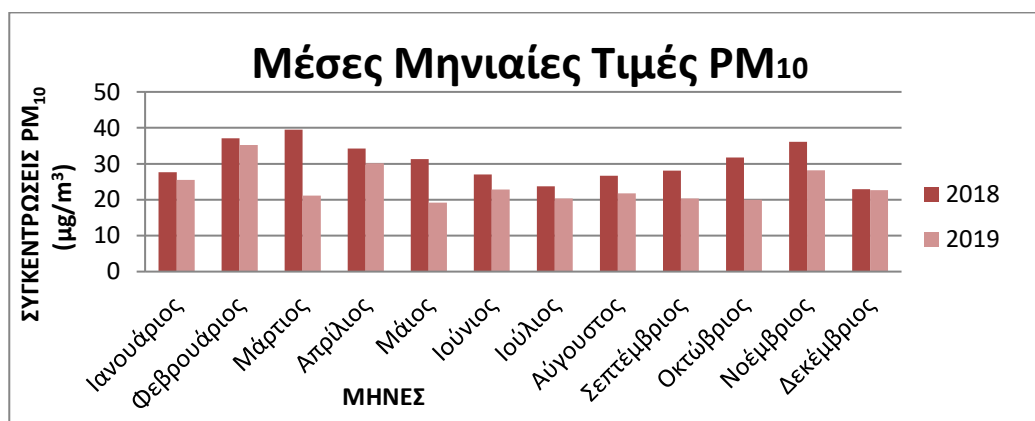
Η Μέση Ετήσια Τιμή του NO₂ κατά το έτος 2018 ήταν $26,8 \pm 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $23,2 \pm 6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι και κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ετήσιο ανώτατο επιτρεπτό όριο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Πίνακας 11.15: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα O₃τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2018	2019
Average	26	24,8
Stdev	13,9	13,3

Η Μέση Ετήσια Τιμή του O₃ κατά το έτος 2018 ήταν $26 \pm 13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $24,8 \pm 13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ κατά το έτος 2019. Διαπιστώθηκε ότι και τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις πολύ χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο ευρωπαϊκό ημερήσιο επιτρεπτό όριο των 8 ωρών ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές PM₁₀



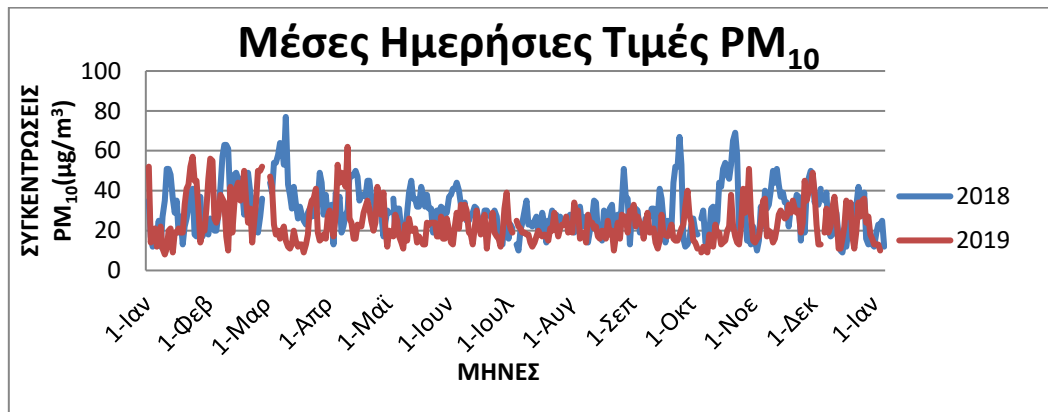
Γράφημα 11.25: Μέσες Μηνιαίες Τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

1) Γενικά παρατηρείται μια ομαλότητα στις αυξομειώσεις των μετρήσεων του 2018. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των PM₁₀ παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες Μάρτιο ($39,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Νοέμβριο ($36 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2019 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν κατά το μήνα Φεβρουάριο ($35,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2) Οι χαμηλότερες ημερήσιες τιμές συγκεντρώσεων των PM_{10} παρατηρήθηκαν στο Βερολίνο το 2018 τους μήνες Ιούλιο (23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Δεκέμβριο (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Το 2019 οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το μήνα Μάιο (19,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3) Η μέση ημερήσια τιμή για τα PM_{10} είναι 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές το χρόνο. Με βάση αυτό το 2018 παρατηρήθηκαν συνολικά 28 υπερβάσεις, ενώ το 2019 12 ημερήσιες υπερβάσεις.



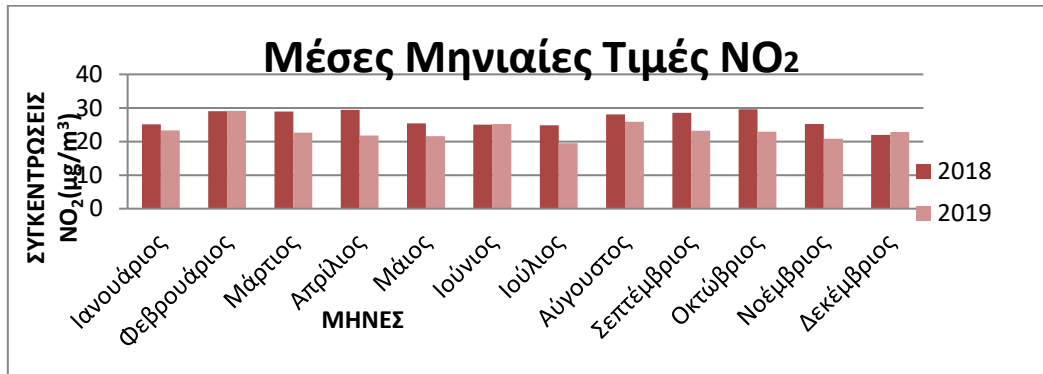
Γράφημα 11.26: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Βερολίνο 1 Απρίλη 2018 έως 30 Σεπτέμβρη 2018 μετρήθηκε συγκέντρωση PM_{10} 28,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα στο διάστημα 1 Απρίλη 2019 έως 30 Σεπτέμβρη 2019 συγκέντρωση 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Προκύπτει μια μέση μείωση 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Τους χειμερινούς μήνες στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 με μέσους όρους 28,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα παρατηρήθηκε μια μέση μείωση κατά 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ περίπου.

6) Συγκρίνοντας τη θερμή και την ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων στη Γερμανία και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 28,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 28,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα κατά το έτος 2018. Για το έτος 2019 για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν οι ίδιες συγκεντρώσεις 22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

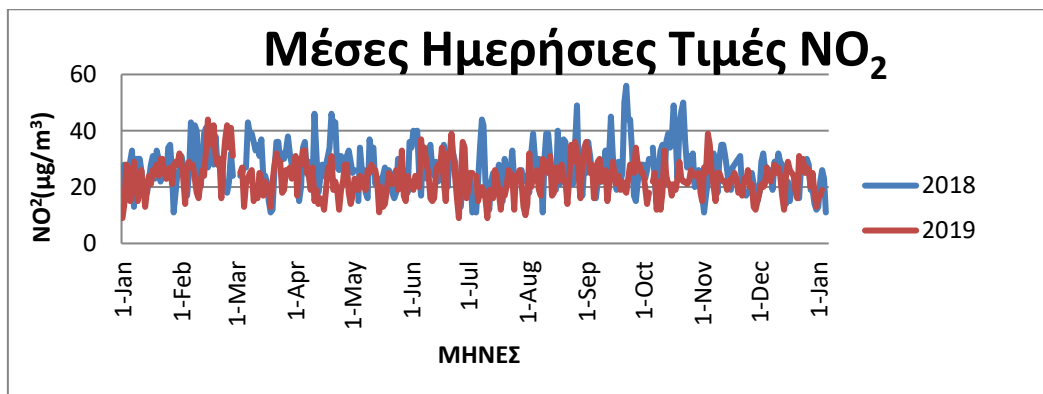
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές NO₂



Γράφημα 11.27: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Οι υψηλότερες τιμές NO₂ παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Απρίλιο και Οκτώβριο με ημερήσιες τιμές περίπου 29,5 µg/m³ το έτος 2018. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το μήνα Φεβρουάριο (29,1 µg/m³) κατά το έτος 2019.
- 2) Οι χαμηλότερες τιμές NO₂ παρατηρήθηκαν το Δεκέμβριο (21,9 µg/m³) κατά το έτος 2018 και τον Ιούλιο (19,5 µg/m³) κατά το έτος 2019.



Γράφημα 11.28: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

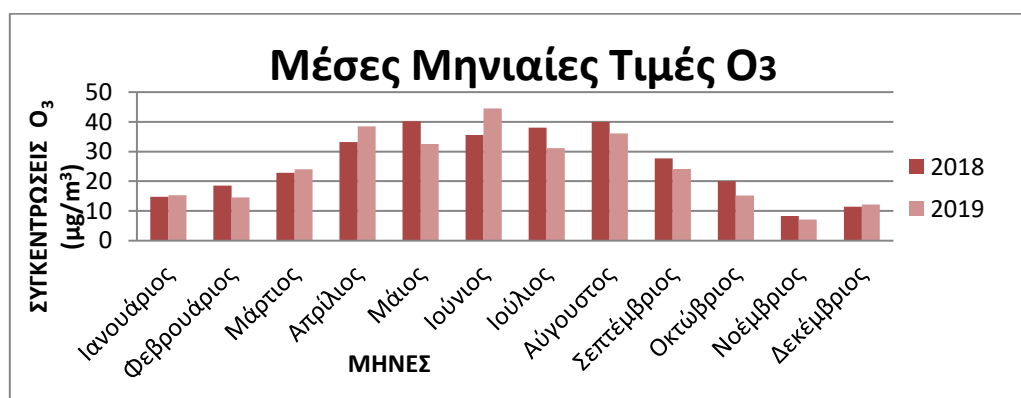
- 3) Από τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις του NO₂ για τα 2 χρόνια και με βάση το ετήσιο όριο των 40 µg/m³ μετρήθηκαν 24 ημερήσιες υπερβάσεις το 2018 και 4 υπερβάσεις το 2019.
- 4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στην γερμανική πρωτεύουσα μεταξύ 1 Απρίλη 2018 και 30 Σεπτεμβρη 2018 μετρήθηκε μέση συγκέντρωση NO₂ ίση με 26,8

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, και αντίστοιχα στο διάστημα 1 Απρίλη 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 συγκέντρωση $22,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Η μέση μείωση ήταν περίπου $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Τους χειμερινούς μήνες στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 με μέσους όρους $25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, παρατηρήθηκε επίσης μέση μείωση $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6) Συγκρίνοντας τη θερινή και την ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $26,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $25,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα κατά το έτος 2018. Κατά το έτος 2019 και για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $22,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $21,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές O_3



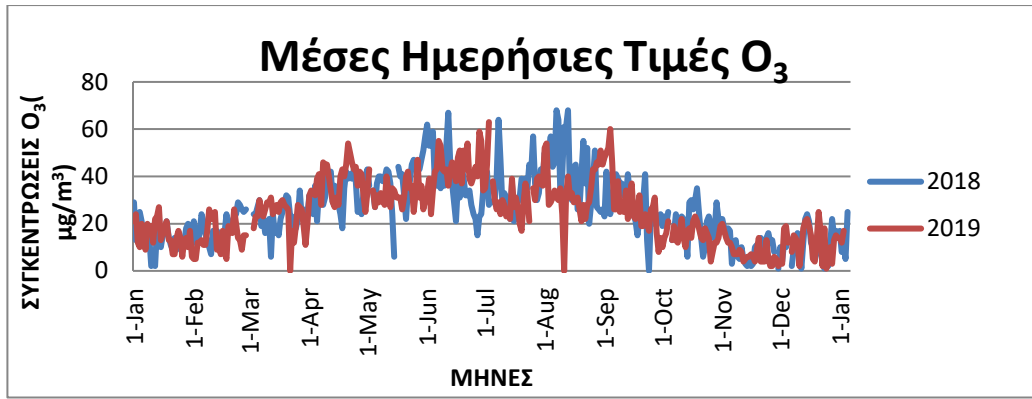
Γράφημα 11.29: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O_3 για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

1) Οι υψηλότερες μηνιαίες τιμές τροποσφαιρικού O_3 το 2018 παρατηρήθηκαν το Μάιο ($40,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και τον Αύγουστο ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Αντίστοιχα το 2019 μετρήθηκαν κατά το μήνα Ιούνιο ($44,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2) Οι χαμηλότερες μηνιαίες συγκεντρώσεις O_3 παρατηρήθηκαν το μήνα Νοέμβριο κατά τα έτη 2018 και 2019 ($8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα).

3) Το ημερήσιο όριο για το O_3 αναφέρεται σε 8ωρη μέτρηση και είναι $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Δεν μετρήθηκε καμιά υπέρβαση στο χρονικό διάστημα των 2 χρόνων μελέτης.

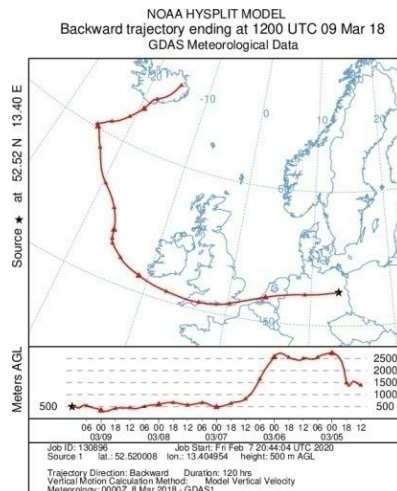


Γράφημα 11.30: Μέσες Ημερήσιες τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Βερολίνο

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών μεταξύ 1 Απρίλη 2018 έως 30 Σεπτέμβρη 2018 μετρήθηκε μέση συγκέντρωση 36,1 µg/m³ και το χρονικό διάστημα 1 Απρίλη 2019 έως 30 Σεπτέμβρη 2019 μέση συγκέντρωση 34,8 µg/m³, μέση μείωση μεταξύ των θερινών περιόδων των δύο ετών 2 µg/m³.

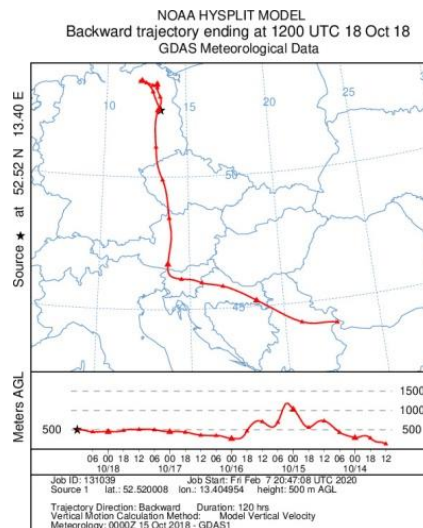
5) Τους χειμερινούς μήνες και κατά στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 με μέσες συγκεντρώσεις 15,6 µg/m³ και 16,1 µg/m³ παρατηρήθηκε μέση αύξηση ίση με 1 µg/m³.

6) Συγκρίνοντας τη θερινή και την ψυχρή περίοδο μεταξύ των δύο χρόνων και πιο συγκεκριμένα για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 36,1µg/m³ και 15,7 µg/m³ αντίστοιχα κατά το έτος 2018. Κατά το έτος 2019 και για τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2019-30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 -31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις 34,9 µg/m³ και 16,1 µg/m³ αντίστοιχα.



Εικόνα11.12: Πορεία αέριας μάζας στις 9/3/2018 στο Βερολίνο με το πρόγραμμα HYSPLIT

Από τη παραπάνω εικόνα παρατηρείται ότι η αέρια μάζα ξεκίνησε από την Ισλανδία αρχικά από ύψος 1.500 m και με τη βοήθεια νοτιοδυτικών ανέμων στην συνέχεια κινήθηκε υψηλότερα στα 3.000 m και απότομα έπεσε στα 500 m διανύοντας το Βόρειο Ατλαντικό. Έπειτα πέρασε πάνω από την Ολλανδία και κατέληξε στο Βερολίνο με συγκέντρωση PM_{10} $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή αρκετά υψηλή σε σύγκριση με το ανώτατο ημερήσιο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που ισχύει στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τα PM_{10} .



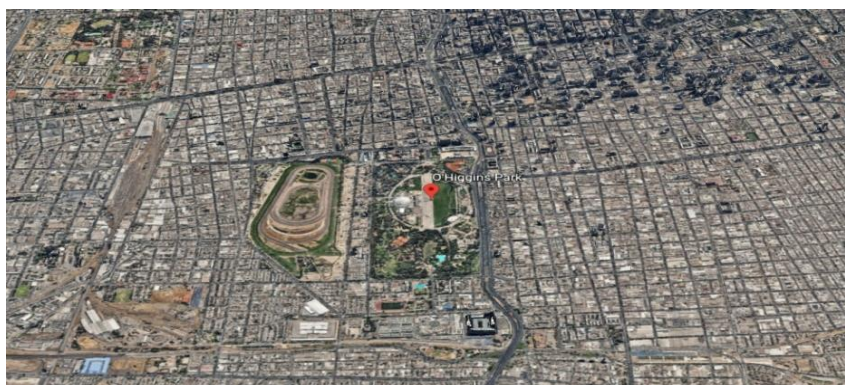
Εικόνα 11.13: Πορεία αέριας μάζας στις 18 Οκτωβρίου 2018 στο Βερολίνο

Στις 18 Οκτωβρίου 2018 μετρήθηκε μία εξίσου υψηλή τιμή (PM_{10} $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$), η οποία μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Η αέρια μάζα ξεκίνησε από τη Σερβία και με τη συμβολή βόρειων και δυτικών ανέμων σε διάστημα 5 ημερών πέρασε από το Ζάγκρεμπ, τη Σλοβενία, την Αυστρία, την Τσεχία και κατέληξε στο Βερολίνο. Σε όλο αυτό το διάστημα η αέρια μάζα κινούμενη σε χαμηλό υψόμετρο (500m) επηρεάστηκε σημαντικά από τις χώρες που διέσχισε.

11.6 Σαντιάγκο, Χιλή

Ο σταθμός παρακολούθησης έχει πάρει το όνομα του από το 2^ο μεγαλύτερο πάρκο στη Χιλή Ο' Higgins, στο οποίο και έχει τοποθετηθεί. Το πάρκο βρίσκεται στο κέντρο του Σαντιάγκο και πιο συγκεκριμένα βρίσκεται δίπλα σε σταθμό του μετρό και κοντά στην κεντρική οδό Autopista του Σαντιάγκο.[78]

Λόγω του ότι το Σαντιάγκο βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο, οι εποχές εναλλάσσονται αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, κατά την χειμερινή περίοδο που διαρκεί Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ κατά τη θερινή εποχή από το Δεκέμβριο μέχρι το Φεβρουάριο επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες. Οι ελλείψεις δεδομένων από το συγκεκριμένο σταθμό αντιστοιχεί σε ποσοστό 20% συνολικά και τα δύο χρόνια.



Εικόνα11.14: Θέση σταθμού παρακολούθησης στο πάρκο Parque O' Higgins στην πόλη του Σαντιάγκο της Χιλής

Πίνακας 11.16: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀ κατά τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

PM ₁₀ (μg/m ³)	2018	2019
Average	61,1	66,4
Stdev	21,4	22,2

Από το παραπάνω πίνακα διαπιστώθηκε ότι κατά τα 2 χρόνια με συγκεντρώσεις 61,1 ± 21,4 μg/m³ το έτος 2018 και 66,4 ± 22,2 μg/m³ το έτος 2019 μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο, τα 50 μg/m³ και τα 2 χρόνια.

Πίνακας 11.17: Μέση Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για το NO₂ κατά τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

NO ₂ (µg/m ³)	2018	2019
Average	28,8	28,7
Stdev	20,5	16,8

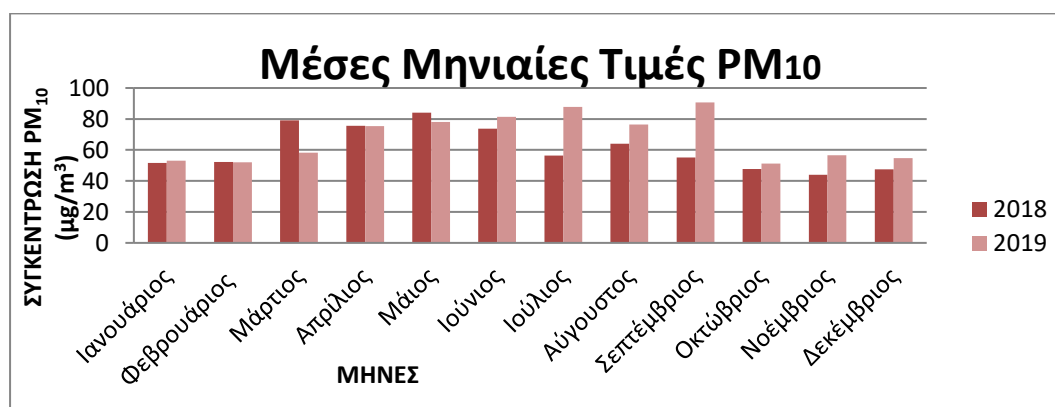
Όσον αφορά το NO₂ με συγκεντρώσεις $28,8 \pm 20,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2018 και $28,7 \pm 16,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2019, μετρήθηκαν Μέσες Ετήσιες Τιμές χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο, που είναι $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίνακας 11.18: Μέση Ετήσια Τιμή (Average) και Τυπική Απόκλιση (Stdev) για τα O₃ κατά τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

O ₃ (µg/m ³)	2018	2019
Average	25,1	27,2
Stdev	13,3	13

Το O₃ σημείωσε συγκεντρώσεις το έτος 2018 $25,1 \pm 13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και το έτος 2019 $27,2 \pm 13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Διαπιστώθηκε ότι κατά τα δύο έτη μετρήθηκαν μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις χαμηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο, το οποίο είναι $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

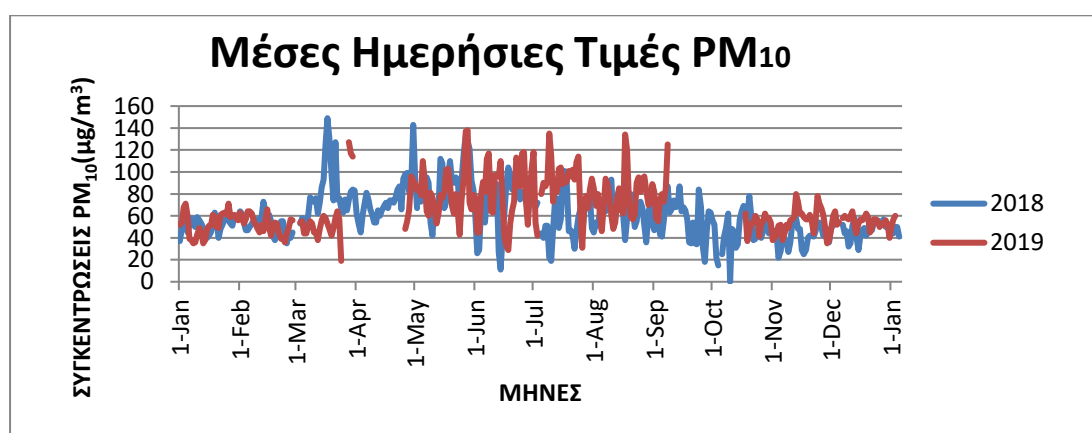
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές PM₁₀



Γράφημα 11.31: Μέσες Μηνιαίες τιμές PM₁₀ για τα έτη 2018 - 2019 στο Σαντιάγκο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Από το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών PM_{10} οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το μήνα Μάιο (συγκέντρωση $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2018, ενώ τον επόμενο χρόνο το μήνα Σεπτέμβριο ($90,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- 2) Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις PM_{10} παρατηρήθηκαν το μήνα Νοέμβριο (συγκέντρωση $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2018 και τους μήνες Φεβρουάριο ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και Οκτώβριο ($51,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το έτος 2019.
- 3) Η ανώτατη επιτρεπτή μέση ημερήσια τιμή στη Χιλή για τα PM_{10} είναι $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, και δεν διαπιστώθηκε καμία υπέρβαση μέσης ημερήσιας συγκέντρωσης κανένα από τα δύο έτη.



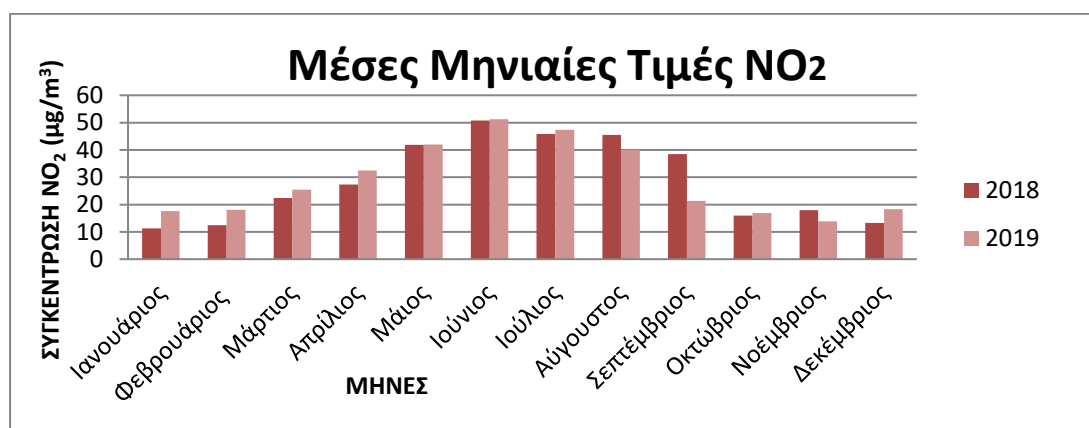
Γράφημα 11.32: Μέσες Ημερήσιες Τιμές PM_{10} για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

- 4) Από τα δεδομένα του προέκυψαν από τις μετρήσεις των PM_{10} για τα 2 χρόνια και με βάση το ανώτατο επιτρεπτό ετήσιο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 μετρήθηκαν 253 υπερβάσεις και το 2019 233 υπερβάσεις. Το έτος 2018 οι περισσότερες υπερβάσεις μετρήθηκαν το μήνα Μάρτιο (31), ενώ το έτος 2019 οι περισσότερες υπερβάσεις μετρήθηκαν το μήνα Ιούλιο (30).
- 5) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Σαντιάγκο στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 παρατηρήθηκε αύξηση $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις PM_{10} $49,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $57,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.
- 6) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 για τα PM_{10} , στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε

συγκέντρωση $68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα μεταξύ 1 Απριλίου 2019 και 30 Σεπτεμβρίου 2019 συγκέντρωση $80,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Δηλαδή αύξηση $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7) Από τη σύγκριση της θερινής και χειμερινής εποχής για κάθε χρόνο συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 για το έτος 2018 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις $68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $49,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις PM_{10} $80,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $57,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

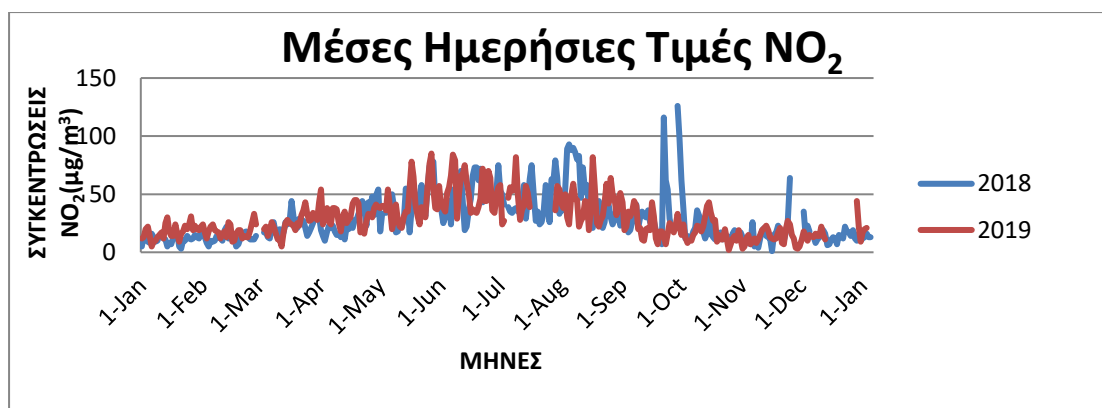
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές NO_2



Γράφημα 11.33: Μέσες Μηνιαίες Τιμές NO_2 για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Από το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών NO_2 οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τον χειμερινό μήνα Ιούνιο και τα 2 χρόνια με μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις $50,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2018) και $51,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2019) αντίστοιχα.
- 2) Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις NO_2 παρατηρήθηκαν το μήνα Ιανουάριο ($11,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) το 2018, ενώ το έτος 2019 το μήνα Νοέμβριο ($13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Γράφημα 11.34: Μέσες Ημερήσιες Τιμές NO₂ για τα έτη 2018-2019 στο Σαντιάγκο

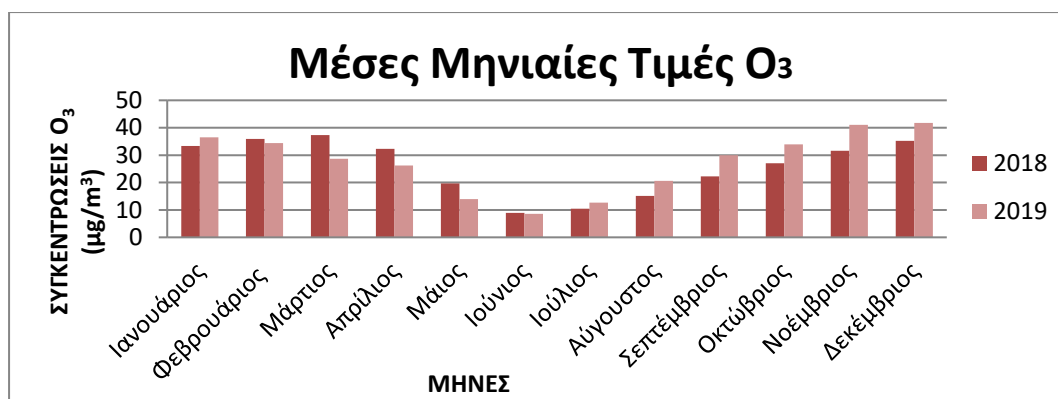
3) Με βάση το ανώτατο επιτρεπτό ετήσιο όριο των 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των NO₂ μετρήθηκαν 2 υπερβάσεις κατά το μήνα Σεπτέμβριο του 2018, ενώ το 2019 δεν παρατηρήθηκε καμία υπέρβαση.

4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στο Σαντιάγκο στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις NO₂ 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 15,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Επομένως διαπιστώθηκε μια μέση μείωση κατά 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019 για τα NO₂, στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε συγκέντρωση 41,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα στο χρονικό διάστημα μεταξύ 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 συγκέντρωση 39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Δηλαδή διαπιστώθηκε μια μέση μείωση κατά 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6) Από τη σύγκριση της θερινής και χειμερινής εποχής για κάθε χρόνο και συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 για το έτος 2018 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις 41,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 18,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν πολύ υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις NO₂ σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος 80,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 57,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

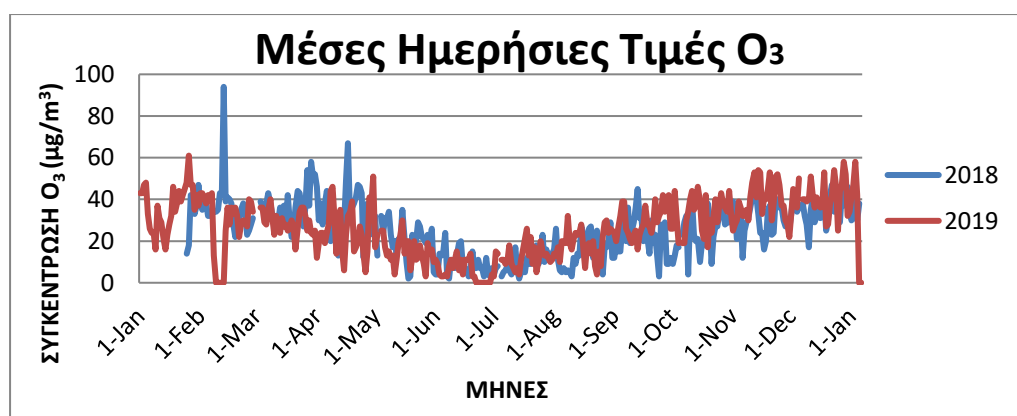
Μέσες Μηνιαίες και Ημερήσιες Τιμές O₃



Γράφημα 11.35: Μέσες Μηνιαίες Τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

Από τα δεδομένα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι:

- 1) Από το διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών O₃ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν το μήνα Μάρτιο (37,3 µg/m³) του 2018, ενώ το έτος 2019 τους μήνες Νοέμβριο (41,1 µg/m³) και Δεκέμβριο (41,7 µg/m³).
- 2) Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις O₃ παρατηρήθηκαν και για τα δύο χρόνια κατά τους χειμερινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο (Ιούνιος 2018: 9 µg/m³, Ιούλιος 2018: 10,5 µg/m³, Ιούνιος 2019: 8,5 µg/m³, Ιούλιος 2019: 12,7 µg/m³).
- 3) Συγκρίνοντας τις μέσες ημερήσιες και μηνιαίες συγκεντρώσεις με το θεσμοθετημένο ανώτατο ημερήσιο όριο για το O₃, το οποίο αντιστοιχεί σε δωρη μέτρηση και είναι τα 120 µg/m³, διαπιστώνουμε ότι δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση και τα δύο χρόνια στην πόλη του Σαντιάγκο.



Γράφημα 11.36: Μέσες Ημερήσιες Τιμές O₃ για τα έτη 2018 και 2019 στο Σαντιάγκο

- 4) Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών στα χρονικά διαστήματα 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 σχετικά με τα

επίπεδα O_3 παρατηρήθηκε μέση αύξηση κατά $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ με συγκεντρώσεις $35,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2018 και $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το έτος 2019.

5) Συγκρίνοντας τους χειμερινούς μήνες του 2018 και του 2019, και συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 μετρήθηκε μέση συγκέντρωση O_3 $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και αντίστοιχα μεταξύ 1 Απριλίου 2019 και 30 Σεπτεμβρίου 2019 συγκέντρωση $41,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6) Όσον αφορά στους συντελεστές συσχέτισης PEARSON μια καλή τιμή παρατηρήθηκε το έτος 2019 μεταξύ των ρύπων PM_{10} και NO_2 με τιμή συντελεστή 0,80.

7) Από τη σύγκριση της θερινής και χειμερινής εποχής για κάθε χρόνο (2018-2019) και συγκεκριμένα στα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018 και 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019 για το έτος 2018 μετρήθηκαν συγκεντρώσεις $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $35,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 31 Μαρτίου 2020 μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις O_3 $41,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα.

12^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η δυναμική των αιωρούμενων σωματιδίων και αέριων ρύπων, διοξειδίου του αζώτου και τροποσφαιρικού όζοντος στην ατμόσφαιρα των παρακάτω έξι αστικών κέντρων του πλανήτη, Ευρωπαϊκών και μη χωρών, και συγκεκριμένα στο Άμστερνταμ, στο Βερολίνο, στο Γκντάνσκ, στο Τόκυο, στο Χονγκ Κονγκ και στο Σαντιάγο. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δεδομένα από την πλατφόρμα W.A.Q.I. για τα έτη 2018 και 2019 που αφορούν τους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους PM_{10} , NO_2 και O_3 για κάθε μια από τις προαναφερόμενες πόλεις. Επιπλέον με την χρήση του προγράμματος HYSPLIT διερευνήθηκε περαιτέρω η πορεία των αέριων μαζών τις ημέρες που παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων.

Διαπιστώθηκαν αρκετές ελλείψεις δεδομένων από το πρόγραμμα W.A.Q.I., οι οποίες ενδέχεται να οφείλονται σε βλάβες που παρουσιάστηκαν στους σταθμούς παρακολούθησης, με αποτέλεσμα η μέτρηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης τις συγκεκριμένες ημέρες να καθίσταται αδύνατη. Παρόλα αυτά οι ελλείψεις δεδομένων ήταν χαμηλότερες του μέσου όρου 5,83% γεγονός που επέτρεψε την ασφαλή παρακολούθηση και αξιολόγηση των μέσων ετήσιων, μηνιαίων και ημερήσιων συγκεντρώσεων.

Ακολουθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν για κάθε πόλη.

- **Άμστερνταμ της Ολλανδίας**

Από την προηγούμενη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από μετρήσεις που αφορούν στην πρωτεύουσα της Ολλανδίας, παρατηρήθηκε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις και στους 3 ρύπους σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια των ανοιξιάτικων κυρίως μηνών κατά το έτος 2018. Το έτος 2019, τα PM_{10} κατέγραψαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά το μήνα Φεβρουάριο, το NO_2 τον Οκτώβριο και το O_3 τον Ιούνιο. Οι λίγες ημερήσιες εξάρσεις των PM_{10} , πιθανότατα να οφείλονται είτε σε μεταφορά σκόνης από την Αφρική είτε σε μεταφορά ρύπων από τις γύρω χώρες σε συνδυασμό με συνθήκες άπνοιας όπως φάνηκε και από την οπισθοπορεία των αερίων μαζών δύο ημέρες με υπερβάσεις. Αντίστοιχα, οι υψηλές συγκεντρώσεις NO_2 μπορεί να οφείλονται σε αυξημένη κίνηση οχημάτων και επιπλέον εκπομπές από άλλους κινητήρες εσωτερικής καύσης, σε αέριους ρύπους που εκπέμπονται από βιομηχανίες που υπάρχουν στο Άμστερνταμ και τις γύρω περιοχές (διασυνοριακή

ρύπανση), καθώς και από οικιακή θέρμανση με χρήση φυσικού αερίου. Παράλληλα, το λιμάνι Ρότερνταμ το οποίο είναι το μεγαλύτερο λιμάνι της Ευρώπης, βρίσκεται μερικά χιλιόμετρα μακριά από την πρωτεύουσα και πιθανότητα συμβάλλει μέσω των εκπομπών της ναυτιλίας εξίσου στην αύξηση των συγκεντρώσεων. Οι υψηλές τιμές του φωτοχημικού, δευτερογενούς ρύπου O_3 μπορεί να οφείλονται σε αυξημένη ηλιοφάνεια και στην εμφάνιση του φαινομένου της φωτοχημικής ρύπανσης ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες.

Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Οι υγρές κατακρημνίσεις και η επικράτηση βορειοδυτικών κυρίως ανέμων που πνέουν όλο το χρόνο στο Άμστερνταμ, συμβάλλουν σημαντικά στον καθαρισμό της ατμόσφαιρας από σωματίδια που αιωρούνται.

Έπειτα από σύγκριση των θερινών και των χειμερινών μηνών ξεχωριστά για κάθε χρόνο, μόνο οι συγκεντρώσεις του O_3 είχαν σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν μέσες συγκεντρώσεις $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2018 και $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το 2019.

Με την επεξεργασία των μέσων ετήσιων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων για κάθε ρύπο προέκυψε ότι για τα PM_{10} το 2018 μετρήθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το 2019 και αρκετά κοντά με το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό ετήσιο όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σχετικά με τα όρια των ημερήσιων συγκεντρώσεων των ρύπων της ατμόσφαιρας και τον αριθμό των υπερβάσεων, με βάση το ημερήσιο ανώτατο όριο των PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), μετρήθηκαν 12 υπερβάσεις το έτος 2018 και 4 υπερβάσεις τον επόμενο χρόνο 2019. Με βάση το ετήσιο όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που ισχύει για τον ίδιο ρύπο και επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων τις 35 φορές ανά χρόνο, το 2018 μετρήθηκαν 39 υπερβάσεις ενώ τον αμέσως επόμενο χρόνο 21 υπερβάσεις. Σύμφωνα με τα όρια των μέσων ημερήσιων και ετήσιων τιμών του NO_2 , το 2018 καταγράφηκαν 5 υπερβάσεις και το 2019, 8 υπερβάσεις. Επίσης σύμφωνα με τη θεσμοθετημένη μέγιστη ημερήσια τιμή του O_3 των $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση και τα δύο χρόνια. Συνολικά, ενώ τα αιωρούμενα PM_{10} υπερέβησαν λίγες ημέρες το θεσμοθετημένο ημερήσιο όριο το έτος 2018, παρατηρείται αισθητή μείωση των υπερβάσεων τον αμέσως επόμενο χρόνο 2019. Από την άλλη παρατηρείται αύξηση στις υπερβάσεις των NO_2 και καθόλου υπερβάσεις στο O_3 .

- **Βερολίνο της Γερμανίας**

Από τα διαγράμματα που αφορούν το Βερολίνο παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις και για τους 3 ρύπους τους ανοιξιάτικους μήνες. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2018 η υψηλότερη τιμή PM_{10} μετρήθηκε το μήνα Μάρτιο, για το NO_2 το μήνα Απρίλιο και το O_3 το μήνα Μάιο. Το έτος 2019, τα PM_{10} και το NO_2 σημείωσαν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια του μήνα Φεβρουαρίου και το O_3 , το μήνα Ιούνιο. Ο λόγος των υψηλών συγκεντρώσεων πιθανότατα να οφείλεται είτε στην μεταφορά αφρικανικής σκόνης είτε στην επικράτηση συνθηκών άπνοιας με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η απομάκρυνση των εκπομπών που προέρχονται από μεταφορές, βιομηχανικές δραστηριότητες και οικιακή θέρμανση ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Η διασυννοριακή ρύπανση λόγω της γεωγραφικής θέσης του Βερολίνου, όπως φάνηκε και από την οπισθοπορεία των αερίων μαζών σε δύο ημερομηνίες του έτους 2018(09/03/2018 και 18/10/2018, Εικόνες 11.12 και 11.13) είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που εντείνει το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη πόλη.

Από την άλλη, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους χειμερινούς κυρίως μήνες, το Νοέμβριο και το Δεκέμβριο, καθώς εκείνη την εποχή στο Βερολίνο καταγράφονται έντονα φαινόμενα υγρής κατακρήμνισης, χαμηλές θερμοκρασίες, ισχυροί άνεμοι και ελάχιστη ηλιοφάνεια στην πόλη.

Από την επεξεργασία των μέσω ετήσιων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων των PM_{10} προέκυψε ότι το έτος 2018 μετρήθηκε μία ελαφριά υπέρβαση πάνω από το θεσμοθετημένο επιτρεπτό όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σχετικά με τα όρια των συγκεντρώσεων των PM_{10} της ατμόσφαιρας και τον επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων στο Βερολίνο ισχύει το ευρωπαϊκό ανώτατο επιτρεπτό ημερήσιο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα PM_{10} , το οποίο δεν πρέπει να σημειώνεται υπερβάσεις περισσότερες από 35 φορές ανά έτος. Μετρήθηκαν 28 υπερβάσεις το 2018 και 12 υπερβάσεις τον αμέσως επόμενο χρόνο. Σύμφωνα με το ετήσιο όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ που ισχύει για τον ίδιο ρύπο μετρήθηκαν. Σχετικά με τις συγκεντρώσεις του NO_2 , ισχύει το ευρωπαϊκό ετήσιο όριο των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Σύμφωνα με αυτό, το έτος 2018 μετρήθηκαν 24 ημερήσιες υπερβάσεις και το 2019 μόνο 4 υπερβάσεις. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις του O_3 με ανώτατο ημερήσιο όριο 8-ώρων τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση στο διάστημα των δύο αυτών χρόνων.

Σχετικά καλή συσχέτιση Pearson με τιμή 0,61 παρουσιάστηκε για το ζεύγος παραμέτρων PM_{10} - O_3 μεταξύ των δύο ετών, το οποίο φανερώνει ότι οι πηγές των σωματιδίων και του όζοντος ήταν κοινές τις περισσότερες μέρες.

- **Γκντάνσκ της Πολωνίας**

Στη πόλη του Γκντάνσκ της Πολωνίας παρατηρήθηκε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν τους ανοιξιάτικους και χειμωνιάτικους μήνες. Η αύξηση στις συγκεντρώσεις των σωματιδίων μπορεί να οφείλεται σε μεταφορά αερίων μαζών από βόρειες κυρίως χώρες, σε επιδράσεις της Βαλτικής Θάλασσας με θαλάσσιες αέριες μάζες καθώς και σε αέρια ρύπανση που φτάνει από τις γύρω χώρες με τη βοήθεια του ανέμου και επηρεάζει το Γκντάνσκ λόγω της γεωγραφικής του θέσης, όπως φαίνεται και στις εικόνες 11.2 και 11.3 η οπισθοπορεία των αερίων μαζών κατά τις ημερομηνίες 09/02/2018, 17 και 18/10/2018, όπου μετρήθηκαν ημερήσιες υπερβάσεις των PM_{10} .

Τους χειμερινούς μήνες οι τιμές των PM_{10} είχαν αυξητική τάση, πιθανόν λόγω αυξημένης ανάγκης για θέρμανση, κυκλοφορίας αυτοκινήτων καθώς και της επικράτησης δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, όπως φαινόμενα χειμερινής αιθαλομίχλης και θερμοκρασιακής αναστροφής. Ο κρύος αέρας λόγω του βάρους και της πυκνότητας του περνάει κάτω από το ρυπασμένο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ζεστό αέρα με αποτέλεσμα να υπάρχει στασιμότητα του αέρα πάνω από μια περιοχή.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, ειδικότερα τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Νοέμβριο. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις το φθινόπωρο πιθανόν να οφείλονται στις ευνοϊκές καιρικές συνθήκες που επικρατούν λόγω εποχής.

Συγκρίνοντας τη θερινή και τη χειμερινή εποχή κάθε έτους, η μέση συγκέντρωση του τροποσφαιρικού O_3 , φωτοχημικού ρύπου, παρουσίασε μια αναμενόμενη μείωση κατά $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ το χειμώνα σε σύγκριση με το καλοκαίρι, η οποία διαπιστώθηκε και τα 2 χρόνια, πιθανότατα λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας κατά τους χειμερινούς μήνες.

Όσον αφορά στα όρια των ατμοσφαιρικών ρύπων και στον επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων για τη Πολωνία, ισχύουν τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Πιο συγκεκριμένα, με βάση το ημερήσιο όριο των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

μετρήθηκαν 8 υπερβάσεις κατά το έτος 2018 και 5 υπερβάσεις κατά το έτος 2019. Ακόμη, οι συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων NO₂ και του O₃ δεν ξεπέρασαν τα όρια σε ημερήσια και ετήσια βάση.

Καλή συσχέτιση Pearson προέκυψε μεταξύ των ρύπων PM₁₀-NO₂ με τιμή 0,72 κατά τη διάρκεια του έτους 2018, και 0,61 κατά το έτος 2019. Η τιμή αυτή ερμηνεύεται ως αποτέλεσμα των κοινών πηγών εκπομπής των δύο ρύπων.

- **Τόκιο της Ιαπωνίας**

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀ παρατηρήθηκαν κατά το μήνα Αύγουστο και τα δύο χρόνια. Ο Αύγουστος θεωρείται ο πιο ζεστός μήνας στο Τόκιο. Οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με συνθήκες άπνοιας, οι εκπομπές από τις μεταφορές και τις βιομηχανίες, ακόμα και η τέφρα από πιθανές εκρήξεις των ηφαιστειών της χώρας, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την ρύπανση της ατμόσφαιρας της πόλης και γενικά της χώρας. Οι συγκεντρώσεις του NO₂ αντίστοιχα παρουσίασαν μέγιστες ημερήσιες τιμές κατά το μήνα Δεκέμβριο και τα 2 χρόνια. Αν και ο Δεκέμβριος είναι χειμερινός μήνας, παρόλα αυτά τις ηλιόλουστες μέρες σε συνδυασμό με τις τοπικές εκπομπές ρύπων από εργοστάσια, ρύποι συσσωρεύονται στο αέρα και αυξάνονται οι συγκεντρώσεις του NO₂. Τέλος το τροποσφαιρικό O₃(φωτοχημικός ρύπος) είχε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του κατά τους ανοιξιάτικους κυρίως μήνες, πιθανόν λόγω αυξημένης ηλιοφάνειας.

Οι χαμηλότερες μέσες συγκεντρώσεις των PM₁₀ αιωρούμενων σωματιδίων μετρήθηκαν κατά το μήνα Ιανουάριο και τα 2 χρόνια. Χαμηλές συγκεντρώσεις NO₂ μετρήθηκαν τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, καθώς τότε υπάρχουν υψηλά επίπεδα υγρών κατακρημνίσεων, ενώ συχνά τυφώνες πλήττουν την πόλη. Τέλος οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις O₃ μετρήθηκαν κατά το μήνα Δεκέμβριο και τα δύο χρόνια, καθώς εκείνη την περίοδο πνέουν συχνοί άνεμοι και είναι μειωμένη η ηλιοφάνεια.

Όσον αφορά στον έλεγχο των υπερβάσεων των συγκεντρώσεων των PM₁₀ αιωρούμενων σωματιδίων, στην Ιαπωνία έχει οριστεί το ημερήσιο όριο των 50 μg/m³. Έτσι, σε ημερήσια βάση μετρήθηκαν 10 υπερβάσεις το έτος 2018 και 4 το έτος 2019, μερικές εκ των οποίων σχετίζονται με αέριες μάζες προερχόμενες από γειτονικές χώρες, όπως φαίνεται από τις οπισθοπορείες που παρουσιάζονται στις εικόνες 11.5

και 11.6 από 04/04/2018 και 27/05/2019. Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις του NO₂ ισχύει η ανώτατη μέση ημερήσια τιμή των 113 μg/m³, σύμφωνα με την οποία δεν μετρήθηκε καμία τιμή πάνω από το όριο και τα 2 χρόνο. Για το O₃ ισχύει το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 100 μg/m³ στην Ιαπωνία. Με βάση αυτό το όριο δεν διαπιστώθηκε επίσης καμία υπέρβαση και τα 2 χρόνια.

- **Χονγκ Κονγκ της Κίνας**

Έπειτα από επεξεργασία των δεδομένων του Χονγκ Κονγκ για τους 3 ρύπους έγιναν οι εξής παρατηρήσεις και διαμορφώθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Αρχικά, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν κατά τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες. Η αυξημένη ηλιοφάνεια εκείνους τους μήνες του έτους και η απουσία ισχυρού αέρα σε συνδυασμό με εκπομπές που προέρχονται από οχήματα, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, θαλάσσια σκάφη και θέρμανση συμβάλλουν στην αύξηση της ρύπανσης του αέρα. Επίσης η ύπαρξη υψηλών κτιρίων και ουρανοξυστών στο Χονγκ Κονγκ, τα οποία χωρίζουν σχετικά στενές οδικές αρτηρίες δυσκολεύουν την απορρύπανση της πόλης δημιουργώντας εύκολα αποπνικτικές καταστάσεις.

Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αναμενόμενο, καθώς συχνά από το μήνα Ιούνιο μέχρι και το μήνα Σεπτέμβριο κάνουν την εμφάνιση τους τυφώνες, οι οποίοι πλήττουν την πόλη του Χονγκ Κονγκ με ισχυρούς ανέμους και καταιγίδες.

Από την επεξεργασία των μέσων ετήσιων τιμών και της τυπικής απόκλισης τους προέκυψε ότι μετρήθηκαν συγκεντρώσεις NO₂ υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο των 40 μg/m³ και τα 2 χρόνια.

Με βάση το ημερήσιο όριο των PM₁₀ των 100 μg/m³ (διπλάσιο του αντίστοιχου ευρωπαϊκού ορίου) και επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων τις 9 φορές, δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση και τα δύο χρόνια. Για το O₃ δεν μετρήθηκε επίσης καμία υπέρβαση όσον αφορά τα 2 χρόνια σύμφωνα με το 8ωρο ημερήσιο όριο των 160 μg/m³ και τον επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων 9 φορές ετησίως. Με βάση το ετήσιο όριο των 40 μg/m³ που ισχύει για το NO₂, το 2018 μετρήθηκαν 123 υπερβάσεις και 122 υπερβάσεις τον επόμενο χρόνο.

Σημαντικό είναι ότι από τη σύγκριση των θερινών μηνών μεταξύ των 2 χρόνων προέκυψε ότι οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ είχαν μία μέση αύξηση κατά 3 μg/m³ το έτος 2019 σε σύγκριση με το έτος 2018. Το ίδιο ισχύει και για τις συγκεντρώσεις του

O₃, όπου παρατηρήθηκε μία μέση αύξηση κατά 6 μg/m³ το 2019. Ακόμα πιο σημαντική παρατήρηση όμως είναι η μέση αύξηση των 8 μg/m³ στις συγκεντρώσεις του O₃ κατά τους χειμερινούς μήνες του έτους 2019.

Συγκρίνοντας, τη θερινή με τη χειμερινή εποχή κατά τα χρονικά διαστήματα 1 Απριλίου 2018 έως 30 Σεπτεμβρίου 2018, 1 Οκτωβρίου 2018 έως 31 Μαρτίου 2019, καθώς και 1 Απριλίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2019 και 1 Οκτωβρίου 2019 έως 30 Σεπτεμβρίου 2020 παρατηρήθηκε μέση αύξηση 3 μg/m³ στις συγκεντρώσεις PM₁₀ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2019 σε σύγκριση με τους αντίστοιχους μήνες του 2018. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στις συγκεντρώσεις του O₃ και στις 2 εποχές καθώς οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν το καλοκαίρι και το χειμώνα του 2019 ήταν αυξημένες από 6 έως 8 μg/m³ το 2019 σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις του έτους 2018.

- **Σαντιάγκο της Χιλής**

Το Σαντιάγκο βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο οπότε η θερινή εποχή διαρκεί από 1 Οκτωβρίου έως 31 Μαρτίου και η χειμερινή εποχή από 1 Απριλίου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου. Παρατηρήθηκαν αρκετές υπερβάσεις στις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, οι οποίες οφείλονται περισσότερο στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες αλλά όχι μόνο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αέριων ρύπων στην πόλη του Σαντιάγκο οφείλονται κυρίως στη μορφολογία του εδάφους, η οποία εμποδίζει τη διασπορά, διάχυση και αραίωση των εκπεμπόμενων ρύπων λόγω της ύπαρξης ψηλών βουνών γύρω από την πόλη, με αποτέλεσμα τη παγίδευση τους στην λεκάνη της Χιλιανής πρωτεύουσας προκαλώντας συχνά αποπνικτικές συνθήκες. Επίσης, τα μέσα μεταφοράς, η αυξημένη βιομηχανοποίηση, η ανάγκη για θέρμανση κατά τους χειμερινούς κυρίως μήνες και οι δασικές πυρκαγιές λόγω συνθηκών ξηρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες είναι παράγοντες που επίσης συμβάλλουν στην ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους χειμωνιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα, εκείνες τις περιόδους επικρατούν ισχυροί άνεμοι, ενώ δεν λείπουν και οι υγρές κατακρημνίσεις, οι οποίες βοηθούν σημαντικά στο καθαρισμό της ατμόσφαιρας απομακρύνοντας από την ατμόσφαιρα πλήθος σωματιδίων που αιωρούνταν.

Το Σαντιάγκο θεωρείται από τις πλέον ρυπασμένες ατμοσφαιρικά πόλεις στον κόσμο. Συγκρίνοντας τα δύο έτη, παρατηρείται αύξηση όσον αφορά στα επίπεδα των PM_{10} και του τροποσφαιρικού O_3 .

Από την επεξεργασία των μέσων ετήσιων τιμών και τυπικών αποκλίσεων των ρύπων, προέκυψε ότι συγκεκριμένα στα PM_{10} μετρήθηκαν ετήσιες συγκεντρώσεις υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο, τα $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Όσον αφορά τα όρια των τριών ατμοσφαιρικών ρύπων και τον επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων για την Χιλή ισχύουν τα παρακάτω. Το ημερήσιο όριο των PM_{10} έχει οριστεί στη Χιλή σε $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 φορές υψηλότερο συγκριτικά με το όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης), και προφανώς για αυτό το λόγο δεν μετρήθηκε κάποια υπέρβαση και τα δύο χρόνια στο Σαντιάγκο. Παρατηρήθηκε ότι τις περισσότερες μέρες και των 2 χρόνων σημειώθηκαν υψηλές τιμές στα PM_{10} κυρίως κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Ισχύει το ετήσιο όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τον ίδιο ρύπο. Επομένως το 2018 μετρήθηκαν 253 υπερβάσεις το 2018 και 233 το επόμενο χρόνο. Σε σχέση με το ετήσιο όριο που ισχύει για το NO_2 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σημειώθηκαν 2 υπερβάσεις το 2018 και καμία τον επόμενο χρόνο. Το ίδιο ισχύει και για το O_3 στο οποίο σύμφωνα με την 8ωρη μέτρηση των $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν μετρήθηκε καμία υπέρβαση.

Τέλος, στο Σαντιάγκο σημειώθηκε ισχυρή συσχέτιση στο συντελεστή Pearson το έτος 2019 μεταξύ των ρύπων $PM_{10} - NO_2$ με τιμή 0,80, γεγονός που αποδίδεται στις αρκετά κοινές πηγές των δύο αυτών ρύπων.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (1)

Το Άμστερνταμ και το Βερολίνο θεωρούνται από τις πιο πράσινες πόλεις στην Ευρώπη καθώς προωθούν τεχνολογίες και καινοτομίες φιλικές προς το περιβάλλον με σκοπό τη αύξηση της βιωσιμότητας όσον αφορά κυρίως στο τομέα των μεταφορών, των βιομηχανιών και της ενέργεια με σκοπό τη μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων. Παρόλα αυτά και οι δύο έρχονται καθημερινά αντιμέτωπες με το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης. Σημαντικό ρόλο και στις 2 πόλεις παίζει η γεωγραφική τους θέση καθώς συνορεύουν με αρκετές χώρες (Βερολίνο). Ο αέρας μεταφέρει ρύπους στην ατμόσφαιρα, οι οποίοι όταν εμπλέκονται και με θαλάσσιες αέριες μάζες (Άμστερνταμ) εντείνουν ακόμα περισσότερο το πρόβλημα. Οι σταθμοί μέτρησης και

των 2 πόλεων βρίσκονται τοποθετημένοι σε κεντρικά σημεία, στα οποία συμβαίνουν διάφορες δραστηριότητες.

Πιο συγκεκριμένα από την σύγκριση του Άμστερνταμ με το Βερολίνο προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις για τους ρύπους NO_2 και PM_{10} και στις δύο μεγαλουπόλεις παρατηρήθηκαν κατά τους ανοιξιάτικους, ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του φωτοχημικού ρύπου O_3 κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με αρκετά παρόμοιες συγκεντρώσεις.
- Αντίστοιχα οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις των μετρούμενων ρύπων παρατηρήθηκαν εξίσου παρόμοιες ημερολογιακές περιόδους, τους καλοκαιρινούς και χειμερινούς μήνες αντίστοιχα.
- Από την σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών και τυπικών αποκλίσεων των δύο πόλεων παρατηρήθηκαν εξίσου παρόμοιες συγκεντρώσεις μεταξύ των ρύπων.
- Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις, και οι δύο χώρες ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ισχύουν τα ίδια θεσμοθετημένα ημερήσια και ετήσια ανώτατα όρια για κάθε ρύπο. Συνολικά σε όλους αέριους ρύπους που μετρήθηκαν στο Βερολίνο παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες τιμές στις συγκεντρώσεις σε σύγκριση με τις αντίστοιχες στο Άμστερνταμ κατά τη διάρκεια των ίδιων χρόνων.
- Με βάση το ημερήσιο όριο των PM_{10} των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και τον επιτρεπτό αριθμό υπερβάσεων των 35 φορών ανά έτος καταγράφηκαν για το Άμστερνταμ 12 υπερβάσεις το έτος 2018 και 4 υπερβάσεις το έτος 2019, ενώ για το Βερολίνο 28 υπερβάσεις το 2018 και 12 υπερβάσεις το έτος 2019. Από τα παραπάνω, διαπιστώνεται ότι οι υπερβάσεις στο Βερολίνο κατά τη διάρκεια του 2018 παρουσίασαν το μεγαλύτερο πλήθος.
- Σε καμία πόλη δεν καταγράφηκαν υπερβάσεις των ετήσιων, μηνιαίων ή ημερήσιων συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων NO_2 και O_3 .

Συνοψίζοντας, το Βερολίνο και το Άμστερνταμ είναι δύο τεράστια αστικά κέντρα, στα οποία δραστηριοποιούνται πλήθος ανθρώπων και βιομηχανιών, ενώ με την επικράτηση κατάλληλων καιρικών συνθηκών μεταφέρονται ρύποι διασπορακικά από γειτονικές χώρες. Πρόκειται για δύο πόλεις, οι οποίες με έξυπνα συστήματα και

κανόνες κυκλοφορίας καταβάλλουν σημαντικές προσπάθειες για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Πάντως, από την σύγκριση της ολλανδικής και γερμανικής πρωτεύουσας, το Βερολίνο είναι αυτό με την ελαφρά πιο επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα. Πιθανότατα η γεωγραφική του θέση να είναι ο κύριος λόγος, για τον οποίο χρειάζεται επιπλέον προσπάθεια με την εφαρμογή αυστηρότερων μέτρων.

Το Χονγκ Κονγκ και το Τόκυο, 2 πόλεις που δεν ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελούν δύο σημαντικούς θαλάσσιους λιμένες. Και οι δυο πόλεις ρυπαίνονται ατμοσφαιρικά από μια πληθώρα εκπομπών τόσα τοπικά όσο και περιφερειακά.

Από τη σύγκριση των 2 πόλεων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Από την σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών και τυπικών αποκλίσεων για τις δύο χώρες προέκυψε ότι το Χονγκ Κονγκ είχε σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με το Τόκυο όσον αφορά στα PM_{10} και στο NO_2 . Αντίθετα παρόλο που το O_3 είχε υψηλότερες τιμές στο Τόκυο, οι συγκεντρώσεις ήταν χαμηλότερες του ημερήσιου ανώτατου επιτρεπτού ορίου.
- Γενικότερα και για τους τρεις ρύπους στο Τόκυο παρατηρούνται σταθερό εύρος συγκεντρώσεων για τους 3 ρύπους, ενώ στο Χονγκ Κονγκ παρατηρείται κυρίως αύξηση των συγκεντρώσεων το έτος 2019 σε σχέση με το 2018.
- Παράλληλα παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις PM_{10} και O_3 στο Τόκυο παρουσίασαν υψηλότερες συγκεντρώσεις σε μηνιαία βάση κατά τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες, πιθανόν λόγω αυξημένων χερσαίων και θαλάσσιων μεταφορών, των καιρικών συνθηκών, τέφρας από εκρήξεις ηφαιστειών, βιομηχανίες και άλλων εκπομπών. Αντίθετα στο Χονγκ Κονγκ μετρήθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες.

Από όλα τα παραπάνω ισχύει ότι οι κάτοικοι του Χονγκ Κονγκ έρχονται καθημερινά αντιμέτωποι με υψηλότερες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, η Πολωνία και η Χιλή είναι δύο χώρες εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντίστοιχα, εκ των οποίων η δεύτερη ανήκει στο νότιο ημισφαίριο και για

αυτό οι εποχές του έτους εναλλάσσονται αντίθετα. Επίσης διαφέρει το νομοθετικό πλαίσιο στις δύο χώρες και τα ανώτατα επιτρεπτά όρια στη Χιλή είναι υψηλότερα εκείνων που ισχύουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στο Γκντάνσκ και στο Σαντιάγκο δραστηριοποιούνται αρκετές βιομηχανίες και εργοστάσια, τα οποία ρυπαίνουν τον αέρα, τον οποίο αναπνέουν οι κάτοικοι. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ιδιαιτερότητα του Σαντιάγκο είναι στην γεωγραφική του θέση καθώς βρίσκεται σε λεκάνη που περιτριγυρίζεται από ψηλά βουνά με αποτέλεσμα ο ρυθμός παραγωγής εκπομπών αέριων ρύπων να είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό απορρύπανσης της ατμόσφαιρας. Από την άλλη η Πολωνία φημίζεται για την παράδοση της στις εξορύξεις άνθρακα. Πρόκειται λοιπόν για δύο μεγαλουπόλεις, στις οποίες ζουν πλήθος ανθρώπων και επομένως οι πηγές ρύπων είναι αρκετές. Οι σταθμοί παρακολούθησης και των δύο πόλεων βρίσκονται τοποθετημένοι σε κεντρικά σημεία, έτσι ώστε στις μετρήσεις να λαμβάνονται υπόψη οι περισσότερες πιθανές πηγές αέριων ρύπων.

Από την σύγκριση του Γκντάνσκ και του Σαντιάγκο παρατηρείται ότι:

- Οι μέσες ετήσιες τιμές και οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων στο Σαντιάγκο ήταν πιο υψηλές από αυτές που σημειώθηκαν στο Γκντάνσκ κυρίως στους ρύπους PM_{10} και NO_2 .
- Οι ημερήσιες συγκεντρώσεις και των 3 ρύπων στο Σαντιάγκο είναι σχεδόν διπλάσιες των αντίστοιχων στο Γκντάνσκ. Συνολικά παρατηρήθηκε ότι τις περισσότερες ημέρες και των δύο χρόνων στην Χιλή καταγράφονταν υψηλές συγκεντρώσεις, ωστόσο παρατηρούνται συγκριτικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις το δεύτερο χρόνο.
- Από τη σύγκριση θερινής-ψυχρής περιόδου στο χρονικό διάστημα 2018 - 2019 παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις PM_{10} και NO_2 στο Γκντάνσκ έχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τους χειμερινούς μήνες, πιθανότατα λόγω των εκπομπών οικιακής θέρμανσης, περισσότερων κινούμενων οχημάτων, θαλάσσιας επιρροής και των βιομηχανιών. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για το O_3 , του οποίου οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς πρόκειται για φωτοχημικό ρύπο και τότε υπάρχει περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει για το Σαντιάγκο, στο οποίο οι συγκεντρώσεις των NO_2 και O_3 ήταν υψηλότερες τους θερινούς μήνες πιθανότατα από

πρωτογενείς ρύπους από πυρκαγιές λόγω συνθηκών ξηρασίας, την βιομηχανία, τα μέσα μεταφοράς, δημιουργώντας τελικά φωτοχημικό νέφος.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η ατμόσφαιρα του Σαντιάγκο της Χιλής είναι αρκετά πιο επιβαρυνμένη από την ατμόσφαιρα του Γκντάνσκ. Όπως και κατά τη σύγκριση του Άμστερνταμ με το Βερολίνο πρωταρχικό ρόλο παίζει η γεωγραφική θέση της πόλης και για αυτό το Σαντιάγκο χρειάζεται επιπλέον προσπάθειες και υψηλότερους περιβαλλοντικούς στόχους για την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας και την μείωση της θνησιμότητας.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (2)

Το *Άμστερνταμ* και το *Χονγκ Κονγκ* όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι δύο παραθαλάσσιες ανεπτυγμένες μεγαλουπόλεις εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντίστοιχα, οι οποίες φιλοξενούν δύο από τα πιο μεγάλα λιμάνια του πλανήτη. Αν και οι δύο πόλεις διαθέτουν ανεπτυγμένο σύστημα μέσων μαζικής μεταφοράς, παρόλα αυτά γίνεται εκτεταμένη χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων. Βιομηχανίες, θαλάσσιες και χερσαίες μεταφορές, διασυνοριακή ρύπανση είναι μερικοί παράγοντες που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα των δύο αυτών πόλεων.

Από την σύγκριση τους προκύπτει ότι:

- Στο Χονγκ Κονγκ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις PM_{10} και NO_2 μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα και οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις το καλοκαίρι. Λόγω του κλίματος του Χονγκ Κονγκ (υγρό υποτροπικό) τους καλοκαιρινούς μήνες, συχνά λαμβάνουν χώρα βροχοπτώσεις και τροπικοί κυκλώνες με αποτέλεσμα τον τακτικό καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Από την άλλη τους χειμερινούς μήνες σημειώθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} λόγω του μεγάλου ποσοστού ηλιοφάνειας, της απουσίας αέρα σε συνδυασμό με την εκπομπή ρύπων από οχήματα, βιομηχανίες, θέρμανση, όπου συμβάλλουν στην αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων. Επίσης η ύπαρξη ουρανοξυστών στην πόλη δυσχεραίνει την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προκαλώντας εύκολα αποπνικτικές συνθήκες. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στο Άμστερνταμ, όπου οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της άνοιξης και οι χαμηλότερες κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

- Σχετικά με τις μέσες ετήσιες τιμές και τις τυπικές αποκλίσεις των δύο χωρών παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερες τιμές PM_{10} και O_3 παρατηρήθηκαν στο Άμστερνταμ σε σύγκριση με το Χονγκ. Σχετικά με τα PM_{10} στο Άμστερνταμ μετρήθηκαν τιμές υψηλότερες από το θεσμοθετημένο ανώτατο επιτρεπτό όριο και τα δύο χρόνια μελέτης. Από την άλλη στο Χονγκ Κονγκ παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές NO_2 και τα δύο χρόνια μελέτης.
- Συγκρίνοντας, για τα δύο αυτά χρόνια τους χειμερινούς με τους θερινούς μήνες παρατηρήθηκε στο Άμστερνταμ στις μέσες συγκεντρώσεις των PM_{10} μια μέση μείωση κατά $6 \mu g/m^3$ ($26 \mu g/m^3$ το 2018, και $20 \mu g/m^3$ το 2019). Αντίθετα στο Χονγκ Κονγκ παρατηρήθηκε μια μέση αύξηση κατά $8 \mu g/m^3$ το έτος 2019 ($57,89 \mu g/m^3$) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις το 2018 ($49,87 \mu g/m^3$) τους θερινούς μήνες. Ενώ τους χειμερινούς μήνες παρατηρήθηκε αύξηση $12 \mu g/m^3$ το 2019 στο Χονγκ Κονγκ.
- Σχετικά με τους χειμερινούς και θερινούς μήνες παρατηρήθηκε σταθερότητα στις συγκεντρώσεις του O_3 στο Άμστερνταμ, σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στο Χονγκ Κονγκ που είχαν μια μέση αύξηση μέχρι και $9 \mu g/m^3$ το έτος 2019 σε σύγκριση με το 2018.

Συνοψίζοντας, από όλα τα παραπάνω παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις του Χονγκ Κονγκ ήταν πολύ πιο αυξημένες σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις ρύπων στο Άμστερνταμ. Δικαιολογημένα καθώς στο Χονγκ Κονγκ κατοικούν περισσότεροι άνθρωποι, οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην κινέζικη αυτή μεγαλούπολη είναι περισσότερες άρα και οι ρύποι είναι περισσότεροι.

Κοινό στοιχείο της πόλης του Βερολίνο και της πόλης του Σαντιάγκο είναι η γεωγραφική τους θέση, η οποία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλουν στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας τους. Το Βερολίνο βρίσκεται στην Κεντρική Ευρώπη, έτσι με την επικράτηση κατάλληλων καιρικών συνθηκών, αέριοι ρύποι από γειτονικές χώρες μεταφέρονται πάνω από τη γερμανική πρωτεύουσα, οι οποίοι σε συνδυασμό με τις εγχώριες εκπομπές προκαλούν δύσκολες καταστάσεις. Το Σαντιάγκο λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας του σε συνδυασμό με τη ύπαρξη πολλών πηγών στην πόλη συμβάλλουν ακόμα περισσότερο στην δημιουργία αποπνικτικών καταστάσεων.

Πιο συγκεκριμένα, από την σύγκριση των δύο πόλεων προέκυψε ότι:

- Από τη σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών και τυπικών αποκλίσεων παρατηρήθηκε ότι στο Σαντιάγο παρατηρήθηκαν υψηλότερες μέσες ετήσιες και μηνιαίες τιμές. Όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις διαπιστώθηκε ότι σε συγκεκριμένες ημερομηνίες οι τιμές στο Σαντιάγο ήταν υπερδιπλάσιες των αντίστοιχων στο Βερολίνο. Το γεγονός ότι δεν έχουν καταγραφεί υπερβάσεις στο Σαντιάγο οφείλεται στο διαφορετικό ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, το οποίο ορίζει υψηλότερα ανώτατα επιτρεπτά όριο στο Σαντιάγο. Συγκρίνοντας τις μέσες ημερήσιες τιμές στις δύο πόλεις προκύπτει το συμπέρασμα ότι τις περισσότερες ημέρες του χρόνου η ατμόσφαιρα στην πόλη του Σαντιάγο ήταν ιδιαίτερα επιβαρυνμένη, και συγκεκριμένα στην περίπτωση που θα ίσχυε το ευρωπαϊκό ημερήσιο όριο για τα PM₁₀ θα είχαν καταγραφεί 255 υπερβάσεις το 2018 και 233 υπερβάσεις το 2019.
- Αντίστοιχα το ίδιο παρατηρείται από την σύγκριση των 2 χρόνων καθώς στο Σαντιάγο κατά τη διάρκεια του 2018 μετρήθηκαν μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις που κυμαίνονταν από 20-69 μg/m³, ενώ τον επόμενο χρόνο, οι συγκεντρώσεις παρουσίασαν αισθητή αύξηση που κυμαίνονταν από 15-80 μg/m³. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στο Βερολίνο όπου οι συγκεντρώσεις και τα 2 χρόνια κυμάνθηκαν από 15-35 μg/m³ και στους 3 ρύπους, εύρος τιμών αρκετά μικρότερο.

Συνοψίζοντας, εκτός της γεωγραφικής θέσης του Σαντιάγο που δημιουργεί περισσότερο επιβαρυνμένες συνθήκες σε σύγκριση με το Βερολίνο όπου με την επικράτηση κατάλληλων συνθηκών είναι πιο δυνατή η απορρύπανση της πόλης, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι απαιτείται τόσο η βελτίωση του νομοθετικού πλαισίου όσο και η μείωση των εκπομπών αλλά και η εφαρμογή αντιρρυπαντικών τεχνολογιών και άλλων περιβαλλοντικών δράσεων στο Σαντιάγο.

Και η τελευταία σύγκριση αφορά στο Γκντάνσκ και στο Τόκυο, δύο παραθαλάσσια μεγάλα αστικά κέντρα εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντίστοιχα. Πρόκειται για δύο πόλεις με βιομηχανική ανάπτυξη και ανεπτυγμένο σύστημα μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα προκύπτει:

Από την σύγκριση των μέσων ετήσιων τιμών και τυπικών αποκλίσεων δεν διαπιστώθηκαν υπερβάσεις των θεσμοθετημένων ορίων σε καμία από τις δύο πόλεις. Παρόλα αυτά συγκρίνοντας τις απόλυτες τιμές του NO₂ διαπιστώθηκε ότι μετρήθηκαν οι διπλάσιες τιμές στο Τόκιο σε σχέση με το Γκντάνσκ.

- Και στις δύο χώρες ισχύει το ημερήσιο όριο για τα PM₁₀ των 50μg/m³. Στο Γκντάνσκ μετρήθηκαν 8 υπερβάσεις το 2018 και 5 υπερβάσεις το 2019 ενώ στο Τόκιο μετρήθηκαν 10 υπερβάσεις (2018) και 4 (2019).
- Για τις συγκεντρώσεις που αφορούν το NO₂ στο Γκντάνσκ μετρήθηκαν χαμηλότερες τιμές.
- Όσον αφορά στις συγκεντρώσεις του O₃ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους ανοιξιάτικους μήνες και στις δύο πόλεις. Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν τους χειμωνιάτικους μήνες καθώς εκείνη την περίοδο επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και άνεμοι.

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω το Τόκιο είχε παρόμοια ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα με το Γκντάνσκ.

Συνοψίζοντας όλα τα προηγούμενα δεδομένα και έπειτα από συγκρίσεις που έγιναν και παρουσιάστηκαν, προέκυψε ότι το Χονγκ Κονγκ και το Σαντιάγκο είναι οι πιο ατμοσφαιρικά ρυπασμένες πόλεις για διαφορετικούς λόγους. Στο Σαντιάγκο τις περισσότερες μέρες και των δύο χρόνων σημειώνονταν υπερβάσεις, ενώ στο Χονγκ Κονγκ σημειώθηκε γενικότερη αυξητική τάση κατά το δεύτερο χρόνο παρακολούθησης.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΕΡΑΙΡΕΤΩ ΕΡΕΥΝΑ

Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στο σαφή καθορισμό των πηγών κάθε πόλης με σκοπό τον περιορισμό των εκπομπών τους εντός συνόρων. Παράλληλα, ο καθορισμός και των απομακρυσμένων πηγών είναι εξίσου σημαντικός για τα κράτη που συνορεύουν, έτσι ώστε να ελέγχονται οι εκπομπές και να επιβάλλονται πρόστιμα στις χώρες που δεν συμμορφώνονται με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία που προκαλούν διασυνοριακή ρύπανση. Χρήσιμη θα ήταν και η έρευνα σχετικά με το συνδυασμό των αποτελεσμάτων με μετεωρολογικά

δεδομένα, όπως π.χ. ύψος κατακρημνίσεων, υγρασία, διεύθυνση ανέμου, για την διαμόρφωση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας των αιτιών που ευνοούν στη ρύπανση της ατμόσφαιρας πάνω από μεγάλες πόλεις εντός και εκτός της Ε.Ε.

Βιβλιογραφία

1. Air Pomerania, *AIRPOMERANIA: Normy* (Πρότυπα), [online], Διαθέσιμο από: airpomerania.pl, [Προσβάσιμο στις 30 Σεπτεμβρίου 2020]
2. Amsterdam Info, *Economy of the Netherlands*, [online], Διαθέσιμο από: Amsterdam.info, [Προσβάσιμο στις 2 Σεπτεμβρίου 2020]
3. Air Quality| Clean Rain| Air Pollution, *Clean air in the UK*, [online], Διαθέσιμο από: <http://www.air-quality.org.uk/index.php>
4. Air Quality Data provided by the Japan Atmospheric Environmental Regional Observational System, *Περιβαλλοντικά Πρότυπα σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση*, [online], Διαθέσιμο από: <http://www.env.go.jp/kijun/taiki.html/>, [Προσβάσιμο στις 1 Νοεμβρίου 2020]
5. Berliner Luftgütemessnetz (Δίκτυο Μέτρησης Ποιότητας Αέρα Στο Βερολίνο), *Aktueller Luftqualitätsindex* (Τρέχων δείκτης ποιότητας αέρα), [online] Διαθέσιμο από: Berlin.de [Προσβάσιμο στις 30 Ιουνίου 2020]
6. Business Location Center, *Mobile Capital, Passenger Service*, [online], Διαθέσιμο από: businesslocationcenter.de/en/, [Προσβάσιμο στις 1 Νοεμβρίου 2020]
7. Centre of Health Protection, Department of Health- The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2020. *The health of Air Pollution*, [online], Διαθέσιμο από: chp.gov.hk, [Προσβάσιμο στις 8 Ιουνίου 2020].
8. Christopher Tung, K&L Gates, 2019, *Environmental law and practice in Hong Kong: overview*, Thomson Reuters-Practical Law, [online], Διαθέσιμο στο: uk.practicallaw.thomsonreuters.com, [Προσβάσιμο στις 22 Σεπτεμβρίου 2020]
9. City of Amsterdam, *Policy: Phasing out natural gas*, [online], Διαθέσιμο στο: amsterdam.nl/en/, [Προσβάσιμο στις 11 Ιουνίου 2020].
10. Climate & Clean Air Coalition, 2017, *Chile takes action on air pollution*, [online], Διαθέσιμο από: ccacoalition.org, [Προσβάσιμο στις 20 Απριλίου 2020].
11. Climate Ready HK, *Cooperation with International Community*, [online], Διαθέσιμο από: climateready.gov.hk, [Προσβάσιμο στις 25 Οκτωβρίου 2020].
12. Council on Hemispheric Affairs, 2015, *The battle to Breathe: Chile's Toxic Threat*, [online], Διαθέσιμο από: coha.org, [Προσβάσιμο στις 5 Οκτωβρίου 2020].
13. E. Gerasopoulos, G. Kouvarakis, P. Babasakalis, M. Vrekoussis, J.-P. Putaud, N. Mihalopoulos, 2006, *Origin and variability of particulate matter (PM10) mass concentrations over the Eastern Mediterranean*, [online], Διαθέσιμο στο: sciencedirect.com, [Προσβάσιμο από 23 Σεπτεμβρίου 2020]

14. Encyclopedia Britannica, *Santiago*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.britannica.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Νοεμβρίου 2020]
15. Environmental Protection Department of Hong Kong, *Related Legislation: Legislation for the Management of Air Quality*, Διαθέσιμο στο: <https://www.epd.gov.hk/> [online] [Προσβάσιμο από 5 Νοεμβρίου 2020]
16. Environmental Protection Department- The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, *Co-operation agreement on regional air pollution control and prevention comes into effect and Macau joins the regional air quality monitoring network*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.epd.gov.hk/epd/english/top.html>, [Προσβάσιμο από 11 Οκτωβρίου 2020]
17. Environmental Protection Department- The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, *Hong Kong's Air Quality Objectives*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.epd.gov.hk/epd/english/top.html>, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
18. ERCA (Environmental Restoration and Conservation Agency), *Νόμοι και κανονισμοί για τη βελτίωση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος*, Διαθέσιμο στο: <https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/kangaeru/kankyuu/04.html>, [Προσβάσιμο από 14 Αυγούστου 2020]
19. European Council, 2017, *Improving air quality: EU acceptance of the Gothenburg Protocol amendment in sight*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.consilium.europa.eu/en/>, [Προσβάσιμο από 5 Μαΐου 2020]
20. European Commission, 2019, *Air Quality Standards*, [online], Διαθέσιμο στο: https://ec.europa.eu/info/index_en, [Προσβάσιμο από 6 Μαΐου 2020]
21. Exponent, Engineering and Scientific Consulting, *CALPUFF Modeling System*, [online], Διαθέσιμο στο: <http://www.src.com/>, [Προσβάσιμο από 6 Ιουλίου 2020]
22. Fundacja Armaag (Κατάσταση του Ατμοσφαιρικού αέρα στο Γκντάνσκ Πολωνίας), *Prognoza Indeksu Jakosci Powietrza* (Πρόβλεψη Δείκτη Ποιότητας Αέρα), [online], Διαθέσιμο στο: <https://armaag.gda.pl/index.htm>, [Προσβάσιμο από 6 Ιουλίου 2020]
23. Government of Canada, 2020. *Canada-Chile agreement on environmental cooperation*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.canada.ca/>, [Προσβάσιμο από 6 Ιουνίου 2020]
24. Government Hong Kong GOVHK, 2019, *Air quality in Hong Kong*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.gov.hk/>, [Προσβάσιμο από 6 Ιουνίου 2020]
25. Green Agenda.gr, 2018. *COP24-Πολωνία: Προστασία του κλίματος στην χώρα του άνθρακα*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://greenagenda.gr/>, [Προσβάσιμο από 6 Ιουλίου 2020]

26. Harro van Asselt, Norichika Kanie & Masahiko Iguchi, 2009. *Japan's position in international climate policy: navigating between Kyoto and the APP*, [online], Διαθέσιμο στο: link.springer.com, [Προσβάσιμο από 16 Μαΐου 2020]
27. Here Mobility Smart City Initiatives, *How smart city Initiatives are changing urban environment*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://mobility.here.com/>, [Προσβάσιμο από 10 Ιουνίου 2020]
28. HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), [online], Διαθέσιμο στο: <https://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajasrc.pl>, [Προσβάσιμο από 8 Αυγούστου 2020]
29. Invest in Holland, (2018), *How the Dutch lead in sustainability*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://investinholland.com/>, [Προσβάσιμο από 8 Απριλίου 2020]
30. Investopedia, (2020), *The 5 countries that produce the most carbon dioxide (CO₂)*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.investopedia.com/>, [Προσβάσιμο από 11 Ιουνίου 2020]
31. IQ Air, *Air Quality in Berlin*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.iqair.com/>, [Προσβάσιμο από 20 Αυγούστου 2020]
32. J.A.vanJaarsveldF.A.A.M.deLeeuw, 1993, *OPS: An operational atmospheric transport model for priority substances*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.sciencedirect.com/>, [Προσβάσιμο από 23 Αυγούστου 2020]
33. Met One Instruments, Inc, *BAM 1022 Beta Attenuation Mass Monitor*, [online], Διαθέσιμο στο: meteone.com, [Προσβάσιμο από 5 Σεπτεμβρίου 2020]
34. Met One Instruments, Inc, *BAM 1020 Continuous Particulate Monitor*, [online], Διαθέσιμο στο: meteone.com, [Προσβάσιμο από 5 Σεπτεμβρίου 2020]
35. Ministerio del Medio Ambiente (Υπουργείο Περιβάλλοντος Χιλής)- Sinca (Sistema de Informacion Nacional de Calidad del Aire, *Preguntas Frecuentes* (Συχνές Ερωτήσεις), [online], Διαθέσιμο στο: sinca.mma.gob.cl, [Προσβάσιμο από 3 Αυγούστου 2020]
36. Ministry of Environment - Japan, 2012, *Νόμος Περί ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.env.go.jp>, [Προσβάσιμο από 10 Οκτωβρίου 2020]
37. Nashia Hussain, 2019. *Volcanoes in Japan, Considered as a Cannon of Immense Size" – Oliver Goldsmith*, ArcGIS Story Maps, [online] Διαθέσιμο στο: storymaps.arcgis.org, [Προσβάσιμο 5 Οκτωβρίου 2020]
38. National Geographic, *Mount Fuji*, [online], Διαθέσιμο στο: nationalgeographic.org, [Προσβάσιμο από 4 Ιουνίου 2020]

39. NS ENERGY, *Belchatow Power Plant*, [online], Διαθέσιμο στο: nsenergybusiness.com, [Προσβάσιμο από 4 Ιουνίου 2020]
40. N. Kalivitis, E. Gerasopoulos, Vrekoussis, G. Kouvarakis, N. Kubilay, Hatzianastassiou, Vardavas, and N. Mihalopoulos, 2007. *Dust transport over the eastern Mediterranean derived from Total Ozone Mapping Spectrometer, Aerosol Robotic Network, and surface measurements*, AGU (Advancing Earth and Space Science), [online], Διαθέσιμο στο: agupubs.online.librady.wiley.com, [Προσβάσιμο από 10 Ιουνίου 2020]
41. N. Kalivitis, W. Birmili, M. Stock, B. Wehner, A. Massling, A. Wiedensohler, E. Gerasopoulos & N. Mihalopoulos, 2008. *Particle size distributions in the Eastern Mediterranean troposphere*, HAL Archives -Ouvertes, [online], Διαθέσιμο στο: hal.archives-ouvertes.fr, [Προσβάσιμο από 11 Ιουνίου 2020]
42. OSTI. GOV (U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information), 1975. *Standard Method for continuous measurement of nitric oxide, nitrogen dioxide and ozone in the atmosphere (Calorimetrically using Griess)*, [online], Διαθέσιμο στο: <http://www.osti.gov>, [Προσβάσιμο από 4 Σεπτεμβρίου 2020]
43. OSTI.GOV (U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information), 1977. *Tentative Test Method for nitrogen oxides (combined) content in the atmosphere by the Griess- Saltzman reaction*, [online], Διαθέσιμο στο: <http://www.osti.gov>, [Προσβάσιμο από 4 Σεπτεμβρίου 2020]
44. Port Gdansk, *Location*, [online], Διαθέσιμο στο: <http://www.portgdansk.pl/en>, [Προσβάσιμο από 3 Σεπτεμβρίου 2020]
45. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, *Grens waardenen andere luchtkwaliteitsnormen* (Οριακές τιμές και άλλα πρότυπα ποιότητας αέρα στις Κάτω Χώρες), [online], Διαθέσιμο στο: infomil.nl, [Προσβάσιμο από 9 Νοεμβρίου 2020]
46. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Μεταφορών και Προστασίας του Κλίματος της Γερμανίας), *Wiegut ist die Berliner Luft?* (Πόσο καλή είναι η ατμόσφαιρα του Βερολίνου;), [online], Διαθέσιμο στο: berlin.de, [Προσβάσιμο από 30 Ιουνίου 2020]
47. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Μεταφορών και Προστασίας του Κλίματος της Γερμανίας), *Gesetzlich fest gelegte Grenz- und Zielwertefür die Beurteilung der Luftqualität* (Νόμιμο όριο και τιμές στόχου για την αξιολόγηση της ποιότητας αέρα), [online], Διαθέσιμο στο: berlin.de, [Προσβάσιμο από 30 Ιουνίου 2020]
48. Ship Technology, *Port of Hong Kong*, [online], Διαθέσιμο στο: ship-technology.com, [Προσβάσιμο 10 Ιουνίου 2020]

49. SKIRON- Dust Forecast Concentration, [online], Διαθέσιμο στο: <https://forecast.uoa.gr/en/forecast-maps/dust/north-atlantic>, [Προσβάσιμο από 15 Ιουνίου 2020]
50. Transport & Environment, *The cities where the chances of dying from transport pollution are highest are all in...Europe*, (2019), [online], Διαθέσιμο στο: transportenvironment.org, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
51. United Nations- Climate Change, 2015. *Chile accepts KP Amendment*, [online], Διαθέσιμο στο: unfccc.int, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
52. United Nations- Climate Change, *What is the Kyoto Protocol*, [online], Διαθέσιμο στο: unfccc.int, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
53. United Nations- Climate Change, *What is the United Nations Framework Convention on Climate Change*, [online], Διαθέσιμο στο: unfccc.int, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
54. United Nations- Climate Change, *The Paris Agreement*, [online], Διαθέσιμο στο: unfccc.int, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
55. United Nations-Treaty Collection, 2015. *7 .d. Paris Agreement*, [online], Διαθέσιμο στο: unfccc.int, [Προσβάσιμο από 4 Αυγούστου 2020]
56. Unece- Sustainable Development Goals, 2019. *Entry into force of amended Gothenburg Protocol is landmark for clean air and climate action*, [online], Διαθέσιμο στο: unece.org, [Προσβάσιμο από 2 Σεπτεμβρίου 2020]
57. Visit Gdansk, *The most beautiful parks in Gdansk*, [online], Διαθέσιμο στο: visitgdansk.com, [Προσβάσιμο από 4 Ιουλίου 2020]
58. Volcano Discovery, *Volcanoes of Japan (270 volcanoes)*, [online], Διαθέσιμο στο: volcanodiscovery.com, [Προσβάσιμο από 10 Ιουλίου 2020]
59. W.A.Q.I., *World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://waqi.info/>, [Προσβάσιμο από 15 Οκτωβρίου 2020]
60. Weather Atlas, «Monthly weather forecast and climate Gdansk, Poland» [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.weather-atlas.com/>, [Προσβάσιμο από 16 Μαΐου 2020]
61. Weather Atlas, *Monthly Weather Forecast and climate Tokyo, Japan*, [online], Διαθέσιμο στο: [weather-atlas.com](https://www.weather-atlas.com/), [Προσβάσιμο από 30 Ιουνίου 2020]
62. Weather & Climate, *Climate in Amsterdam (Noord- Holland), Netherlands*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weather-and-climate.com/>, [Προσβάσιμο από 2 Οκτωβρίου 2020]

63. Weather Spark, *Average Weather In Amsterdam*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
64. Weather Spark, *Average Weather in Berlin*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
65. Weather Spark, *Average Weather in Gdansk*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
66. Weather Spark, *Average Weather in Santiago*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
67. Weather Spark, *Average Weather in Tokyo*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
68. Weather Spark, *Average Weather in Hong Kong*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 5 Οκτωβρίου 2020]
69. Weather Atlas, *Monthly Weather forecast and climate Berlin, Germany*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.weather-atlas.com/>, [Προσβάσιμο από 16 Μαΐου 2020]
70. Weather Spark, *Average Weather in Tokyo*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://weatherspark.com/>, [Προσβάσιμο από 12 Ιουλίου 2020]
71. Wikipedia, *Amsterdam*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/>, [Προσβάσιμο από 6 Μαΐου 2020]
72. Wikipedia, *Berlin*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin/>, [Προσβάσιμο από 1 Οκτωβρίου 2020]
73. Wikipedia *Central*, *Hong Kong*, Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org> [Προσβάσιμο από 1 Οκτωβρίου 2020]
74. Wikipedia *Gdansk*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/>, [Προσβάσιμο από 17 Ιουλίου 2020]
75. Wikipedia *Japan*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://en.wikipedia.org/>, [Προσβάσιμο από 4 Ιουνίου 2020]
76. Wikipedia, *Mitte (locality)*, [online], Διαθέσιμο στο: <en.wikipedia.org>, [Προσβάσιμο από 13 Οκτωβρίου 2020]
77. Wikipedia, *Daiba*, [online], Διαθέσιμο στο: <en.wikipedia.org>, [Προσβάσιμο από 13 Οκτωβρίου 2020]

78. Wikipedia, *O' Higgins Park*, [online], Διαθέσιμο στο:en.wikipedia.org, [Προσβάσιμο από 13 Οκτωβρίου 2020]
79. Wikipedia, *Wrzeszcz*, [online], Διαθέσιμο στο:en.wikipedia.org, [Προσβάσιμο από 13 Οκτωβρίου 2020]
80. Wikipedia *Santiago*, [online], Διαθέσιμο στο:<https://en.wikipedia.org/>, [Προσβάσιμο από 14 Ιουλίου 2020]
81. Wikipedia *Tokyo*, [online], Διαθέσιμο στο:<https://en.wikipedia.org/>, [Προσβάσιμο από 4 Ιουνίου 2020]
82. World Health Organization, 2018. *Ambient (outdoor) air pollution*, [online], Διαθέσιμο στο: <https://www.who.int/>, [Προσβάσιμο από 16 Οκτωβρίου 2020]
83. Worldo Meter, *Hong Kong Population*, [online], Διαθέσιμο στο: worldometers.info, [Προσβάσιμο από 10 Σεπτεμβρίου 2020]
84. WWF – Hong Kong, *Renewable energy*, [online], Διαθέσιμο στο: wwf.org.hk/en/, [Προσβάσιμο από 10 Σεπτεμβρίου 2020]
85. Αποστόλου Αθ. Φλόκα, 2η έκδοση, 1992. *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*, Κεφάλαιο 9^ο σελ 262-296, Κεφάλαιο 11^ο σελ 343-378, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη
86. Γκιγκούδης Χρήστος, 2015. *Σύγκριση πρότυπης σταθμικής μεθόδου με μέθοδο αυτόματης μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων PM₁₀*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
87. Δημητρίου, Κωνσταντίνος Ταξιάρχης, 2013. *Σωματίδια PM₁₀ και PM_{2.5} στην Ευρώπη: τοπικές πηγές, ατμοσφαιρική μεταφορά, επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
88. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση, 2019. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Ηχορύπανση*, [online], Διαθέσιμο στο:<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/home>, [Προσβάσιμο από 10 Οκτωβρίου 2020]
89. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Η προστασία της υγείας μας παραμένει ανεπαρκής*, [online], Διαθέσιμο στο:<https://www.eea.europa.eu/>, [Προσβάσιμο από 10 Οκτωβρίου 2020]
90. Ιστοσελίδα του Οργανισμού Πληροφοριών για την Περιβαλλοντική Καινοτομία-Ιαπωνία, 2014, *たばこ煙規制法*, (Νόμος περί ελέγχου καπνού), Διαθέσιμο στο: <http://www.eic.or.jp/>, [Προσβάσιμο από 30 Απριλίου 2020]
91. Ιωάννης Γεντεκάκης, 2010. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση: επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες*, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

92. Καλυβίτης Ν., 2008. *Φυσικές Ιδιότητες αιωρούμενων σωματιδίων με κλιματικό ενδιαφέρον στην ατμόσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου*, Διδακτορικό Δίπλωμα, Πανεπιστήμιο Κρήτης
93. Κοπανάκης Ηλίας, 2015. *Δυναμική των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων και μελέτη του δυναμικού πυρηνοποίησης τους στην ανατολική Μεσόγειο*, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά Κρήτης.
94. Κοπανάκης Ηλίας, 2005. *Μελέτη του επιπέδου των συγκεντρώσεων των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων και των αλκαλίων στην αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη $PM_{2.5}$ στην ατμόσφαιρα της Αθήνας*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.
95. Μιχάλης Λαζαρίδης, 2η έκδοση, 2010. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*, Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα
96. Μπέσσα Μαρία, 2015. *Συγκριτική μελέτη της πρότυπης σταθμικής μεθόδου μέτρησης PM_{10} με την μέθοδο αυτόματης καταγραφής*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
97. Παπαναστασίου Δημήτρης, 2007. *Ατμοσφαιρική ρύπανση-μετεωρολογία σε αστικό περιβάλλον υπό συνθήκες υψηλού υποβάθρου*, Διατριβή ΑΠΘ
98. Πρόδρομος Ζάνης, 2014. *Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, [online], Διαθέσιμο στο: users.auth.gr , [Προσβάσιμο από 3 Αυγούστου 2020]
99. Σωτήριος Ε. Τσιούρης, 2004. *Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη