



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

«Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού».

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Καραγιαννοπούλου Ευστρατίας

A.M.: 51204486

Επιβλέποντες:

Δρ. Κωνσταντίνος Μουστρής

Τσίτσης Χρήστος

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

«Temporal variation of suspended particulate matter in European port cities with different climatic and population characteristics – calculation of inhaled concentration in active population groups».

DIPLOMA THESIS

by

Karagiannopoulou Efstratia

Student ID: 51204486

Supervisors:

Dr. Konstantinos Moustris

Tsitsi Christos

Athens, July 2023

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

<i>Κωνσταντίνος Μουστρής</i>	<i>Χρήστος Τσίτσης</i>	<i>Κλεοπάτρα Ντούρου</i>
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΑ,
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΑ του ΣΠΥΡΙΔΩΝΑ, με αριθμό μητρώου 51204486 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Η Δηλούσα

ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΑ

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία, έγινε μελέτη της χρονικής διακύμανσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε τρία μεγάλα ευρωπαϊκά λιμάνια. Επιλέχθηκαν οι πόλεις-λιμάνια του Αμβούργου στην Γερμανία, του Άρχους στην Δανία και της Λισαβόνας στην Πορτογαλία που βρίσκονται στην κεντρική, την βόρεια και τη νότια μεριά της Ευρώπης αντίστοιχα. Κάθε μία από τις επιλεγμένες πόλεις χαρακτηρίζεται από διαφορετικά κλιματικά και πληθυσμιακά δεδομένα, διαφορετική κουλτούρα, πολιτισμό, ήθη, έθιμα και καθημερινότητα, επομένως η μελέτη της διαμόρφωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η χρονοσειρά αναφοράς ήταν από το έτος 2019 έως και το έτος 2022 και τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης του δικτύου “PurpleAir”. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που αντλήθηκαν για κάθε πόλη-λιμάνι αφορούσαν μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σύστασης $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ και $PM_{10.0}$. Οι μετρήσεις αυτές επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να προσδιοριστεί στην κάθε περιοχή έρευνας, για όλους τους ρύπους και για το σύνολο της χρονοσειράς αναφοράς (2019-2022) η συνολική διακύμανση, η μέση μηνιαία διακύμανση, η μέση ημερήσια διακύμανση, η μέση ωριαία διακύμανση και το πλήθος του αριθμού υπερβάσεων των οριακών τιμών των ρύπων. Ταυτόχρονα έγινε και ένας βασικός υπολογισμός της εισπνεόμενης μάζας $PM_{2.5}$ για διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για τις μέσες 24ώρες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ και οι τιμές του ρυθμού αερισμού-αναπνοών για τις ενεργές ηλικιακές ομάδες αντρών και γυναικών, οι οποίες δίνονται από την βιβλιογραφία. Οι ηλικιακές ομάδες που επιλέχθηκαν ως περισσότερο ενεργές στο λιμάνι και στην ευρύτερη περιοχή είναι κοινές και για άντρες και για γυναίκες και είναι οι ομάδες (i) από 21 έως 31 ετών, (ii) από 31 έως 41 ετών, (iii) από 41 έως 51 ετών και (iv) από 51 έως 61 ετών. Υπολογίστηκε και η δόση πρόσληψης ανά δωρο. Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της Διπλωματικής εργασίας είχε ως στόχο να διερευνήσει τόσο τις τάσεις των αιωρούμενων σωματιδίων όσο και το ποσό εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$ που ενδέχεται να προσβάλλει την ανθρώπινη υγεία, σε μεγάλα ευρωπαϊκά λιμάνια και τις ευρύτερες περιοχές τους με έντονη εμπορική δραστηριότητα και κινητικότητα, και να προτείνει παραπέρα μέτρα και δράσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος σε τέτοιες περιπτώσεις.

Λέξεις – κλειδιά: Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Πόλεις – λιμάνια, Αιωρούμενα Σωματίδια, Εισπνεόμενη Δόση, PurpleAir, Αισθητήρες χαμηλού κόστους

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ABSTRACT

In this thesis, the temporal variation of particulate matter in three major European ports was studied. The selected port cities were Hamburg in Germany, Aarhus in Denmark and Lisbon in Portugal located in the central, northern and southern parts of Europe respectively. Each of the selected cities is characterised by different climatic and population conditions, different culture, customs, traditions and daily life, so the study of the formation of air quality is of particular interest. The reference time series was from 2019 to 2022 and the data were extracted from the air pollution database of the "PurpleAir" network. Specifically, the data extracted for each port city involved measurements of particulate matter $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ and $PM_{10.0}$. These measurements were processed and analysed in an appropriate manner to determine in each study area, for all pollutants and for the entire reference time series (2019-2022), the total variation, the average monthly variation, the diurnal variation, the average hourly variation and the number of exceedances of the pollutant's limit values. At the same time, a basic calculation of the inhaled $PM_{2.5}$ mass was performed for different population groups. For this purpose, data regarding the 24-hour mean $PM_{2.5}$ concentrations and mean inhalation rates values for active age groups of men and women were used. The age groups selected as most active in the port and the surrounding area are the same for both men and women and are as follows (i) 21 to 31 years old, (ii) 31 to 41 years old, (iii) 41 to 51 years old, and (iv) 51 to 61 years old. The intake dose per 8-hour period was also calculated. The study carried out for the purposes of the Diploma thesis aimed to investigate both the trends in particulate matter and the amount of $PM_{2.5}$ inhaled dose likely to affect human health in major European ports and their wider areas of intense commercial activity and mobility, and to propose further measures and actions that could improve the quality of the air environment in such situations.

Key – words: Air Pollution; Port – cities; Particulate matter; Inhaled dose; PurpleAir; Low – cost sensors

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου που σε όλη την διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας μου προσέφεραν πολύτιμες γνώσεις, αλλά πρωτίστως τον κ. Τσίτση και τον κ. Μουστρή, αφενός για την διδασκαλία τους που αποτέλεσε το έναυσμα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και αφετέρου για την πολύτιμη καθοδήγηση και εμπιστοσύνη τους κατά την εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω να πω σε όλες μου τις φίλες και επί τόσα χρόνια συμφοιτήτριες, την Αιμιλία, την Καλλιόπη και την Μαρίτα που χωρίς την στήριξη και τις συμβουλές τους δεν θα τα είχα καταφέρει. Τέλος, την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου έχει η οικογένειά μου, οι γονείς μου, Σπύρος και Δήμητρα, και ο αδερφός μου ο Νίκος, ο Γιώργος και η Νικολέτα, οι οποίοι αποτέλεσαν το απόλυτο στήριγμα όλα αυτά τα χρόνια φοίτησής μου στο Πανεπιστήμιο.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
Κεφάλαιο 1° : Ατμοσφαιρική ρύπανση	13
1.1. Ιστορική αναδρομή.....	13
1.2. Ατμοσφαιρική ρύπανση	15
1.3. Αιωρούμενα Σωματίδια.....	19
1.4. Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο / οδηγία και το νομοθετικό πλαίσιο κατά US EPA	21
1.5. Εξατομικευμένη δόση PM – Ογκοδοσομετρία.....	22
1.6. Ατμοσφαιρική ρύπανση στους λιμένες	23
1.7. Όργανα μέτρησης ρύπανσης	24
Κεφάλαιο 2° : Περιοχές Έρευνας.....	26
2.1. Λιμάνι του Αμβούργου, Γερμανία.....	26
2.2. Λιμάνι του Άρχους, Δανία.....	27
2.3. Λιμάνι της Λισαβόνας, Πορτογαλία.....	29
Κεφάλαιο 3° : Μεθοδολογία Έρευνας	30
3.1. Το δίκτυο «Purple Air»	30
3.2. Όργανα μέτρησης.....	31
3.3. Συλλογή δεδομένων	31
3.4. Επεξεργασία δεδομένων.....	32
Κεφάλαιο 4° : Αποτελέσματα και Συζήτηση	37
4.1. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM _{1.0} στην ατμόσφαιρα	37
4.2. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM _{2.5} στην ατμόσφαιρα	39
4.3. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM _{10.0} στην ατμόσφαιρα.....	41
4.4. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM _{1.0} στην ατμόσφαιρα.....	43
4.5. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM _{2.5} στην ατμόσφαιρα.....	45
4.6. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM _{10.0} στην ατμόσφαιρα	47
4.7. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM _{1.0} στην ατμόσφαιρα.....	50
4.8. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM _{2.5} στην ατμόσφαιρα.....	52
4.9. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM _{10.0} στην ατμόσφαιρα	54
4.10. Ογκοδοσομετρία	57
4.10.1 Δόση πρόσληψης PM _{2.5} σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι του Αμβούργου	57
4.10.2 Δόση πρόσληψης PM _{2.5} σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι του Άρχους.....	59
4.10.3 Δόση πρόσληψης PM _{2.5} σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι της Λισαβόνας	61
Κεφάλαιο 5° : Προτάσεις και Συμπεράσματα.....	64

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 4.1.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM1.0 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΜΒΟΥΡΓΟ. _____	37
ΣΧΗΜΑ 4.2.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM2.5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΜΒΟΥΡΓΟ. _____	39
ΣΧΗΜΑ 4.3.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM10.0 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΜΒΟΥΡΓΟ. _____	41
ΣΧΗΜΑ 4.4.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM1.0 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΡΧΟΥΣ. _____	43
ΣΧΗΜΑ 4.5.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM2.5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΡΧΟΥΣ. _____	45
ΣΧΗΜΑ 4.6.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM _{10.0} ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΟ ΑΡΧΟΥΣ. _____	47
ΣΧΗΜΑ 4.7.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM1.0 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΗ ΛΙΣΑΒΟΝΑ. _____	50
ΣΧΗΜΑ 4.8.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM2.5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΗ ΛΙΣΑΒΟΝΑ. _____	52
ΣΧΗΜΑ 4.9.1 (Α) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Β) ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Γ) ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Δ)24ΩΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ; (Ε) ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ, ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM10.0 ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ 2019-2022 ΣΤΗ ΛΙΣΑΒΟΝΑ. _____	54
ΣΧΗΜΑ 4.10.1.1 ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ PM _{2.5} (INTAKE DOSE) ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ (Α) ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 8ΩΡΟ, ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 24ΩΡΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ (Β) 21 ΜΕ 31, (Γ) 31 ΜΕ 41, (Δ) 41 ΜΕ 51, (Ε) 51 ΜΕ 61. _____	57
ΣΧΗΜΑ 4.10.2.1 ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ PM _{2.5} (INTAKE DOSE) ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ΑΡΧΟΥΣ (Α) ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 8ΩΡΟ, ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 24ΩΡΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ (Β) 21 ΜΕ 31, (Γ) 31 ΜΕ 41, (Δ) 41 ΜΕ 51, (Ε) 51 ΜΕ 61. _____	59
ΣΧΗΜΑ 4.10.3.1 ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ PM _{2.5} (INTAKE DOSE) ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΛΙΣΑΒΟΝΑΣ (Α) ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 8ΩΡΟ, ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΥΠΙΚΟ 24ΩΡΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ (Β) 21 ΜΕ 31, (Γ) 31 ΜΕ 41, (Δ) 41 ΜΕ 51, (Ε) 51 ΜΕ 61. _____	61

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1.1 Η ΚΑΠΝΟΜΙΧΛΗ ΣΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ, 1952 (ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.CBSNEWS.COM/NEWS/LONDONS-1952-KILLER-FOG-CAUSE-REVEALED/).....	14
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΕΙΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ (ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.CLARITY.IO/BLOG/HOW-MEASURING-DIFFERENT-TYPES-OF-AIR-POLLUTANTS-CREATES-A-MORE-HOLISTIC-PICTURE-OF-AIR-POLLUTION)	16
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΤΟΥΣ (ΠΗΓΗ: HTTPS://ECOLINK.COM/INFO/SIX-COMMON-AIR-POLLUTANTS/).	16
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ (ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.EEA.EUROPA.EU/THEMES/AIR/INTRO).....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.4 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΠΥΡΑΜΙΔΑΣ (ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.EPA.GOV/BENMAP/HOW-BENMAP-CE-ESTIMATES-HEALTH-AND-ECONOMIC-EFFECTS-AIR-POLLUTION)	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.6.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ΣΕ ΛΙΜΑΝΙ (ΠΗΓΗ: HTTPS://SUPREMEFREIGHT.COM/PORTS-AND-SHIPPING-NEED-TO-CURB-AIR-POLLUTION/).....	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.1 ΜΕΣΗ / ΕΛΑΧΙΣΤΗ / ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ (ΣΕΙΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 1991 ΕΩΣ ΤΟ 2021) (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/GERMANY/HAMBURG/HAMBURG-69/#TEMPERATURE-GRAPH)	26
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/GERMANY/HAMBURG/HAMBURG-69/#TEMPERATURE-GRAPH)	26
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ (ΠΗΓΗ: GOOGLE EARTH PRO).....	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.1 ΜΕΣΗ / ΕΛΑΧΙΣΤΗ / ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ (ΣΕΙΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 1991 ΕΩΣ ΤΟ 2021) (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/DENMARK/CENTRAL-DENMARK-REGION/AARHUS-302/)	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΧΟΥΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/DENMARK/CENTRAL-DENMARK-REGION/AARHUS-302/).....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΟΥ ΑΡΧΟΥΣ (ΠΗΓΗ: GOOGLE EARTH PRO).....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.1 ΜΕΣΗ / ΕΛΑΧΙΣΤΗ / ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ (ΣΕΙΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 1991 ΕΩΣ ΤΟ 2021) (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/PORTUGAL/LISBON/LISBON-3308/)	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.2 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΧΟΥΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (ΠΗΓΗ: HTTPS://EN.CLIMATE-DATA.ORG/EUROPE/PORTUGAL/LISBON/LISBON-3308/)	29
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΗΣ ΛΙΣΑΒΟΝΑΣ (ΠΗΓΗ: GOOGLE EARTH PRO).....	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.1.1 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΥ PURPLE AIR (ΠΗΓΗ: HTTPS://MAP.PURPLEAIR.COM/1/MPM25/A60/P3600/CC0#1/22/-63.9 , ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ 7 ΙΟΥΝΙΟΥ 2023)	30
ΕΙΚΟΝΑ 3.2.1 Η ΣΥΣΚΕΥΗ PURPLEAIR-II-SD (ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW2.PURPLEAIR.COM/PRODUCTS/PURPLEAIR-PA-II?VARIANT=40067691741281 , ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ 7 ΙΟΥΝΙΟΥ 2023).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.1 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΘΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ".CSV"	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.2 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΘΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΜΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ".XLSX"	32
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.3 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΘΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ.	33

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΕΙΚΟΝΑ 3.4.4 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΣΤΗΛΗ "ΜΗΝΑΣ" ΓΙΑ ΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΜΟΝΟ Ο ΜΗΝΑΣ ΜΑΡΤΙΟΣ ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.5 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΣΤΗΛΗ "ΗΜΕΡΑ" ΓΙΑ ΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΜΟΝΟ Η ΗΜΕΡΑ ΤΡΙΤΗ ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.6 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΤΙΜΗΣ ΤΩΝ ΡΥΠΩΝ. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΣΤΗΛΗ "ΩΡΑ" ΓΙΑ ΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΜΟΝΟ Η ΩΡΑ 01:00 ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.4.7 ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΟΘΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΣΤΗΛΗ "PM _{2.5} _UG_M3" ΓΙΑ ΝΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΜΟΝΟ ΟΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΠΟΥ Η ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM _{2.5} ΞΕΠΕΡΝΟΥΣΕ ΤΑ 25 MG/M ³	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1 ΜΟΡΦΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ (ΠΗΓΗ: MANISALIDIS ET AL., 2020) _____	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.2 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΡΜ ΣΤΟ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ (ΠΗΓΗ: MANISALIDIS ET AL., 2020) _____	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4.1 ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕC: ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ____	21
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.1 ΤΙΜΕΣ ΡΥΘΜΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ-ΑΝΑΠΝΟΩΝ ΑΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΓΥΝΑΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΗΛΙΚΙΑΚΑ ΓΚΡΟΥΠ (ΠΗΓΗ: US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY – EXPOSURE HANDBOOK) _____	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.3.1 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΕΙΣΠΝΕΟΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ PM _{2.5} ΑΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΓΥΝΑΙΚΩΝ 4 ΗΛΙΚΙΑΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ, ΣΤΙΣ 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ. _____	63

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την διεκπεραίωση της παρούσας Διπλωματικής εργασίας, έγινε μελέτη της χρονικής διακύμανσης των αιωρούμενων σωματιδίων σε τρία μεγάλα ευρωπαϊκά λιμάνια, το λιμάνι του Αμβούργου στην Γερμανία, το λιμάνι του Άρχους στην Δανία και το λιμάνι της Λισαβόνας στην Πορτογαλία. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς επίσης αναφέρεται το απαιτούμενο θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται ο αναγνώστης ώστε να κατανοήσει πλήρως την μελέτη πρόκειται να γίνει σε επόμενα κεφάλαια. Το θεωρητικό υπόβαθρο περιλαμβάνει σαφώς τον ορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τους κυριότερους ρύπους που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα, τις πηγές εκπομπής ρύπων, φυσικές και ανθρωπογενείς, αλλά και τις επιπτώσεις που έχει το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προσβάλλουν τόσο το περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία. Στην συνέχεια του πρώτου κεφαλαίου, γίνεται ειδική αναφορά στα αντικείμενα που θα απασχολήσουν την Διπλωματική εργασία, τα οποία είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, δηλαδή οι ρύποι που εξετάστηκαν στις τρεις επιλεγμένες πόλεις-λιμάνια, το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους λιμένες και παράλληλα γίνεται αναφορά στην σχετική νομοθεσία που διέπει την ρύθμιση και πιθανή καταστολή του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο σε ένα γενικότερο πλαίσιο, όσο και ειδικότερα στους χώρους των λιμανιών. Κλείνοντας το 1^ο κεφάλαιο, γίνεται μία σύντομη αναφορά στα όργανα χαμηλού κόστους και συγκεκριμένα στις μελέτες ποιότητας της ατμόσφαιρας που χρησιμοποιούν τέτοια όργανα, καθώς και η Διπλωματική εργασία είναι μία τέτοιου τύπου μελέτη. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια σημαντικά στοιχεία για τις τρεις περιοχές έρευνας (Αμβούργο, Άρχους, Λισαβόνα) καθώς και η τοποθεσία των σημειακών σταθμών παρακολούθησης της ατμόσφαιρας «PurpleAir», το εργαλείο που πραγματοποίησε τις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{1.0}, 2.5, 10.0) στην εκάστοτε περιοχή και από το οποίο αντλήθηκαν τα δεδομένα για την εκπόνηση της Διπλωματικής εργασίας. Προχωρώντας στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αρχικά αναφορά στο δίκτυο PurpleAir και στα όργανα μέτρησης του δικτύου, καθώς αυτά ήταν τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις τρεις εξεταζόμενες περιοχές. Ύστερα, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε τόσο για την των συλλογή δεδομένων όσο και για την μετέπειτα επεξεργασία τους. Επιπλέον, έγινε ανάλυση της μεθοδολογίας που αφορούσε το δεύτερο μέρος της Διπλωματικής εργασίας, τον υπολογισμό της εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5}. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Στην εκάστοτε περιοχή έρευνας έγινε, συνολικά για την χρονοσειρά (2019-2022), η ίδια μελέτη και για τους τρεις ρύπους. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε μορφή διαγραμμάτων τα οποία απεικόνιζαν την συνολική, την μέση μηνιαία, την μέση ημερήσια και την μέση ωριαία διακύμανση των ρύπων, καθώς και ένα διάγραμμα με το πλήθος του αριθμού υπερβάσεων. Τέλος, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που αφορούσαν τον υπολογισμό της εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5}. Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε για όλες τις περιοχές έρευνας, μόνο για την ρύπο PM_{2.5} και συνολικά για την χρονοσειρά, σε 24ώρο και 8ώρο βήμα και για 4 ηλικιακές ομάδες αντρών και γυναικών που θεωρήθηκαν οι πιο ενεργές στον χώρο του λιμανιού και στην ευρύτερη περιοχή. Στο πέμπτο κεφάλαιο έγινε συζήτηση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Διατυπώθηκαν ορισμένα βασικά συμπεράσματα που αφορούσαν την χρονική διακύμανση της ατμόσφαιρας και τα ποσά εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5} στις τρεις περιοχές, και τελειώνοντας παρουσιάστηκαν ορισμένες προτάσεις και προτροπές ώστε οι αρμόδιοι φορείς και το κοινωνικό σύνολο να ευαισθητοποιηθούν περαιτέρω σε θέματα που αφορούν την ποιότητα του αέρα και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Κεφάλαιο 1^ο: Ατμοσφαιρική ρύπανση

1.1. Ιστορική αναδρομή

Από την απαρχή του κόσμου και την σύνταξη των πρώτων πολιτισμών, ο άνθρωπος ήταν σε ένα μακρύ ταξίδι ανακάλυψης και εξερεύνησης του περιβάλλοντος που τον φιλοξενούσε. Είναι ευρέως γνωστό πως οι ανακαλύψεις που έκανε ο άνθρωπος από την προϊστορική ακόμα εποχή, είναι ο ακρογωνιαίος λίθος που συνέβαλε και εξακολουθεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Σαφώς, μαζί με όλες τις απίστευτες εφευρέσεις που προήλθαν από τον ανθρώπινο νου, υπήρχαν επιπτώσεις που σταδιακά άφηναν το στίγμα τους και προβλημάτιζαν τις τότε κοινωνίες. Μία από αυτές τις επιπτώσεις ήταν και η ύπαρξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Το φαινόμενο της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, μπορεί να τοποθετηθεί πολλές χιλιετίες πίσω. Πιο συγκεκριμένα, όταν ακόμη οι άνθρωποι συγκροτούσαν νομαδικές φυλές, μπορούμε να υποπτευθούμε ότι ένας από τους λόγους που γίνονταν αυτές οι μετακινήσεις ήταν η δυσσομία που παραγόταν από τα ζώα, τα φυτά και εννοείται και από τους ίδιους τους ανθρώπους και τα απορρίμματά τους. Αργότερα, με την ανακάλυψη της φωτιάς, ένα καινούριο εργαλείο που άνοιξε νέους ορίζοντες στην ανθρωπότητα, η ατμόσφαιρα στον χώρο όπου διέμενε ο άνθρωπος γινόταν ολοένα και πιο αποπνικτική, καθώς τα παράγωγα της ατελούς καύσης δεν είχαν κάπου να διαφύγουν. Βέβαια, αυτό το πρόβλημα λύθηκε και εφευρέθηκε ένα «σύστημα» που ακόμα και σήμερα συναντάται ευρέως σε όλο τον κόσμο, η καμινάδα!

Προχωρώντας στον χρόνο, το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην αρχαία Ελλάδα και Ρώμη λόγω της καύσης ακατάλληλης ξυλείας αλλά και της μεταλλουργίας που λάμβανε χώρα εκείνο το διάστημα, ιδιαίτερα κατά την κατασκευή κερμάτων. (Jacobson, 2012)

Φτάνοντας πια σε μετά Χριστόν εποχές, περί το 1157, παρατηρήθηκε στην ατμόσφαιρα του Λονδίνου μία πολύ δυσάρεστη κατάσταση, η οποία είχε προκληθεί από την αλόγιστη καύση κάρβουνου και ακατάλληλης ξυλείας. Πέντε αιώνες αργότερα, περί το 1661, ο συγγραφέας John Evelyn, αγανακτισμένος πια με την κατάσταση της ατμόσφαιρας του Λονδίνου, έγραψε ένα φυλλάδιο προς τον βασιλιά, όπου υποδείκνυε ως υπαίτιο τον καπνό στην ατμόσφαιρα του Λονδίνου για την φθορά των όψεων των εκκλησιών, των ενδυμάτων, των έργων τέχνης αλλά και για την κακή κατάσταση που βρισκόταν η βροχή και το νερό στην πόλη. Εκτός από αυτό, πρότεινε και τρόπους αντιμετώπισης του φαινομένου, με μερικούς από αυτούς να είναι εφαρμόσιμοι ακόμα και την σύγχρονη εποχή. (Jacobson, 2012)

Ένα μεγάλο κομμάτι της ανθρώπινης ιστορίας και η αρχή για πολλές ριζοσπαστικές αλλαγές σε όλους τους τομείς της κοινωνίας είναι η Βιομηχανική Επανάσταση. Τον 18^ο αιώνα αυξάνεται κατά κόρον η χρήση κάρβουνου για παραγωγή ενέργειας. Μαζί με την ενέργεια όμως παράγονταν και μεγάλες ποσότητες στάχτης και καπνού, οι οποίες συνέβαλαν τρομερά στην ένταση του περιβαλλοντικού προβλήματος. Έπειτα από πολλά χρόνια συνεχόμενων πιέσεων, το 1845 το Κοινοβούλιο της Μεγάλης Βρετανίας αναγκάζεται να επιβάλλει τρόπους ελέγχου του καπνού από κινητήρες και από φούρνους εργοστασίων.

Μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα η κατάσταση με την αέρια ρύπανση στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες πόλεις του κόσμου έφτασε σε ένα τέλμα. Ένα από τα αποτελέσματα της ανεξέλεγκτης ρύπανσης αυτής

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

της περιόδου ήταν η ανάπτυξη αντιρρυπαντικών τεχνολογιών, όπως είναι η κατασκευή ελεγχόμενου κλίβανου κάρβουνου, ο σχεδιασμός μονάδων διαχείρισης των ρύπων με φυσικοχημικές διαδικασίες (π.χ. προσρόφηση, απορρόφηση), η δημιουργία κυκλώνων και φίλτρων για την συλλογή σωματιδιακής ύλης κλπ.

Έχοντας φτάσει πια στον 20^ο αιώνα, βλέπουμε την αντικατάσταση της ατμομηχανής από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτή η αλλαγή από την αλόγιστη χρήση κάρβουνου στην χρήση πετρελαίου μείωσε σημαντικά τις εκπομπές ιπτάμενης τέφρας. Ταυτόχρονα, η εξέλιξη της τεχνογνωσίας στις αντιρρυπαντικές τεχνολογίες και η ανακάλυψη του ηλεκτροστατικού φίλτρου από τον F.G. Cottrell βοήθησαν σημαντικά στην διαχείριση της αέριας ρύπανσης. Ταυτόχρονα με όλα αυτά, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, αυξήθηκε εκθετικά η κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Όπως είναι λογικό το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις, άρχισε να επιδεινώνεται.

Κατά την περίοδο 1925 – 1980 παρατηρούνται επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κατά τα οποία είχαμε και ανθρώπινες απώλειες. Όπως φαίνεται, σήμανε ο συναγερμός στις αρμόδιες αρχές, και έτσι, το 1949 έλαβε χώρα στην Pasadena της Καλιφόρνια, το πρώτο συνέδριο ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τον επόμενο χρόνο στην Ουάσιγκτον έγινε η πρώτη Τεχνολογική Συνδιάσκεψη για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένα γεγονός αυτής της περιόδου που αξίζει να αναφερθεί, είναι η έναρξη χρήσης φυσικού αερίου, ιδιαίτερα για την θέρμανση σπιτιών. Όπου κατέστη δυνατό να γίνεται μεταφορά φυσικού αερίου με αγωγούς παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Ένα από τα ίσως πιο διαδομένα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης έλαβε χώρα στο Λονδίνο το 1952 με την εμφάνιση καπνομίχλης και τα επίπεδα SO₂ ιδιαίτερα υψηλά. Κατά την διάρκεια αυτού του φαινομένου ο απολογισμός των νεκρών έφτασε περίπου 4.000. Ύστερα από αυτό, σημειώθηκαν αρκετές αλλαγές, ιδιαίτερα στον τρόπο θέρμανσης των σπιτιών και ο λιγνίτης στα τζάκια αντικαταστάθηκε από άλλα καύσιμα που δεν παρήγαγαν καπνό. Στον απόηχο του φαινομένου ψηφίστηκε ο νόμος «Clean Air Act» το 1956 με τον οποίο δίνεται στις τοπικές αρχές το δικαίωμα να επιβάλλει ποινές όταν υπάρχει εκπομπή καπνού, σκόνης στις βιομηχανικές περιοχές καθώς επίσης και να οριοθετήσει ζώνες ελέγχου του καπνού. (Policy Navigator, 2023)



Εικόνα 1.1.1 Η καπνομίχλη στο Λονδίνο, 1952 (Πηγή: <https://www.cbsnews.com/news/londons-1952-killer-fog-cause-revealed/>)

Καθώς επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως αυτό του Λονδίνου, σημειώνονταν ανά τον κόσμο, σε μικρότερη βέβαια κλίμακα, είχε πια καταστεί κατανοητό ότι είναι αναγκαίο οι αρμόδιοι φορείς να αναλάβουν δράση. Μέσα στις επόμενες δεκαετίες ιδρύθηκαν μεγάλα ερευνητικά κέντρα για την

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οργανώσεις για την πρόληψη της, χρηματοδοτήθηκαν ποικίλα προγράμματα που αρμοδιότητά τους ήταν η έρευνα πάνω σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους νόμοι που αποσκοπούσαν στην μείωση των ρυπαντών. Σε γενικές γραμμές, παρατηρήθηκε ένα τεράστιο τεχνολογικό άλμα και μία έντονη ερευνητική δραστηριότητα που ως επί το πλείστον στηριζόταν από τους αρμόδιους φορείς. Η επιστημονική κοινότητα, διερεύνησε ενδελεχώς θέματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, της όξινης βροχής, της μείωσης του στρώματος του όζοντος της τροπόσφαιρας κ.ο.κ. και προχώρησε ένα βήμα παρακάτω την τεχνογνωσία της πάνω σε θέματα αντιρρυπαντικών τεχνολογιών και διαχείρισης της ρύπανσης.

Άξιες αναφοράς είναι οι περιβαλλοντικές «συμφωνίες» που έγιναν εκείνη την περίοδο. Η πιο επιτυχημένη από όλες ήταν το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ τον Ιούλιο του 1987, μία διεθνής συνθήκη που υποχρεώνει τα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη να μειώσουν την παραγωγή χλωροφθορανθράκων, οι οποίοι ήταν υπαίτιοι για την καταστροφή του στρώματος του όζοντος στην τροπόσφαιρα, μέχρι το 2000. (Γεντεκάκης, 2010)

1.2. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Παραπάνω έγινε μία σύντομη αναδρομή όπου αναφέρθηκαν οι περιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την αρχή της ανθρωπότητας έως και σήμερα. Τι είναι όμως ατμοσφαιρική ρύπανση; Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ) ορίζει ως ατμοσφαιρική ρύπανση την «μόλυνση του εσωτερικού ή του εξωτερικού περιβάλλοντος από οποιονδήποτε χημικό, φυσικό ή βιολογικό παράγοντα που τροποποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας.» (World Health Organization, 2022)

Πολύ σημαντικό κρίνεται να ορίσουμε και την έννοια «ρύπος». Ως ρύπο, θεωρούμε οποιαδήποτε ουσία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και έχει είτε άμεσα είτε έμμεσα αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. (Γεντεκάκης, 2010)

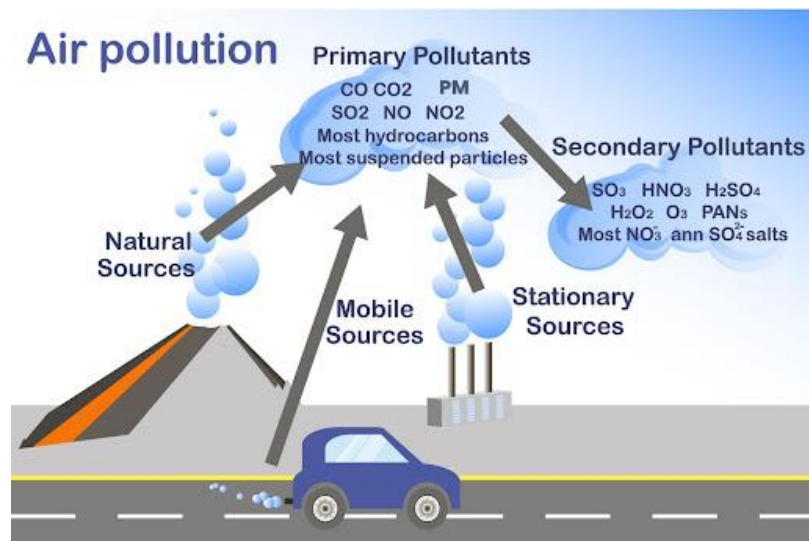
Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα είναι:

- ❖ Το Διοξείδιο του Θείου (SO_2)
- ❖ Το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)
- ❖ Το Διοξείδιο του Αζώτου (NO_2)
- ❖ Το Όζον (O_3)
- ❖ Τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM_x)
- ❖ Το Βενζόλιο (C_6H_6)
- ❖ Ο Μόλυβδος (Pb)

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, διακρίνονται σε πρωτογενείς και σε δευτερογενείς ρύπους. Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που σχηματίζονται και απελευθερώνονται στο περιβάλλον κατευθείαν από την πηγή τους. Τέτοιοι ρύποι είναι: το διοξείδιο του θείου, το υδρόθειο, οι υδρογονάνθρακες, το μονοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του αζώτου, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός. Σε περίπτωση που στην ατμόσφαιρα συμβούν πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις μεταξύ των πρωτογενών ρύπων και των συστατικών του ατμοσφαιρικού αέρα, τότε πραγματοποιείται ο σχηματισμός των δευτερογενών ρύπων. Με λίγα λόγια, ως δευτερογενή ρύπο, ορίζουμε τον ρύπο που

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

σχηματίζεται στον αέρα. Γνωστοί δευτερογενείς ρύποι είναι: το όζον, διάφορες κετόνες και αλδεΐδες κλπ.



Εικόνα 1.2.1 Πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύποι και οι πηγές εκπομπής και δημιουργίας τους (Πηγή: <https://www.clarity.io/blog/how-measuring-different-types-of-air-pollutants-creates-a-more-holistic-picture-of-air-pollution>)

Υπάρχουν διάφορες πηγές από τις οποίες μπορούν οι ρύποι να εισαχθούν στο οικοσύστημα. Ειδικότερα, διακρίνουμε τις φυσικές πηγές παραγωγής και εκπομπής ρύπων όπως είναι το έδαφος, τα ηφαίστεια, οι ωκεανοί και οι πυρκαγιές. Πρόκειται δηλαδή για ρύπους που παράγονται κατά τη διάρκεια μιας σειράς διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα ή στον φλοιό της Γης. Η εισαγωγή ρύπων στην ατμόσφαιρα μπορεί να επιτευχθεί και από ανθρωπογενείς πηγές, ήτοι ανθρώπινες δραστηριότητες που καταλήγουν σε μόλυνση του εκάστοτε περιβάλλοντος όπως είναι η βιομηχανία, η χρήση Ι.Χ., η παραγωγή και μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, η οικιακή θέρμανση, το κάπνισμα κλπ. (Vallero, 2008)



Εικόνα 1.2.2 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και σημαντική αναπαράσταση των φυσικών και ανθρωπογενών πηγών εκπομπής τους (Πηγή: <https://ecolink.com/info/six-common-air-pollutants/>).

Για να παρακολουθήσουμε τα αποτελέσματα των ανθρωπογενών, κατά κύριο λόγο, πηγών ρύπανσης είναι σημαντικό αναφερθούμε και στους μηχανισμούς με τους οποίους οι ρύποι αυτοί μπορούν να απομακρυνθούν από την ατμόσφαιρα. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι (Γεντεκάκης, 2010):

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

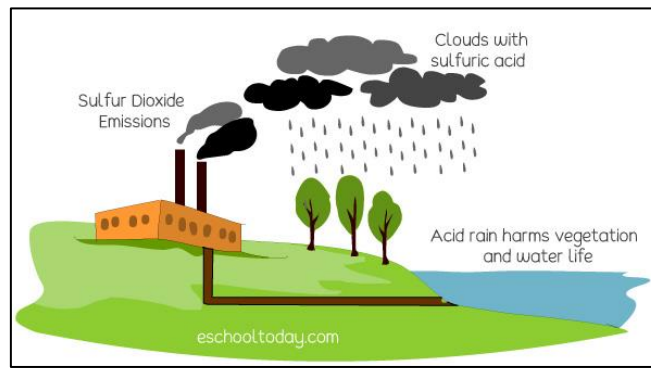
1. **Εναπόθεση:** η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος. Η εναπόθεση χωρίζεται σε τρία είδη:
 - **Καθίζηση:** συμβαίνει σε μεγάλου μεγέθους ρύπους και είναι η πτώση που υφίστανται λόγω της βαρύτητας.
 - **Ξηρή εναπόθεση:** οι μικροί μεγέθους ρύποι (π.χ. μικρά σωματίδια και αέριες ενώσεις) ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και κατακρατούνται από την υποκείμενη επιφάνεια όταν έρθουν σε επαφή.
 - **Υγρή απόθεση:** συμβαίνει σε περίπτωση υετού και μπορεί να συμβούν τα ενδεχόμενα: σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (**απόπλυση**) ή πρόσληψη των ρύπων από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.
2. **Μεταφορά:** η ρύπανση μεταφέρεται από μία πηγή σε ένα αποδέκτη κυρίως μέσω του αέρα. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει τύρβη και στρόβιλοι ο μηχανισμός ονομάζεται **διάχυση** (ο ρύπος εξαπλώνεται καθώς μεταφέρεται με τον άνεμο). Το αποτέλεσμα του συνδυασμού της διάχυσης και της μεταφοράς του ρύπου ονομάζεται **διασπορά**.
3. **Αδρανοποίηση:** οι ρύποι αδρανοποιούνται από τον χημικό μετασχηματισμό τους.

Από τα σημαντικότερα θέματα που οφείλουμε να αναλύσουμε είναι οι διάφορες συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς ο εκφυλισμός στην ποιότητα της ατμόσφαιρας έχει επηρεάσει σημαντικά τόσο το περιβάλλον, δηλαδή την χλωρίδα και την πανίδα της Γης, όσο και τον άνθρωπο και την δημόσια υγεία.

Συνοπτικά, οι κυριότερες επιπτώσεις που έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση στο περιβάλλον είναι (Γεντεκάκης, 2010):

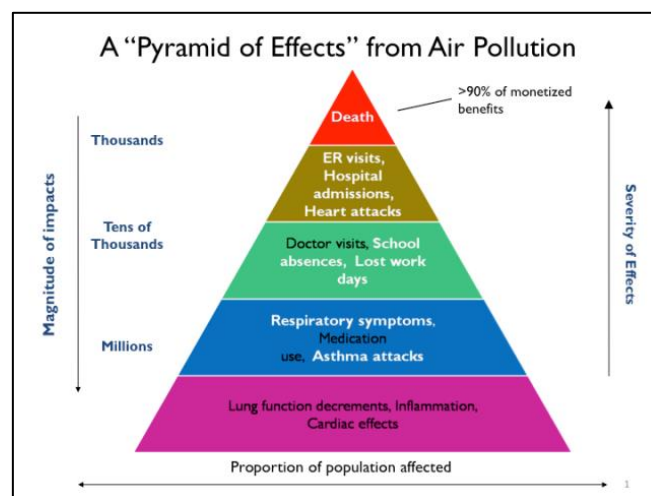
- **Κλιματική αλλαγή:** όπως αναλύθηκε και παραπάνω, πολύ μεγάλο ποσοστό ατμοσφαιρικών ρύπων εκπέμπονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι ρύποι αυτοί είναι και αέρια του θερμοκήπιου (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο) και ως αποτέλεσμα συμβάλλουν σημαντικά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, εντείνοντας τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει στο περιβάλλον. Τέτοιες επιπτώσεις είναι τα ακραία καιρικά φαινόμενα, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας κλπ (Manisalidis *et al.*, 2020).
- **Ελάττωση ή και εξαφάνιση πληθυσμών της πανίδας** (π.χ. άγρια ζώα, πτηνά, υδάτινοι πληθυσμοί)
- **Επίδραση στην βλάστηση** (είτε άμεσα με γεωργικές απώλειες λόγω ενός έντονου επεισοδίου ρύπανσης είτε μακροπρόθεσμα με χρόνια έκθεση της χλωρίδας σε αυξημένα επίπεδα ρύπανσης)
- **Μετεωρολογικές επιδράσεις** (αύξηση βροχοπτώσεων, λυψεινδρία, χαλάζι, έντονη κακοκαιρία σε αστικές περιοχές, ομίχλη, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας μιας περιοχής κλπ)

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.



Εικόνα 1.2.3 Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στο περιβάλλον (Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>)

Αναφορικά με την ανθρώπινη υγεία, η ατμοσφαιρική ρύπανση δύναται να την προσβάλλει με πολλούς τρόπους. Πολλές είναι οι μελέτες και οι έρευνες που έχουν καταπιαστεί με το θέμα αυτό, δηλαδή την επίδραση που έχει η ατμοσφαιρική ρύπανση στην ανθρώπινη δημόσια υγεία. Όπως αναφέρουμε και σε παρακάτω κεφάλαια, τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι αρκετά μικρά για να εισέλθουν στους πνεύμονες και στην κυκλοφορία του αίματος, όπου μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονή και βλάβη στα κύτταρα και τους ιστούς. Γι' αυτό και η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται τόσο με την χρονική διακύμανση Μέρους που τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι σχετικά υψηλά, υπάρχει περίπτωση όποιος εκτεθεί να αντιμετωπίσει προσωρινά προβλήματα, όπως είναι ευαισθησία και ενόχληση στα μάτια, στην μύτη και στον λαιμό ή ασθένειες όπως βρογχίτιδα και πνευμονία (*Air Pollution*, n.d; Slama *et al.*, 2020). Η χρόνια έκθεση σε κακής ποιότητας ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρότερα προβλήματα υγείας όπως είναι αναπνευστικές παθήσεις (π.χ. άσθμα, καρκίνο του πνεύμονα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια κλπ.) (Glencross *et al.*, 2020), καρδιαγγειακές νόσους (π.χ. αυξημένο ρίσκο καρδιακών παθήσεων, εμφραγμάτων και εγκεφαλικών) (Bae *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2023) καθώς και νευρολογικά προβλήματα όπως είναι η μειωμένη γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου, αύξηση του κινδύνου παθήσεων του νευρικού συστήματος όπως είναι η άνοια, το Αλτσχάιμερ, το Πάρκινσον και αμυοτροφική πλευρική σκλήρυνση και σκλήρυνση κατά πλάκας (Choi *et al.*, 2023; Dominski *et al.*, 2021; Kasdagli *et al.*, 2022). Επιπλέον, πολλές μελέτες έχουν αναδείξει την συσχέτιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με ψυχολογικά προβλήματα, όπως είναι αγχώδεις διαταραχές, κατάθλιψη, αυτοτραυματισμοί και γενικά μη ικανοποίηση από την ζωή (Lu, 2020).



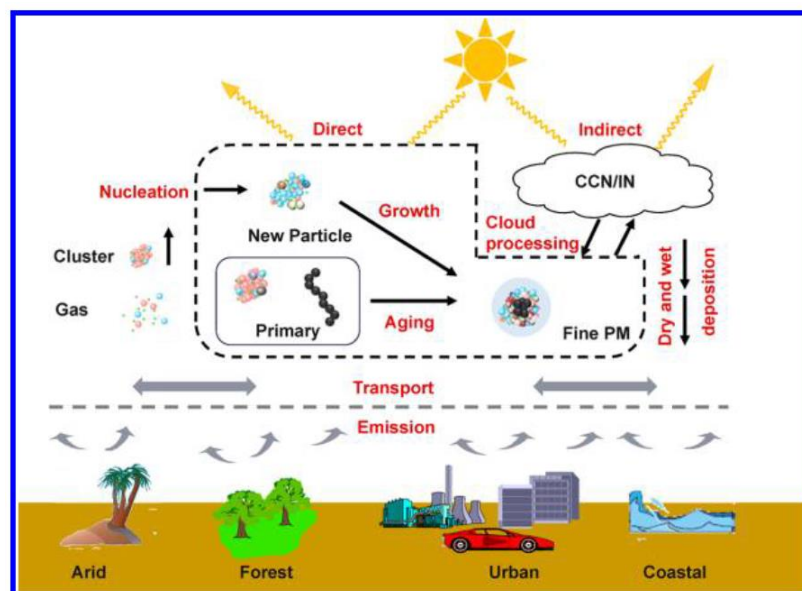
Εικόνα 1.2.4 Οι επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης στην ανθρώπινη και δημόσια υγεία σε μορφή πυραμίδας (Πηγή: <https://www.epa.gov/benmap/how-benmap-ce-estimates-health-and-economic-effects-air-pollution>)

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

1.3. Αιωρούμενα Σωματίδια

Η παγκοσμιοποίηση και η αστικοποίηση, κύρια χαρακτηριστικά του 21^{ου} αιώνα, στηρίζονται κατά βάση στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών. Όπως είναι λογικό, με την ανάπτυξη αυτών των δύο τομέων, οι οποίοι ήδη επηρεάζουν σε μεγάλο ποσοστό το περιβάλλον, όπως επίσης και με τον συνωστισμό του πληθυσμού σε μεγάλες πόλεις, οι επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα είναι εμφανέστατες. Σημαντική επίδραση στην διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας έχει η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate Matter – PM).

Ως αιωρούμενα σωματίδια (PM) χαρακτηρίζουμε τους ρύπους που αποτελούνται από μείγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων που βρίσκονται στον αέρα. Συνήθως, είναι αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που γίνονται στην ατμόσφαιρα μεταξύ διάφορων ρύπων, αλλά μπορούν να εκλυθούν και από ανθρωπογενείς πηγές, όπως είναι οι οικοδομές, οι πυρκαγιές, οι εκπομπές καυσίμων από την κίνηση των αυτοκινήτων, η καύση ξύλων, η θέρμανση κλπ. (Manisalidis *et al.*, 2020; *Particulate Matter (PM) Basics*, 2016; Zhang *et al.*, 2015).



Εικόνα 1.3.1 Σχηματική αναπαράσταση της δημιουργίας και της ανάπτυξης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Πηγή: Zhang *et al.*, 2015)

Τα PM, ανάλογα με το μέγεθός τους, μπορούν να φανούν είτε με το γυμνό μάτι (π.χ. σκόνη, καπνός κλπ) είτε με την χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (*Particulate Matter (PM) Basics*, 2016). Αναφορικά με την ρύπανση από αιωρούμενα σωματίδια, περιλαμβάνονται τα PM με αεροδυναμική διάμετρο 10 μικρομέτρων (μm) ή μικρότερη ($\text{PM}_{10.0}$), γνωστά και ως χονδρόκοκκα σωματίδια, και τα εξαιρετικά λεπτά ή λεπτόκοκκα σωματίδια δηλαδή αυτά με αεροδυναμική διάμετρο 2.5 μm ή μικρότερη ($\text{PM}_{2.5}$), καθώς είναι αυτά που προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην δημόσια υγεία.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Στον παρακάτω πίνακα, μπορούμε να διακρίνουμε, ανάλογα με το μέγεθος τους, σε τι μορφή συναντώνται τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα:

Πίνακας 1.3.1 Μόρφη αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ανάλογα με το μέγεθός τους (Πηγή: Manisalidis et al., 2020)

Τύπος	Μορφή ρύπου	Διάμετρος PM σε μm
Σωματιδιακοί ρύποι	Αιθαλομίχλη	0.01 – 1.0
	Αιθάλη	0.01 – 0.8
	Καπνός από τσιγάρα	0.01 – 1.0
	Ιπτάμενη τέφρα	1.0 – 100
	Σκόνη τσιμέντου	8 – 100
Βακτηριακοί ρύποι	Βακτήρια	0.7 – 10
	Ιοί	0.01 – 1.0
	Μύκητες και μούχλα	2.0 – 12.0
	Αλλεργιογόνα	0.1 – 100
Τύποι σκόνης	Ατμοσφαιρική σκόνη	0.01 – 1
	Βαριά σκόνη	100 – 1000
	Σκόνη καθίζησης	1 – 100
Αέρια	Διάφοροι αέριοι ρύποι	0.0001 – 0.01

Όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχει αποδειχθεί ότι, τα αιωρούμενα σωματίδια ευθύνονται για πληθώρα σοβαρών προβλημάτων υγείας που μπορεί να αντιμετωπίσει κάποιος άνθρωπος όταν εκτίθεται σε κακής ποιότητας ατμόσφαιρα. Συνήθως, η εισπνοή ποσότητας αιωρούμενων σωματιδίων, ειδικά αν γίνεται μακροχρόνια, προκαλεί προβλήματα στο καρδιαγγειακό και αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι επιπτώσεις που μπορούν να έχουν τα PM στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, ανάλογα με το μέγεθός τους:

Πίνακας 1.3.2 Διείσδυση PM στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με το μέγεθός τους (Πηγή: Manisalidis et al., 2020)

Διάμετρος σωματιδίου (μm)	Βαθμός διείσδυσης στον ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα
>11 μm	Εισχώρηση στα ρουθούνια και στην ανώτερη αναπνευστική οδό
7 – 11 μm	Εισχώρηση στη ρινική κοιλότητα
4.7 – 7 μm	Εισχώρηση στον λάρυγγα
3.3 – 4.7 μm	Εισχώρηση στην τραχεία – βρογχική περιοχή
2.1 – 3.3 μm	Δευτερεύουσα εισχώρηση στην βρογχική περιοχή
1.1 – 2.1 μm	Τελική εισχώρηση στην βρογχική περιοχή
0.65 – 1.1 μm	Διεισδυτικότητα βρογχιολίων
0.43 – 0.65 μm	Διεισδυτικότητα κυψελίδων

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

1.4. Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο / οδηγία και το νομοθετικό πλαίσιο κατά US EPA

Όπως έγινε σαφές και παραπάνω, οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να αποβούν μοιραίες τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Από το 1970 το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως μείζονος σημασίας και θεωρήθηκε επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστεί. Η θέσπιση ενός νομοθετικού πλαισίου για την καταπολέμηση του φαινομένου εκφυλισμού της ποιότητας της ατμόσφαιρας καθορίζει μία κοινή πορεία σχετικά με την παρακολούθηση, την αξιολόγηση και την πληροφόρηση όσον αφορά την ποιότητα της ατμόσφαιρας στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καθώς επίσης θέτονται κοινοί στόχοι ώστε να επιτευχθεί η μείωση ή ακόμα και η πλήρης αποφυγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (*Air Quality*, n.d).

Το Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο, με την οδηγία «Directive 2008/50/EC Cleaner Air for Europe - C.A.F.E», θέτει όρια στην ποιότητα της ατμόσφαιρας, για τους εξής 12 ρύπους: Διοξείδιο του θείου, Διοξείδιο του Αζώτου, Αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10.0} και PM_{2.5}), Όζον, Βενζόλιο, Μόλυβδος, Αρσενικό, Κάδμιο, Νικέλιο και Βενζο(α)πυρένιο. Σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία θα απασχολήσουν και το ερευνητικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, η οδηγία θέτει τα εξής όρια (*EU air quality standards*, n.d):

Πίνακας 1.4.1 Οδηγία 2008/50/EC: Οριακές τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Directive 2008/50/EC – Air Quality Guidelines				
Ρύπος	Περίοδος αναφοράς	Στόχος	Συγκέντρωση	Παρατηρήσεις
PM _{2.5}	24ώρο	Τιμή στόχος		Να μην υπερβαίνονται οι τιμές πάνω από 35 μέρες ετησίως.
PM _{2.5}	Ετησίως	Οριακή τιμή	25 µg/m ³	
PM _{2.5}	Ετησίως	Ενδεικτική οριακή τιμή	20 µg/m ³	
PM _{10.0}	24ώρο	Οριακή τιμή	50 µg/m ³	
PM _{10.0}	Ετησίως	Οριακή τιμή	40 µg/m ³	

Άλλες οδηγίες σχετικές με την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, είναι (*Air Quality*, n.d):

- **Directive 2004/107/EC**: Οδηγία σχετική με τους ρύπους Αρσενικό, Κάδμιο, Μόλυβδος, Νικέλιο και Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- **Commission Directive (EU) 2015/1480**: Τροποποίηση παραρτημάτων στις νομοθεσίες 2008/50/EC και 2004/107/EC
- **2011/850/EU**: Θέσπιση κανόνων για τις οδηγίες 2008/50/EC και 2004/107/EC όσον αφορά την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και την υποβολή εκθέσεων σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα

Όσον αφορά την νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Η.Π.Α), το 1970 δημιουργήθηκε ο κανονισμός «Clean Air Act (CAA)», στο οποίο ο Αμερικανικός Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, EPA), έθεσε εθνικά όρια σε έξι ρύπους (Μονοξείδιο του άνθρακα, Όζον, Μόλυβδο, Οξείδια του αζώτου, Αιωρούμενα σωματίδια και Διοξείδιο του θείου) ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και να προστατευτεί κατά το μέγιστο δυνατό η δημόσια υγεία. Επιπρόσθετα, η νομοθεσία αυτή δίνει στον EPA την δικαιοδοσία να περιορίζει την ρύπανση του αέρα από ορισμένες πηγές όπως χημικά εργοστάσια, εγκαταστάσεις χαλυβουργίας κλπ (US EPA, 2013).

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Ειδικά για τα PM και το πλαίσιο του κανονισμού «National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)», ο EPA, ύστερα από ενδελεχή εξέταση των τελευταίων επιστημονικών στοιχείων, τεχνικών πληροφοριών και διαβουλεύσεις με ανεξάρτητους επιστημονικούς συμβούλους, αποφάσισε στις 6/1/2023, να ανακοινώσει επικείμενες αναθεωρήσεις των προτύπων για τα PM_{2.5}. Εξετάζεται το ενδεχόμενο, το ετήσιο πρότυπο να οριστεί στα 9 με 10 µg/m³ αντί για 12 µg/m³ που είναι τώρα (US EPA, 2020).

Γενικά και επί του παρόντος, ο κανονισμός NAAQS προβλέπει τα εξής πρότυπα για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (US EPA, 2020):

- Μέση ετήσια τιμή πρωτογενών PM_{2.5} : 12.0 µg/m³
- Μέση ετήσια τιμή δευτερογενών PM_{2.5} : 15.0 µg/m³
- 24-ώρο πρότυπο PM_{2.5} : 35 µg/m³
- 24-ώρο πρότυπο PM_{10.0}: 150 µg/m³ (με μία αναμενόμενη υπέρβαση)

1.5. Εξατομικευμένη δόση PM – Ογκοδοσομετρία

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η έκθεση σε κακής ποιότητας ατμοσφαιρικό αέρα, και κατ' επέκταση η εισπνοή ποσότητας αιωρούμενων σωματιδίων, οδηγούν σε σοβαρά προβλήματα υγείας, κυρίως στο καρδιαγγειακό και το αναπνευστικό σύστημα. Για τον λόγο αυτό λοιπόν, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον εμφανίζει η μελέτη και ο υπολογισμός της εξατομικευμένης δόσης – πρόσληψης αιωρούμενων σωματιδίων. Ως εξατομικευμένη δόση (Intake Dose – ID) ορίζουμε την μάζα των PM που έχει εισπνεύσει σε μία συγκεκριμένη χρονική διάρκεια ένας άνθρωπος. Η μάζα αυτή μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το φύλο, την ηλικία κλπ. του ανθρώπου. Ένα από τα πιο απλά μοντέλα υπολογισμού της δόσης πρόσληψης που έχουν προταθεί, και χρησιμοποιείται και για την διεκπεραίωση του ερευνητικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το κάτωθι:

$$ID = \dot{V}_E \cdot PM \quad (1)$$

Όπου \dot{V}_E είναι ο ρυθμός αερισμού – αναπνοών σε L/min (βλ. Πίνακα 3.4.1.) και PM είναι η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε mg/m³ (Novak *et al.*, 2020).

Ο υπολογισμός της δόσης πρόσληψης, ιδιαίτερα των PM_{2.5}, έχει απασχολήσει πολλές έρευνες σε όλον τον κόσμο, λόγω της άρρηκτης σύνδεσης των PM με σοβαρά προβλήματα υγείας. Σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2018 με δεδομένα για τρεις ευρωπαϊκές πόλεις (Αθήνα, Κουόπιο, Λισαβόνα) χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο δόσης έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια. Ειδικά για την Λισαβόνα, η οποία σημείωσε τις υψηλότερες ποσότητες ρύπανσης, προέκυψε ότι κατά τη διάρκεια των ωρών εργασίας (σε εξωτερικούς χώρους, ελαφριά άσκηση) το εκτεθειμένο άτομο έλαβε περίπου το 61% της συνολικής μάζας ρύπων. Επιπλέον, φάνηκε ότι η ηλικία, το φύλο αλλά και το ποσοστό φυσικής δραστηριότητας του εκτεθειμένου ατόμου επιδρούν σημαντικά στον υπολογισμό δόσης – πρόσληψης, με τους ενήλικους άνδρες να είναι η πιο ευάλωτη ομάδα (Chalvatzaki *et al.*, 2018). Οι Kitagawa *et al.* (2022), επιχείρησαν να εκτιμήσουν την έκθεση και την εισπνεόμενη δόση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους 21 παιδιών που κατοικούσαν σε μια τροπική παράκτια-αστική περιοχή στη νοτιοανατολική Βραζιλία. Με τη χρήση του μοντέλου CMAQ, η προσωπική ημερήσια έκθεση των παιδιών στα PM_{2.5} εκτιμήθηκε σε 32,9µg/m³ και η πιθανή ημερήσια εισπνεόμενη δόση ήταν 570-667 µg για τα PM_{2.5}, αριθμός ανησυχητικός που υποδηλώνει υψηλό κίνδυνο δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

1.6. Ατμοσφαιρική ρύπανση στους λιμένες

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ειδικότερα, ο τομέας της ναυτιλίας και οι δραστηριότητές που εμπεριέχονται σε αυτόν, συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές ρύπων όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), οξείδια του αζώτου (NO_x) και φυσικά αιωρούμενα σωματίδια (PM), τα οποία και απασχολούν την παρούσα διπλωματική εργασία (Toscano *et al.*, 2021). Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε μεγαλουπόλεις με έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα, όπως αυτές που εξετάζονται στην διπλωματική εργασία, οι δευτερογενείς διεργασίες παραγωγής σωματιδίων στις μητροπολιτικές περιοχές επηρεάζονται από τις ναυτιλιακές εκπομπές. Οι ναυτιλιακές εκπομπές προκαλούν το 1 με 7% των επιπέδων $\text{PM}_{10.0}$ στον ατμοσφαιρικό αέρα, το 1 με 14% των επιπέδων $\text{PM}_{2.5}$ και τουλάχιστον το 11% των επιπέδων $\text{PM}_{1.0}$ στις ευρωπαϊκές παράκτιες περιοχές (Di Natale and Carotenuto, 2015; Murena *et al.*, 2018; Viana *et al.*, 2014).



Εικόνα 1.6.1 Εκπομπές εμπορικού πλοίου σε λιμάνι (Πηγή: <https://supremefreight.com/ports-and-shipping-need-to-curb-air-pollution/>)

Ως αποτέλεσμα της τεράστιας αύξησης της θαλάσσιας κυκλοφορίας, η ατμοσφαιρική ρύπανση στα λιμάνια αυξάνεται ραγδαία και δημιουργούνται σημαντικά προβλήματα στη θαλάσσια πολιτική και διαχείριση. Παραπάνω αναφέρθηκαν οι νομοθεσίες και οι οδηγίες που έχουν θεσπιστεί για την ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά. Αντίστοιχες οδηγίες υπάρχουν και στον τομέα της ναυτιλίας. Οι νομικές υποχρεώσεις του ναυτιλιακού τομέα που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση σε εμπορικά και επιβατικά διακρίνονται σε διάφορους κανονισμούς και οδηγίες (Gössling *et al.* 2021).

1. **Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757**: σχετικά με την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και την επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τις θαλάσσιες μεταφορές (European Union, 2015).
2. **Οδηγία 2012/33/ΕΕ**: θέτει όρια για την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων πλοίων που χρησιμοποιούνται σε πλοία που δραστηριοποιούνται σε καθορισμένες περιοχές ελέγχου εκπομπών θείου (SECA) στη Βαλτική Θάλασσα, τη Βόρεια Θάλασσα και τη Μάγνη. Τα όρια αυτά ορίζονται σε 0,1% περιεκτικότητα σε θείο κατά μάζα (European Union, 2012).
3. **Οδηγία 2008/56/ΕΚ**: οδηγία-πλαίσιο για τη θαλάσσια στρατηγική της ΕΕ η οποία απαιτεί από τα κράτη μέλη να λαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στα θαλάσσια ύδατα τους. Αυτό περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των πηγών ρύπανσης και την εφαρμογή μέτρων για την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης από τα πλοία (European Union, 2008).

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Ο κύριος κανονισμός που διέπει τον ναυτιλιακό τομέα είναι από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό ο οποίος έχει αναπτύξει διάφορους κανονισμούς με στόχο τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία, συμπεριλαμβανομένου του παραρτήματος MARPOL. Το παράρτημα VI της MARPOL θεσπίζει τα όρια για τις εκπομπές NO_x και SO_x από πλοία και προτείνει εναλλακτικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών θείου με τη χρήση καυσίμων με χαμηλότερης περιεκτικότητας (Toscano *et al.*, 2021).

Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπουν οι κινητήρες diesel του ναυτιλιακού τομέα, έχουν συνήθως την εξής σύσταση:

- **Ορυκτές στάχτες**, που προέρχονται από ακαθαρσίες καυσίμων (μέγεθος: από 200 nm μέχρι και 10 μm)
- **Θειικά και νιτρικά άλατα**, μαζί με το σχετικό νερό (μέγεθος: στην τάξη των μm)
- **Σωματίδια αιθάλης**, (μέγεθος: υπομικρών <1 μm και υπερλεπτών <200 nm)

Καθίσταται σαφές ότι οι παραπάνω κανονισμοί δεν προβλέπουν κάποιο πλαίσιο που να ενισχύει τις προσπάθειες μείωσης εκπομπών PM που προκύπτουν από ναυτιλιακές δραστηριότητες (Di Natale and Carotenuto, 2015).

1.7. Όργανα μέτρησης ρύπανσης

Παραπάνω, έγινε μία εκτενής αναφορά σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση και τις επιπτώσεις αυτής. Καθίσταται λοιπόν σαφές, ότι η ενδεδειγμένη παρακολούθηση και ο συστηματικός έλεγχος της ποιότητας της ατμόσφαιρας χρήζουν άμεσης προσοχής από τις αρμόδιες αρχές ώστε να διασφαλιστεί κατά το μέγιστο δυνατό η δημόσια υγεία και η προστασία του περιβάλλοντος. Για την επίτευξη και διεξαγωγή μιας εμπειριστατωμένης μελέτης της ποιότητας της ατμόσφαιρας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και χρησιμοποιούνται πολλά όργανα ώστε να διεκπεραιωθεί επιτυχώς ο έλεγχος και η παρακολούθηση των επιπέδων συγκέντρωσης ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Τα όργανα μέτρησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την ακρίβεια και την αξιοπιστία που παρέχουν, την επαναληψιμότητα των μετρήσεων και το κόστος αγοράς και λειτουργίας του οργάνου.

Οι τεχνικές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα όργανα μέτρησης και με τις οποίες μπορεί κάποιος να μετρήσει τα επίπεδα ρύπανσης και να βγάλει κάποιο συμπέρασμα για την ποιότητα της ατμόσφαιρας, έχουν ως εξής:

1. Παθητική Δειγματοληψία

Επιτυγχάνεται με την χρήση **σωλήνων διάχυσης**, όπου ένα δείγμα εγγέεται στον σωλήνα προς αξιολόγηση και μέτρηση των μέσων συγκεντρώσεων ρύπανσης για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έκθεσης. Είναι μία απλή και οικονομικά αποδοτική λύση για την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή, καθώς το κόστος ανά σωλήνα είναι χαμηλό. Αυτό επιτρέπει την δειγματοληψία σε διάφορες περιοχές και ως αποτέλεσμα προκύπτει μία καλή και εμπειριστατωμένη ένδειξη για την κατάσταση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Η χρήση των σωλήνων διάχυσης γίνεται όταν οι ρύποι που θέλουμε να μετρήσουν είναι το διοξείδιο του αζώτου, το βενζόλιο, το διοξείδιο του θείου κλπ.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

2. Ενεργή (ημιαυτόματη) δειγματοληψία

Η συλλογή δείγματος ρύπων γίνεται είτε με φυσικά είτε με χημικά μέσα ώστε να αναλυθούν σε δεύτερο χρόνο σε εργαστήριο. Για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα ένας όγκος αέρα αντλείται μέσω ενός συλλέκτη (π.χ. φίλτρο ή χημικό διάλυμα) ώστε να ακολουθήσει η εργαστηριακή ανάλυση.

3. Αυτόματη σημειακή παρακολούθηση

Πρόκειται για τα πιο εξελιγμένα και αξιόπιστα συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, ταυτόχρονα όμως και από τα πιο ακριβά. Γίνεται αναρρόφηση του ατμοσφαιρικού αέρα από τους αυτόματους αναλυτές και ύστερα μετριέται η συγκέντρωση του ρύπου που υπάρχει στο δείγμα, συνήθως σε ωριαίο ή και μικρότερο βήμα. Οι μετρήσεις αυτές δύναται να κοινοποιηθούν στο κοινό σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.

4. Απομακρυσμένοι αναλυτές οπτικής/μακράς διαδρομής

Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν μια φασματοσκοπική τεχνική μακράς διαδρομής για την πραγματοποίηση μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο της συγκέντρωσης μιας σειράς ρύπων που ενσωματώνονται κατά μήκος μιας διαδρομής μεταξύ μιας πηγής φωτός και ενός ανιχνευτή. Τα όργανα που χρησιμοποιούν το σύστημα διαφορικής οπτικής φασματοσκοπίας απορρόφησης (DOAS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση δεδομένων για το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου και το βενζόλιο.

5. Συστήματα αισθητήρων χαμηλού κόστους

Τα συστήματα αισθητήρων χαμηλού κόστους αποτελούνται από συσκευές χαμηλής ισχύος, συνήθως τροφοδοτούνται από μπαταρία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε σταθερές θέσεις είτε στο χέρι για κινητές μελέτες ρύπανσης. Παρέχουν δεδομένα σε διάφορα χρονικά βήμα, από 1 λεπτό ή λιγότερο έως και 24ώρο βήμα. Το χαμηλό τους κόστους επιτρέπει την δημιουργία και την ανάπτυξη πολλών συστημάτων σε διάφορες περιοχές.

Ομοίως με την παρούσα διπλωματική εργασία, υπάρχουν πολλές έρευνες οι οποίες χρησιμοποιούν δεδομένα από όργανα ή δίκτυο οργάνων χαμηλού κόστους ώστε να σχηματίσουν μία αναφορά για την ποιότητα της ατμόσφαιρας της υπό μελέτη περιοχής. Στην Αφρική υπάρχει το project Sensor.Africa κατά το οποίο έχουν εγκατασταθεί όργανα παρακολούθησης της ατμόσφαιρας σε πάνω από 25 πόλεις (Tékouabou *et al.*, 2022). Στην Πολωνία, μέσω ενός συστήματος οργάνων χαμηλού κόστους τοποθετημένο σε 3 διασταυρώσεις στο κέντρο της πόλης μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στο σημείο και οι συνθήκες κίνησης στους δρόμους ώστε να υπολογιστεί η επίδραση των αυτοκινήτων στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων (Brzozowski *et al.* 2019). Σε μία μελέτη περίπτωσης που διεξήχθη στο Λος Άντζελες, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης των μετρήσεων που εξάγονται από αισθητήρες χαμηλού κόστους PurpleAir ώστε οι εκτιμήσεις και κατ' επέκταση η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας να είναι ακόμα πιο αξιόπιστες (Lu *et al.* 2021). Σε γενικές γραμμές, η ανάπτυξη δικτύων αποτελούμενων από όργανα παρακολούθησης της ατμόσφαιρας χαμηλού κόστους, βοηθάει στην επέκταση των περιοχών που ελέγχονται και παρακολουθούνται, δίνει τη δυνατότητα στους πολίτες να ενημερώνονται εμπεριστατωμένα σχετικά με την τοπική ποιότητα του αέρα και των επιπτώσεων που έχουν τα επεισόδια ρύπανσης στην υγεία και το περιβάλλον.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

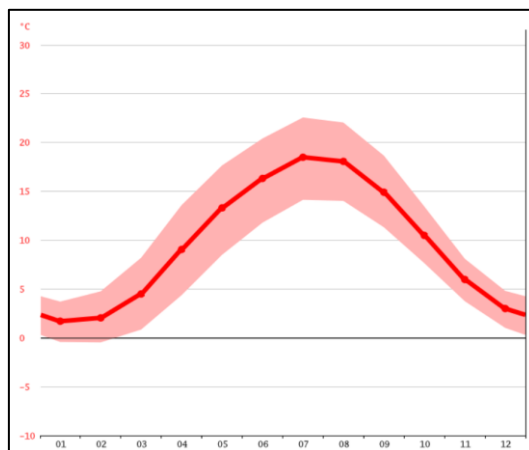
Κεφάλαιο 2^ο : Περιοχές Έρευνας

2.1. Λιμάνι του Αμβούργου, Γερμανία

Η πρώτη περιοχή έρευνας αφορά την πόλη-λιμάνι του Αμβούργου στην Γερμανία. Η Γερμανία εκτείνεται σε 357.376 km² και ο πληθυσμός αγγίζει τα 84 εκατομμύρια σε 16 πολιτείες. Πρόκειται για μία από τις μεγαλύτερες χώρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τοποθετείται μεταξύ της Βαλτικής και της Βόρειας Θάλασσας στα βόρεια, και των Άλπειων στα νότια (European Union, 2015). Ειδικότερα το Αμβούργο είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Γερμανίας, η οποία εκτείνεται σε 755,3 km² και φιλοξενεί περίπου 1,8 εκατομμύρια κατοίκους (Statistics / Eurostat, n.d). Όσον αφορά το κλίμα, η πόλη χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, με φαινόμενα ομίχλης και υγρασίας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 9,8 °C (Hamburg climate: Temperature Hamburg & Weather By Month - Climate-Data.org, n.d).

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	1.7 °C (35.1) °F	2 °C (35.7) °F	4.5 °C (40.1) °F	9.1 °C (48.3) °F	13.3 °C (56) °F	16.3 °C (61.4) °F	18.5 °C (65.3) °F	18.1 °C (64.5) °F	14.9 °C (58.8) °F	10.5 °C (50.9) °F	6 °C (42.8) °F	3 °C (37.4) °F
Min. Temperature °C (°F)	-0.4 °C (31.2) °F	-0.5 °C (31.2) °F	0.8 °C (33.5) °F	4.4 °C (39.9) °F	8.5 °C (47.3) °F	11.8 °C (53.2) °F	14.1 °C (57.4) °F	14 °C (57.2) °F	11.3 °C (52.4) °F	7.6 °C (45.8) °F	3.8 °C (38.8) °F	1 °C (33.8) °F
Max. Temperature °C (°F)	3.7 °C (38.7) °F	4.8 °C (40.6) °F	8.2 °C (46.8) °F	13.6 °C (56.5) °F	17.7 °C (63.8) °F	20.4 °C (68.8) °F	22.6 °C (72.6) °F	22.1 °C (71.7) °F	18.7 °C (65.6) °F	13.5 °C (56.2) °F	8.1 °C (46.6) °F	4.8 °C (40.7) °F

Εικόνα 2.1.1 Μέση / Ελάχιστη / Μέγιστη θερμοκρασία του Αμβούργου (σειρά δεδομένων από το 1991 έως το 2021) (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/germany/hamburg/hamburg-69/#temperature-graph>)



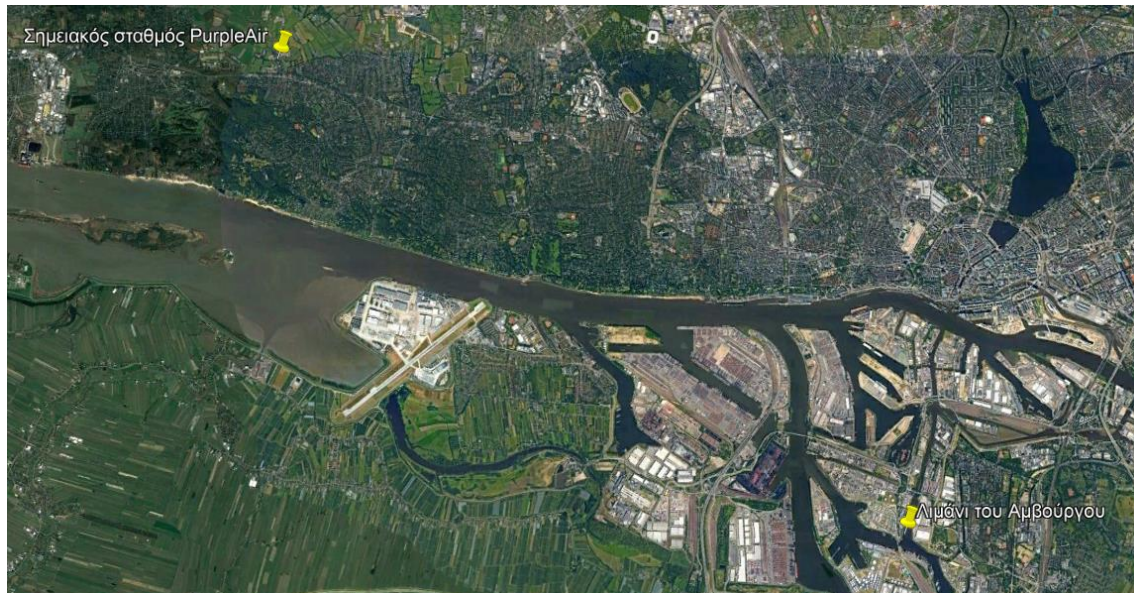
Εικόνα 2.1.2 Σχηματική αναπαράσταση της μέσης θερμοκρασίας του Αμβούργου ανά μήνα (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/germany/hamburg/hamburg-69/#temperature-graph>)

Το λιμάνι του Αμβούργου (Port of Hamburg) εδρεύει στον ποταμό Έλβα, περίπου 110 km από τις εκβολές του στην Βόρεια Θάλασσα, και πρόκειται για το μεγαλύτερο λιμάνι της Γερμανίας και το τρίτο κατά σειρά μεγαλύτερο ευρωπαϊκό λιμάνι. (Ramacher et al., 2020). Λειτουργεί τόσο ως εμπορικό λιμάνι, καθώς είναι ένα από κορυφαία κέντρα εξωτερικού εμπορίου της χώρας με έντονη επιχειρηματική δραστηριότητα, όσο και ως επιβατικό. Το 2021, έγινε διακίνηση θαλάσσιου φορτίου ύψους 128,7 εκατομμυρίων τόνων. Στον τομέα της διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων, επίσης το 2021 διακινήθηκαν περίπου 8,7 εκατομμύρια TEU. Το 2022 σημειώθηκαν νούμερα ρεκόρ καθώς το λιμάνι υποδέχθηκε πάνω από 750.000 επιβάτες (Hamburg.de, 2012).

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Σημειακός σταθμός PurpleAir

Ο σταθμός παρακολούθησης βρίσκεται στη συνοικία Sulldorf, περίπου 17 km από το λιμάνι, μεταξύ ενός υπεραστικού δρόμου μεγάλων αποστάσεων (ομοσπονδιακός αυτοκινητόδρομος Sulldorfer Landstr.) και ενός νεκροταφείου με συνεχή δασική βλάστηση (Friedhof Blankenese) που εκτείνεται 175.000 m². Στις 31/12/2020 το Sulldorf είχε πληθυσμό 9.474 κατοίκους.



Εικόνα 2.1.3 Απεικόνιση της περιοχής έρευνας του Αμβούργου (Πηγή: Google Earth Pro)

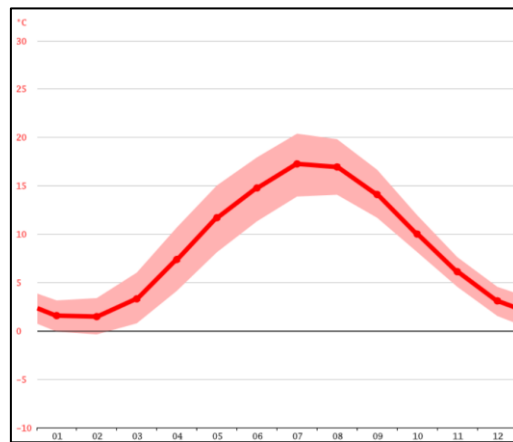
2.2. Λιμάνι του Άρχους, Δανία

Στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας, ερευνήθηκε η πόλη λιμάνι του Άρχους, στην Δανία. Η Δανία είναι μία σκανδιναβική χώρα της βόρειας Ευρώπης, η νοτιότερη από όλες τις σκανδιναβικές χώρες. Βρίσκεται νοτιοδυτικά της Σουηδίας, νότια της Νορβηγίας και βόρεια της Γερμανίας. Το Άρχους πρόκειται για την δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Δανίας και σύμφωνα με την απογραφή του 2021 οι κάτοικοι του ξεπερνούσαν τους 350 χιλιάδες (Riegels et al., 2020, *Statistics / Eurostat*, n.d). Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 9 °C (*Aarhus climate: Temperature Aarhus & Weather By Month - Climate-Data.org*, n.d).

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	1.6 °C (34.8) °F	1.5 °C (34.7) °F	3.3 °C (38) °F	7.4 °C (45.3) °F	11.7 °C (53.1) °F	14.8 °C (58.6) °F	17.3 °C (63.1) °F	17 °C (62.5) °F	14.1 °C (57.4) °F	10 °C (50) °F	6.1 °C (43) °F	3.1 °C (37.6) °F
Min. Temperature °C (°F)	-0.1 °C (31.9) °F	-0.4 °C (31.3) °F	0.8 °C (33.4) °F	4.1 °C (39.4) °F	8.1 °C (46.6) °F	11.3 °C (52.4) °F	13.9 °C (57) °F	14.1 °C (57.3) °F	11.7 °C (53.1) °F	8.1 °C (46.7) °F	4.6 °C (40.2) °F	1.5 °C (34.8) °F
Max. Temperature °C (°F)	3.2 °C (37.7) °F	3.4 °C (38.1) °F	6 °C (42.8) °F	10.7 °C (51.3) °F	15 °C (59.1) °F	17.9 °C (64.3) °F	20.4 °C (68.7) °F	19.8 °C (67.7) °F	16.7 °C (62) °F	12 °C (53.5) °F	7.6 °C (45.7) °F	4.6 °C (40.2) °F

Εικόνα 2.2.1 Μέση / Ελάχιστη / Μέγιστη θερμοκρασία του Αμβούργου (σειρά δεδομένων από το 1991 έως το 2021) (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/denmark/central-denmark-region/aarhus-302/>)

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.



Εικόνα 2.2.2 Σχηματική αναπαράσταση της μέσης θερμοκρασίας του Άρχους ανά μήνα (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/denmark/central-denmark-region/aarhus-302/>)

Το λιμάνι της πόλης είναι το μεγαλύτερο εμπορικό λιμάνι της Δανίας, με μερίδιο αγοράς στον τομέα της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων, περίπου 65%. Μέσω αυτού γίνονται οι περισσότερες εισαγωγές καταναλωτικών αγαθών της χώρας, αλλά και οι εξαγωγές που πραγματοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Εκτιμάται ότι το λιμάνι διαχειρίζεται περίπου 9 εκατομμύρια τόνους εμπορεύματος σε ετήσια βάση). Πέραν από την εμπορική διάσταση του, το λιμάνι προσφέρεται και για τουριστικές δραστηριότητες. Διαθέτει έναν λιμένα πορθμείων (ferry port) ο οποίος εξυπηρετεί ετησίως γύρω στα 1,3 εκατομμύρια επιβατικά αυτοκίνητα και υποδέχεται πάνω από 3 εκατομμύρια επιβάτες. Στην περιοχή του λιμανιού εδρεύουν περίπου 150 εταιρείες, καθιστώντας την ένα σπουδαίο επιχειρηματικό κέντρο (Portofaarhus.dk, 2022).

Σημειακός σταθμός PurpleAir

Ο πλησιέστερος σταθμός παρακολούθησης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 5 km από το λιμάνι, στην προαστιακή γειτονιά και συνοικία του Άρχους, το Risskov. Κατά μήκος του κόλπου του Άρχους βρίσκεται μια δασική περιοχή και πάρκο, που εκτείνεται σε 0,8 km² και βρίσκεται μεταξύ του υπό μελέτη λιμανιού και της θέσης του σταθμού παρακολούθησης.



Εικόνα 2.2.3 Απεικόνιση της περιοχής έρευνας του Άρχους (Πηγή: Google Earth Pro)

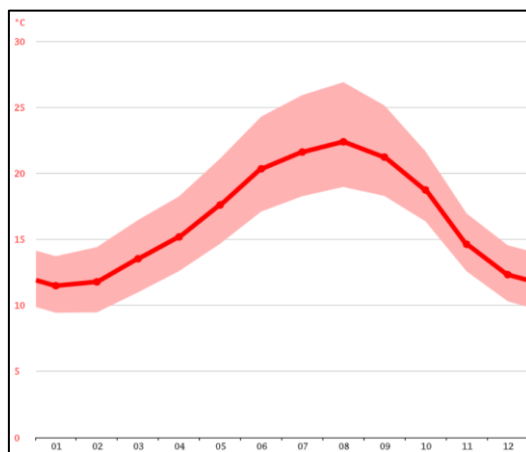
Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

2.3. Λιμάνι της Λισαβόνας, Πορτογαλία

Η τελευταία πόλη λιμάνι που επιλέχθηκε να μελετηθεί στην διπλωματική εργασία είναι η Λισαβόνα, στην Πορτογαλία. Η Πορτογαλία τοποθετείτε στον χάρτη στο δυτικό άκρο της Ιβηρικής χερσονήσου στη νοτιοδυτική Ευρώπη. Στα βόρεια και στα ανατολικά συνορεύει με την Ισπανία, ενώ στα νότια και στα δυτικά βρέχεται από τον Ατλαντικό ωκεανό. Περιλαμβάνει επίσης και δύο αρχιπελάγη στον Ατλαντικό, τις Αζόρες και τη Μαδέρα. Έχει έκταση 92.226 km² και πληθυσμό 10.352.042 κατοίκους (Mascarenhas et al., 2019). Στην χώρα συναντώνται γύρω στα 40 λιμάνια, όλα πλήρως εναρμονισμένα με τα παγκόσμια ναυτιλιακά στάνταρ, καθώς αποτελούνται από μοντέρνες εγκαταστάσεις οι οποίες συνεχώς βελτιώνονται. Το μεγαλύτερο λιμάνι της χώρας και αυτό που θα μας απασχολήσει, βρίσκεται στην πρωτεύουσα, την Λισαβόνα. Η πρωτεύουσα έχει έκταση 3.015 km² και σύμφωνα με την απογραφή του 2021 οι κάτοικοί της άγγιζαν τους 2,9 εκατομμύρια (Statistics / Eurostat, n.d). Αναφορικά με το κλίμα, οι χειμώνες είναι αρκετά σύντομοι αλλά βροχεροί και τα καλοκαίρια ιδιαίτερα ζεστά. Η μέση ετήσια θερμοκρασία διαμορφώνεται στους 16,7 °C (Lisbon climate: Average Temperature, weather by month, Lisbon water temperature - Climate-Data.org, n.d).

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	11.5 °C (52.7) °F	11.8 °C (53.2) °F	13.5 °C (56.4) °F	15.2 °C (59.3) °F	17.6 °C (63.7) °F	20.3 °C (68.6) °F	21.6 °C (70.9) °F	22.4 °C (72.3) °F	21.2 °C (70.2) °F	18.7 °C (65.7) °F	14.6 °C (58.3) °F	12.3 °C (54.2) °F
Min. Temperature °C (°F)	9.4 °C (49) °F	9.5 °C (49.1) °F	11 °C (51.8) °F	12.6 °C (54.7) °F	14.7 °C (58.4) °F	17.1 °C (62.8) °F	18.3 °C (64.9) °F	19 °C (66.1) °F	18.3 °C (64.9) °F	16.4 °C (61.5) °F	12.6 °C (54.6) °F	10.3 °C (50.6) °F
Max. Temperature °C (°F)	13.7 °C (56.7) °F	14.4 °C (57.9) °F	16.5 °C (61.6) °F	18.3 °C (64.9) °F	21.1 °C (70) °F	24.3 °C (75.7) °F	25.9 °C (78.7) °F	26.9 °C (80.4) °F	25.1 °C (77.3) °F	21.7 °C (71) °F	17 °C (62.5) °F	14.6 °C (58.2) °F

Εικόνα 2.3.1 Μέση / Ελάχιστη / Μέγιστη θερμοκρασία του Αμβούργου (σειρά δεδομένων από το 1991 έως το 2021) (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/portugal/lisbon/lisbon-3308/>)



Εικόνα 2.3.2 Σχηματική αναπαράσταση της μέσης θερμοκρασίας του Άρχους ανά μήνα (Πηγή: <https://en.climate-data.org/europe/portugal/lisbon/lisbon-3308/>)

Το λιμάνι της Λισαβόνας (Port of Lisbon) τοποθετείται στις όχθες του ποταμού Ταγού και κοντά στην έξοδο για τον Ατλαντικό Ωκεανό. Εκεί γίνονται και οι περισσότερες εισαγωγές και εξαγωγές της χώρας καθώς και οι κύριες τουριστικές δραστηριότητες. Εκτός από την σημαντική εμπορική ταυτότητα που έχει το λιμάνι, πρόκειται και για ένα ελκυστικό τουριστικό προορισμό καθώς συγκεντρώνονται αρκετά σκάφη αναψυχής και γιοτ.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Σημειακός σταθμός PurpleAir

Το λιμάνι της Λισαβόνας απέχει περίπου 6 km από τον πλησιέστερο PurpleAir αισθητήρα. Ο σταθμός βρίσκεται στη συνοικία Graça, μια τυπική προαστιακή γειτονιά με κατοικίες και τοπικά καταστήματα. Το 2015 ο πληθυσμός ήταν 2.357 κάτοικοι.

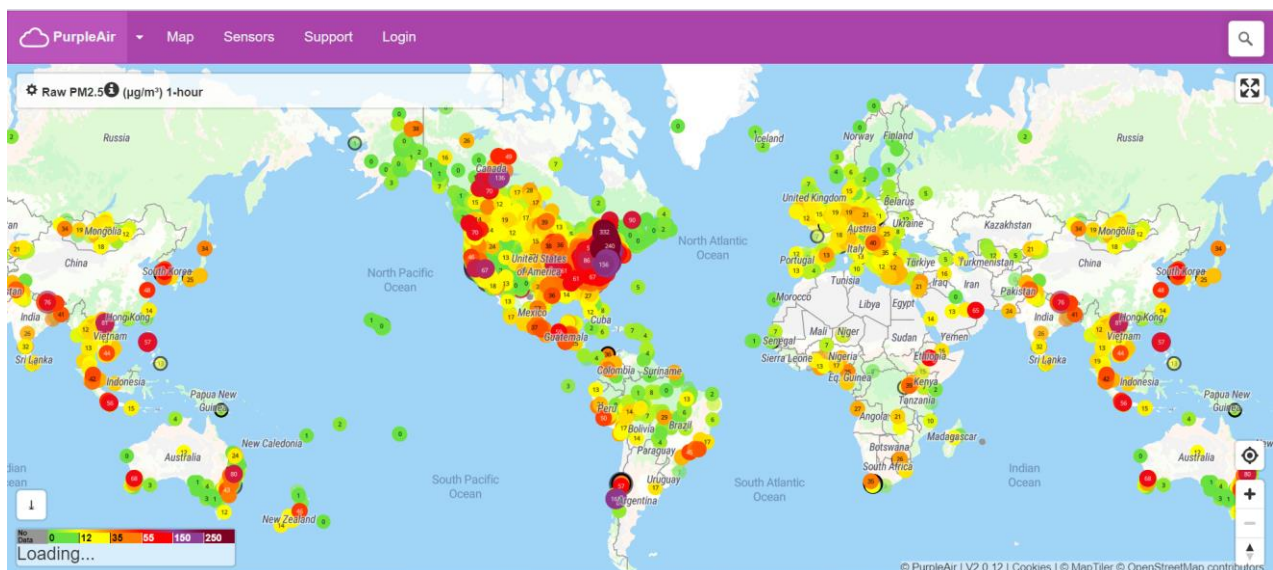


Εικόνα 2.3.3 Απεικόνιση της περιοχής έρευνας της Λισαβόνας (Πηγή: Google Earth Pro)

Κεφάλαιο 3^ο : Μεθοδολογία Έρευνας

3.1. Το δίκτυο «Purple Air»

Για τις ανάγκες της συλλογής - ανάπτυξης και ανάλυσης των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρονική δυναμική πλατφόρμα του PurpleAir που δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να παρακολουθούν τη διακύμανση της κατάστασης ποιότητας της ατμόσφαιρας σε όλα τα μέρη του κόσμου σε πραγματικό χρόνο (www.purpleair.com). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός παγκόσμιου διαδραστικού χάρτη ο οποίος εμπεριέχει σημειακούς σταθμούς μέτρησης εσωτερικού και εξωτερικού χώρου που καταγράφουν συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και δείκτες ποιότητας της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 3.1.1 Ο παγκόσμιος διαδραστικός χάρτης του Purple Air (Πηγή: <https://map.purpleair.com/1/mPM25/a60/p3600/cC0#1/22/-63.9>, προσπελασιμότητα 7 Ιουνίου 2023)

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

3.2. Όργανα μέτρησης

Για της ανάγκες της έρευνας τα δεδομένα συλλέχθηκαν από αισθητήρες χαμηλού κόστους που εντάσσονται στο δίκτυο PurpleAir μέσω της ιστοσελίδας www.purpleair.com. Τα όργανα αυτά διαθέτουν ένα ηλεκτρονικό σύστημα δύο καναλιών καταγραφής δεδομένων και έχουν την δυνατότητα να δουλεύουν είτε διασυνδεδεμένα σε δίκτυο, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη της real-time απεικόνισης και συλλογής δεδομένων, είτε εκτός σύνδεσης, καθώς αξίζει να σημειωθεί ότι τα όργανα δύναται να φέρουν εσωτερική μνήμη αποθήκευσης δεδομένων για τις περιπτώσεις που δεν καθίσταται δυνατή η σύνδεση σε δίκτυο. Η διαδικασία της συντήρησής των αισθητήρων «PurpleAir» γίνεται εύκολα, είτε καθαρίζοντας τα κανάλια καταγραφής είτε, σε περίπτωση βλάβης, αντικαθιστώντας το ηλεκτρονικό σύστημα των δύο καναλιών, που έχει μικρό κόστος ('What Do Purpleair Sensors Measure, and How Do They Work?', 2022).



Εικόνα 3.2.1 Η συσκευή PurpleAir-II-SD (Πηγή: <https://www2.purpleair.com/products/purpleair-pa-ii?variant=40067691741281>, προσπελασιμότητα 7 Ιουνίου 2023)

3.3. Συλλογή δεδομένων

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας συλλέχθηκαν δεδομένα ποιότητας ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω του δικτύου «PurpleAir» (προσπελασιμότητα: Οκτώβριος 2022), για έτη αναφοράς από το 2019 έως το 2022, σε ωριαίο βήμα, για συγκεντρώσεις $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ και $PM_{10.0}$. Οι μετρήσεις αφορούσαν την καταγραφή PM σε τρεις επιλεγμένες πόλεις λιμάνια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Αμβούργο, Άρχους και Λισαβόνα) με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, όπως αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

Η καταγραφή των δεδομένων από τα όργανα αφορά στοιχεία όπως:

- η συγκέντρωση $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ και $PM_{10.0}$
- η θερμοκρασία
- η υγρασία
- η πίεση
- η ημερομηνία
- η ώρα σε 24ώρη μορφή

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

3.4. Επεξεργασία δεδομένων

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Office Excel και ακολουθήθηκαν τα εξής στάδια:

1. Το πρώτο στάδιο αφορούσε την μετατροπή των αρχικών αρχείων καταγραφής δεδομένων του οργάνου της μορφής «.csv» σε επεξεργάσιμο αρχείο «.xlsx».

created_at	PM10.0_CF1_ug/m3	PM2.5_CF1_ug/m3	PM10.0_CF1_ug/m3	UptimeMinutes	RSSI_dbm	Temperature_F	Humidity_%	PM2.5_ATM_ug/m3
2019-11-18	2.94	5.67	6.06	11.5	-47	75.27	21.82	5.63
2019-11-18	74.96	110.88	115.38	28.13	-47.4	76.5	20.5	73.71
2019-11-18	37.68	51.07	52.55	88	-49.3	79.07	21	39.92
2019-11-18	6.41	8.85	9.11	148	-49.1	79.83	21	8.85
2019-11-18	1.13	1.86	1.96	208	-50.2	80.87	21	1.86
2019-11-18	0.06	0.34	0.38	268	-50.4	81.8	21	0.34
2019-11-18	0.7	1.39	1.57	328	-45.8	76.57	20.37	1.39
2019-11-18	0.66	1.37	1.5	388	-46.4	75.4	21.2	1.37
2019-11-18	0.55	1.15	1.26	448	-46.6	75	22	1.15
2019-11-18	0.36	0.9	1.01	508	-46.6	74.23	22.6	0.9
2019-11-18	0.24	0.74	0.85	568	-45.4	73.47	23	0.74
2019-11-18	0.16	0.61	0.68	628	-46.4	73	23.9	0.61
2019-11-18	0.13	0.52	0.55	688	-45.9	72.17	24	0.52
2019-11-18	0.11	0.51	0.55	748	-46.1	72	24	0.51
2019-11-18	0.1	0.48	0.55	808	-47.2	71.6	24.4	0.48
2019-11-18	0.15	0.53	0.59	868	-46.5	70.97	25	0.53
2019-11-18	0.13	0.55	0.61	928	-46.5	71.5	24.53	0.55
2019-11-18	0.22	0.66	0.75	988	-46.6	72.77	24	0.66
2019-11-18	0.52	1	1.1	1048	-46.8	74	23.13	1

Εικόνα 3.4.1 Στιγμιότυπο οθόνης από την αρχική μορφή του αρχείου δεδομένων ".csv"

2. Στο δεύτερο στάδιο δημιουργήθηκαν αρχεία της μορφής «.xlsx» περιλαμβάνοντας τις καταγραφές ωριαίων τιμών αιωρούμενων σωματιδίων σύστασης PM_{1.0}, PM_{2.5} και PM_{10.0} για την χρονοσειρά 2019 με 2022.

Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα	PM10.0 CF1 ug/m3	PM10.0 CF1 ug/m3	PM2.5 CF1 ug/m3	PM2.5 ATM ug/m3
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	00:00:00	2.94	5.67	6.06	5.63
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	01:00:00	74.96	110.88	115.38	73.71
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	02:00:00	37.68	51.07	52.55	39.92
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	03:00:00	6.41	8.85	9.11	8.85
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	04:00:00	1.13	1.86	1.96	1.86
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	05:00:00	0.06	0.34	0.38	0.34
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	06:00:00	0.7	1.39	1.57	1.39
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	07:00:00	0.66	1.37	1.5	1.37
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	08:00:00	0.55	1.15	1.26	1.15
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	09:00:00	0.36	0.9	1.01	0.9
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	10:00:00	0.24	0.74	0.85	0.74
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	11:00:00	0.16	0.61	0.68	0.61
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	12:00:00	0.13	0.52	0.55	0.52
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	13:00:00	0.11	0.51	0.55	0.51
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	14:00:00	0.1	0.48	0.55	0.48
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	15:00:00	0.15	0.53	0.59	0.53
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	16:00:00	0.13	0.55	0.61	0.55
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	17:00:00	0.22	0.66	0.75	0.66
2019-11-18	Δευτέρα	Νοέμβριος	18:00:00	0.52	1	1.1	1

Εικόνα 3.4.2 Στιγμιότυπο οθόνης από την επεξεργάσιμη μορφή του αρχείου δεδομένων ".xlsx"

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

3. Στο τρίτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων, η οποία περιλάμβανε υπολογισμούς μέσης ωριαίας, ημερήσιας, μηνιαίας, ετήσιας καταγραφής και πλήθους υπερβάσεων PM_{1.0}, PM_{2.5} και PM_{10.0} για όλους τους σταθμούς αναφοράς, για την χρονοσειρά 2019 – 2022 ως εξής:

- **Προσδιορισμός της συνολικής διακύμανσης για την χρονοσειρά 2019 – 2022**

Υπολογισμός του μέσου όρου των συγκεντρώσεων PM_{1.0}, PM_{2.5} και PM_{10.0} από τα δύο κανάλια καταγραφής του οργάνου και αποτύπωση της συνολικής διακύμανσης συγκεντρώσεων PM_{1.0}, PM_{2.5} και PM_{10.0} για όλη την χρονοσειρά αναφοράς σε όλους τους σταθμούς.

Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα (UTC)	PM _{1.0} _CF1_ug/m3	PM _{10.0} _CF1_ug/m3	PM _{2.5} _ug/m3 (Average των δύο καναλιών CF1 & ATM)
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	0:00:00	1.04	2.63	2.22
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	1:00:00	0.63	2.04	1.66
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	2:00:00	0.43	2.01	1.53
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	3:00:00	0.06	1.37	0.97
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	4:00:00	0.09	1.00	0.76
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	5:00:00	0.12	1.35	0.99
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	6:00:00	0.78	2.36	1.84
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	7:00:00	1.92	3.41	2.95
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	8:00:00	1.49	3.07	2.61
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	9:00:00	1.69	3.63	3.06
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	10:00:00	0.92	1.93	1.67
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	11:00:00	0.86	1.78	1.56
18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	12:00:00	2.88	4.28	3.94

Εικόνα 3.4.3 Στιγμιότυπο οθόνης από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συνολικής διακύμανσης των ρύπων για όλη την χρονοσειρά.

- **Προσδιορισμός της μέσης μηνιαίας τιμής**

Σε βήμα μηνιαίας ανάλυσης υπολογίστηκε η μέση τιμή των συγκεντρώσεων PM (1.0, 2.5, 10.0) συνολικά για όλη την χρονοσειρά αναφοράς, σε όλες τις επιλεγμένες πόλεις-λιμάνια.

Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα (UTC)	PM _{1.0} _CF1_ug/m3	PM _{10.0} _CF1_ug/m3	PM _{2.5} _ug/m3 (Average των δύο καναλιών CF1 & ATM)	
2493	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	0:00:00	2.21	6.05	4.96
2494	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	1:00:00	2.76	6.15	5.07
2495	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	2:00:00	0.96	4.16	3.08
2496	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	3:00:00	0.89	3.94	2.95
2497	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	4:00:00	1.14	4.10	3.13
2498	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	5:00:00	0.84	3.42	2.61
2499	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	6:00:00	0.67	2.87	2.22
2500	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	7:00:00	0.72	2.93	2.26
2501	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	8:00:00	0.88	2.98	2.39
2502	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	9:00:00	1.04	3.55	2.78
2503	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	10:00:00	2.45	5.29	4.50
2504	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	11:00:00	8.69	12.77	11.30
2505	1/3/2020	Κυριακή	Μάρτιος	12:00:00	5.72	10.25	9.11

Εικόνα 3.4.4 Στιγμιότυπο οθόνης από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της μέσης μηνιαίας τιμής των ρύπων. Ενδεικτικά φαίνεται στιγμιότυπο με φίλτρο στην στήλη "Μήνας" για να φαίνεται μόνο ο μήνας Μάρτιος όλης της χρονοσειράς.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

- **Προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας τιμής**

Για την ημερήσια διακύμανση, με την χρήση κατάλληλων φίλτρων, υπολογίστηκε η μέση τιμή των συγκεντρώσεων PM για όλους τους σταθμούς.

	Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα (UTC)	PM _{1.0} _CF1_ug/m3	PM _{10.0} _CF1_ug/m3	PM _{2.5} _ug/m3 (Average των δύο καναλιών CF1 & ATM)
1							
26	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	0:00:00	3.52	5.70	5.17
27	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	1:00:00	23.98	28.65	27.04
28	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	2:00:00	20.45	27.25	25.66
29	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	3:00:00	20.58	24.83	23.46
30	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	4:00:00	22.29	25.63	24.00
31	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	5:00:00	15.15	17.64	16.96
32	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	6:00:00	8.64	12.14	11.50
33	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	7:00:00	11.93	19.33	16.99
34	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	8:00:00	6.92	10.71	9.93
35	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	9:00:00	3.98	6.97	6.28
36	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	10:00:00	3.00	5.67	4.96
37	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	11:00:00	6.23	10.58	9.69
38	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	12:00:00	10.47	16.78	15.55

Εικόνα 3.4.5 Στιγμιότυπο οθόνης από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της μέσης μηνιαίας τιμής των ρύπων. Ενδεικτικά φαίνεται στιγμιότυπο με φίλτρο στην στήλη "Ημέρα" για να φαίνεται μόνο η ημέρα Τρίτη όλης της χρονοσειράς.

- **Προσδιορισμός της μέσης ωριαίας τιμής**

Σε επίπεδο 24ώρης διακύμανσης, υπολογίστηκε με την χρήση φίλτρου, η μέση ωριαία τιμή των συγκεντρώσεων PM για όλους τους σταθμούς.

	Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα (UTC)	PM _{1.0} _CF1_ug/m3	PM _{10.0} _CF1_ug/m3	PM _{2.5} _ug/m3 (Average των δύο καναλιών CF1 & ATM)
1							
3	18/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	1:00:00	0.63	2.04	1.66
27	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	1:00:00	23.98	28.65	27.04
51	20/11/2019	Τετάρτη	Νοέμβριος	1:00:00			
75	21/11/2019	Πέμπτη	Νοέμβριος	1:00:00	8.15	16.33	14.22
99	22/11/2019	Παρασκευή	Νοέμβριος	1:00:00	0.80	1.96	1.65
123	23/11/2019	Σάββατο	Νοέμβριος	1:00:00	0.33	2.20	1.64
147	24/11/2019	Κυριακή	Νοέμβριος	1:00:00	9.09	15.54	14.20
171	25/11/2019	Δευτέρα	Νοέμβριος	1:00:00	5.08	7.29	6.91
195	26/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	1:00:00	1.37	3.11	2.71
219	27/11/2019	Τετάρτη	Νοέμβριος	1:00:00	3.08	7.58	6.25
243	28/11/2019	Πέμπτη	Νοέμβριος	1:00:00	4.70	9.42	8.28
267	29/11/2019	Παρασκευή	Νοέμβριος	1:00:00	1.07	2.58	2.19
291	30/11/2019	Σάββατο	Νοέμβριος	1:00:00	2.94	5.27	4.73

Εικόνα 3.4.6 Στιγμιότυπο οθόνης από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της μέσης ωριαίας τιμής των ρύπων. Ενδεικτικά φαίνεται στιγμιότυπο με φίλτρο στην στήλη "Ωρα" για να φαίνεται μόνο η ώρα 01:00 όλης της χρονοσειράς.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

- **Προσδιορισμός του αριθμού των υπερβάσεων**

Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκαν οι μηνιαίοι αριθμοί υπερβάσεων για όλη την χρονοσειρά ανά σταθμό και συγκέντρωση PM_{1.0}, PM_{2.5} και PM_{10.0}. Οι οριακές τιμές συγκέντρωσης του εκάστοτε ρύπου λήφθηκαν από την βιβλιογραφία και έχουν ως εξής:

Οριακή τιμή PM_{1.0} → 25 µg/m³

Οριακή τιμή PM_{2.5} → 25 µg/m³

Οριακή τιμή PM_{10.0} → 50 µg/m³

	Χρόνος	Ημέρα	Μήνας	Ωρα (UTC)	PM _{2.5} _ug/m ³ (Average των δύο καναλιών CF1 & ATM)
1					
27	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	1:00:00	27.04
28	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	2:00:00	25.66
40	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	14:00:00	36.89
46	19/11/2019	Τρίτη	Νοέμβριος	20:00:00	25.68
72	20/11/2019	Τετάρτη	Νοέμβριος	22:00:00	25.01
73	20/11/2019	Τετάρτη	Νοέμβριος	23:00:00	31.91
74	21/11/2019	Πέμπτη	Νοέμβριος	0:00:00	27.09
94	21/11/2019	Πέμπτη	Νοέμβριος	20:00:00	26.62
382	3/12/2019	Τρίτη	Δεκέμβριος	20:00:00	27.97
395	4/12/2019	Τετάρτη	Δεκέμβριος	9:00:00	32.64
396	4/12/2019	Τετάρτη	Δεκέμβριος	10:00:00	33.53
397	4/12/2019	Τετάρτη	Δεκέμβριος	11:00:00	27.46
404	4/12/2019	Τετάρτη	Δεκέμβριος	18:00:00	31.37
405	4/12/2019	Τετάρτη	Δεκέμβριος	19:00:00	25.45

Εικόνα 3.4.7 Στιγμιότυπο οθόνης από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των μηνιαίων αριθμών υπερβάσεων για όλη την χρονοσειρά. Ενδεικτικά φαίνεται στιγμιότυπο με φίλτρο στην στήλη "PM_{2.5}_ug_m3" για να φαίνονται μόνο οι περιπτώσεις όπου η μέση συγκέντρωση PM_{2.5} ξεπερνάει τα 25 µg/m³.

4. Στο τελευταίο στάδιο υπολογίστηκε, με βάση τις ηλικιακές κατηγορίες ενεργού πληθυσμού, η εξατομικευμένη δόση πρόσληψης PM_{2.5} (Intake Dose – ID) ως εξής:

- **Υπολογισμός ID**

Παρόλο που η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια όλων των τάξεων αεροδυναμικής διαμέτρου μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην υγεία του ανθρώπου, όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 1](#), επιλέχθηκε να υπολογιστεί η εξατομικευμένη εισπνεόμενη δόση μόνο για τον ρύπο PM_{2.5}. Η επιλογή αυτή έγινε συνειδητά, καθώς έχει αποδειχθεί ότι ο ρύπος PM_{2.5} εισχωρεί βαθύτερα στον ανθρώπινο οργανισμό, ιδιαίτερα σε σχέση με τον ρύπο PM_{10.0}, συγκεκριμένα στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα, οπότε και η εισπνοή ποσότητας PM_{2.5} αποτελεί σημαντική απειλή για την υγεία. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν από στην Διπλωματική εργασία είναι χαμηλού κόστους αισθητήρες PurpleAir. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι απόλυτα αξιόπιστοι στην μέτρηση του ρύπου PM_{1.0}.

Για τον υπολογισμό του ID χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες 24ώρες συγκεντρώσεις PM_{2.5} για τις ενεργές ηλικιακές ομάδες αντρών και γυναικών και τον ρυθμό αερισμού-αναπνοών

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

χρησιμοποιώντας την εξίσωση $ID = \dot{V}_E \cdot PM$ (Novak *et al.*, 2020). Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η δόση πρόσληψης ανά δωρο πολλαπλασιάζοντας με 8 την τιμή του ID που βρήκαμε προηγουμένως.

Τα ηλικιακά γκρουπ που μελετήθηκαν είναι κοινά για άντρες και για γυναίκες και είναι τα εξής:

- από 21 έως 31 ετών
- από 31 έως 41 ετών
- από 41 έως 51 ετών
- από 51 έως 61 ετών

Ο ρυθμός αερισμού αναπνοών δίνεται από την βιβλιογραφία, και συγκεκριμένα προτείνεται από την US Environmental Protection Agency (US EPA) ('Exposure Factors Handbook - Chapter 6: Inhalation Rates', 2011). Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι τιμές για τα ηλικιακά γκρουπ που θα μελετήσουμε. Για τις ανάγκες της μελέτης ο ρυθμός αερισμού-αναπνοών μετατράπηκε σε $m^3/\acute{o}ρα$.

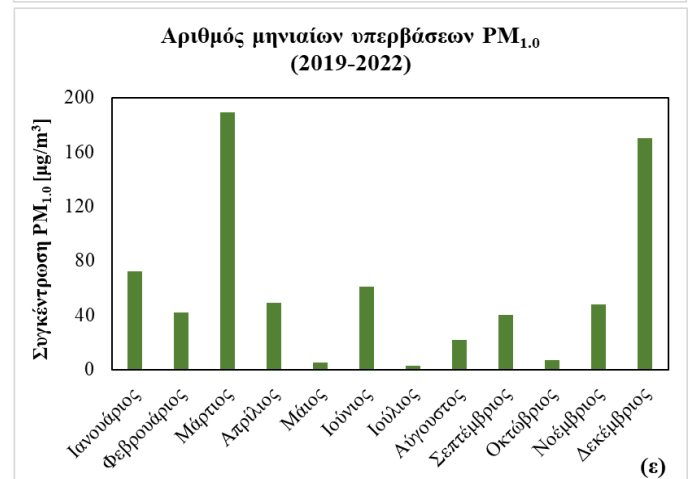
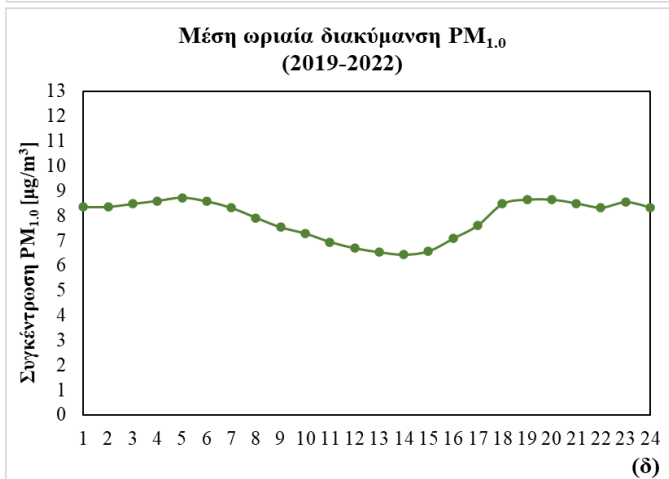
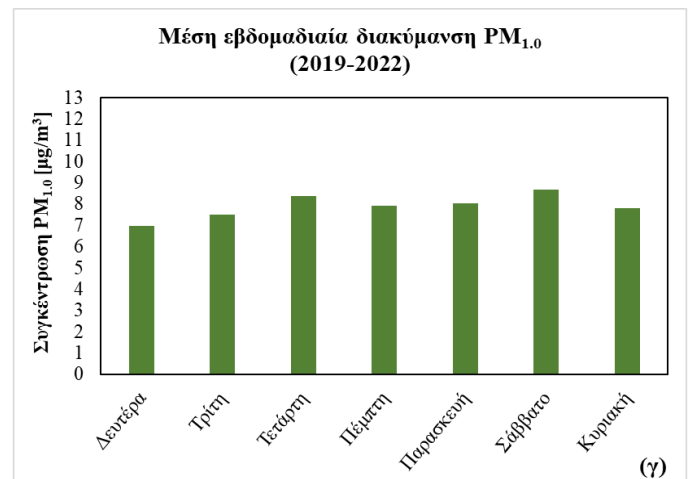
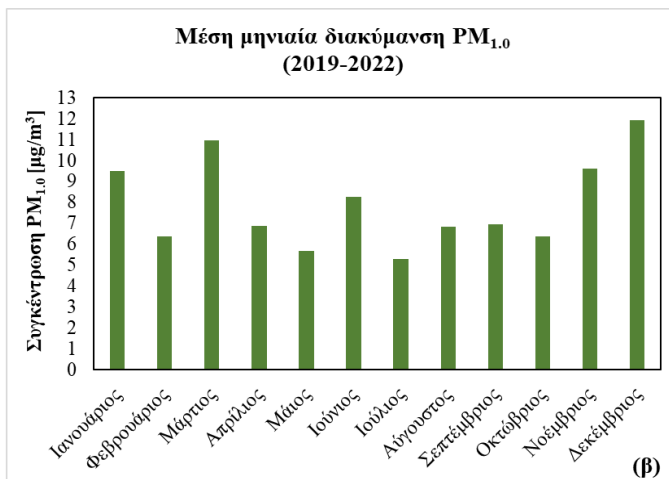
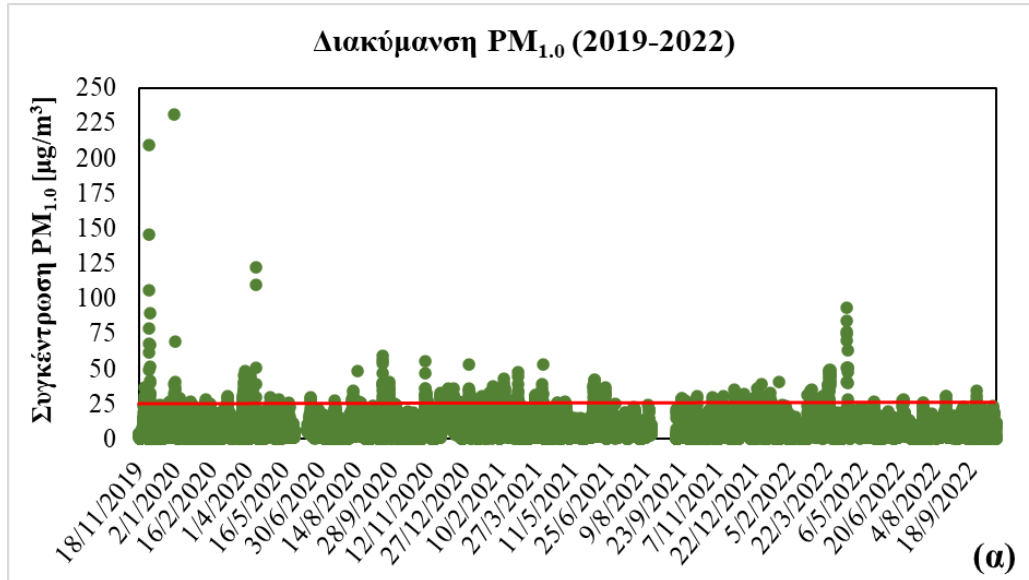
Πίνακας 3.4.1 Τιμές ρυθμού αερισμού-αναπνοών αντρών και γυναικών για τέσσερα διαφορετικά ηλικιακά γκρουπ (Πηγή: US Environmental Protection Agency – Exposure Handbook)

Φύλο	Ηλικιακή Ομάδα (χρόνια)	Ρυθμός αερισμού-αναπνοών ($m^3/\eta\mu\acute{\epsilon}ρα$)
Άνδρας	21 έως <31	18.82
	31 έως <41	20.29
	41 έως <51	20.94
	51 έως <61	20.91
Γυναίκα	21 έως <31	14.57
	31 έως <41	14.98
	41 έως <51	16.20
	51 έως <61	16.19

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Κεφάλαιο 4^ο : Αποτελέσματα και Συζήτηση

4.1. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM_{1.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.1.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{1.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Αμβούργο.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Στο διάγραμμα 4.1.1.(α) αποτυπώνεται η συνολική διακύμανση του ρύπου $PM_{1.0}$ για την χρονοσειρά 2019-2022, όπου παρατηρούνται ήπιες μεταβολές της διακύμανσης, εκτός από κάποιες υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του ρύπου που εντοπίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες και την άνοιξη. Σημειώνεται ότι, ο σταθμός καταγραφής δεν βρίσκεται ακριβώς μέσα στον χώρο του λιμανιού αλλά σε μία περιοχή έξω από το λιμάνι.

Μελετώντας τον ρύπο σε μέση μηνιαία διακύμανση για όλη την χρονοσειρά αναφοράς (Διάγραμμα 4.1.1.(β)), βλέπουμε ότι ο ρύπος εμφανίζει υψηλότερες τάσεις κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος) και την περίοδο της άνοιξης (Μάρτιος – Ιούνιος). Σημειώνεται ότι, τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικές πόλεις και σε αυτό συμβάλλουν λόγοι όπως, η ζήτηση σε θέρμανση και οι καιρικές-κλιματικές συνθήκες. Αντίστοιχα και την περίοδο της άνοιξης οι κλιματικές συνθήκες συμβάλλουν στην πιο έντονη διακύμανση του ρύπου, στοιχείο που δείχνει και την εποχικότητά του.

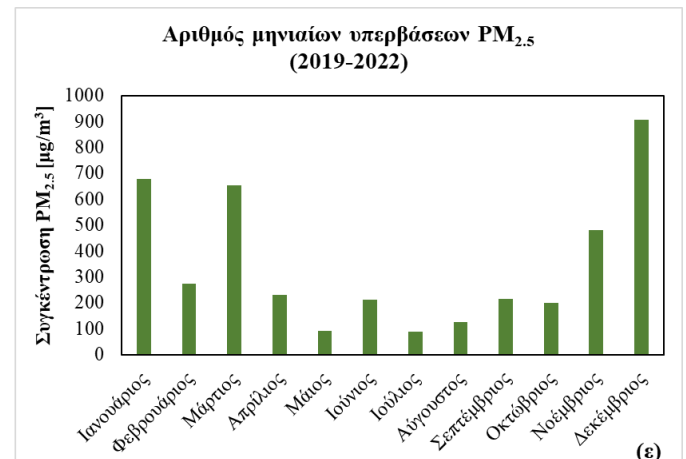
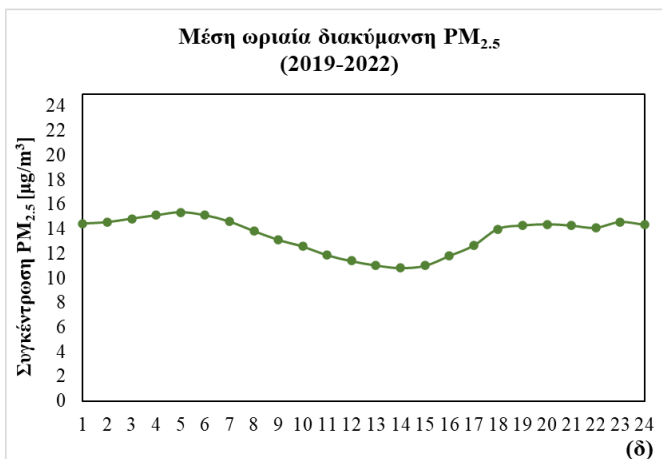
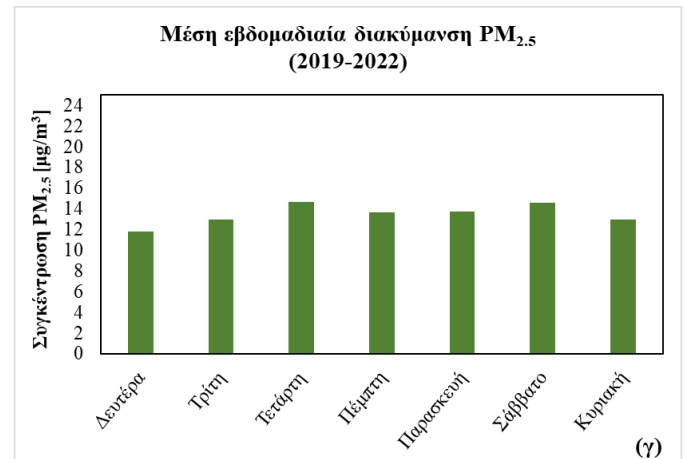
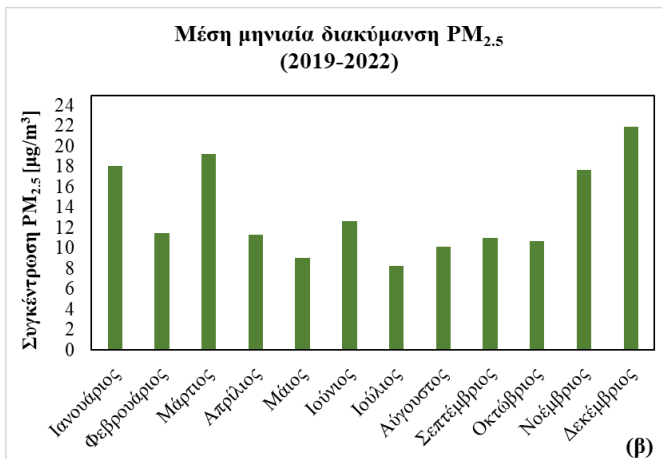
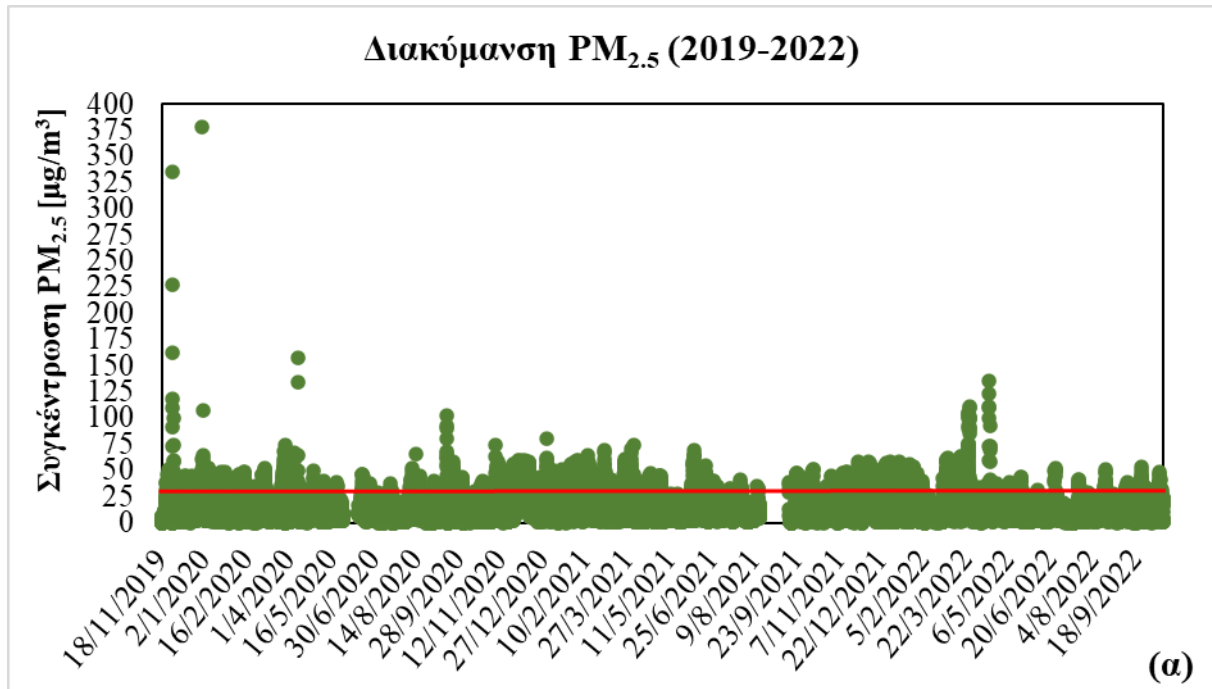
Στην ανάλυση της μέσης εβδομαδιαίας διακύμανσης, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.1.1.(γ), δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην συγκέντρωση του ρύπου ανάλογα με την ημέρα. Οι τιμές κυμαίνονται σε σχετικά παρόμοια επίπεδα. (~7,50 με 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), με μία μικρή αύξηση να εντοπίζεται την Τετάρτη (8,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και το Σάββατο (8,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Καθώς σε ένα λιμάνι υπάρχει συνεχώς κινητικότητα, είτε χαμηλής είτε υψηλής έντασης, είναι φυσιολογικό να μην υπάρχουν αποκλίσεις.

Στο διάγραμμα τυπικής 24ώρης διακύμανσης (Διάγραμμα 4.1.1.(δ)) παρατηρούμε πως η συγκέντρωση του ρύπου παρουσιάζει μία αυξητική τάση τις πρώτες πρωινές ώρες, δηλαδή γύρω στις 5 με 7 π.μ. Την υπόλοιπη ημέρα, η μέση συγκέντρωση του ρύπου μειώνεται, έως ότου φτάσει το απόγευμα, και ειδικότερα την περίοδο στις 6 με 9 μ.μ. (~8,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) όπου παρατηρούμε αύξηση της μέσης συγκέντρωσης.

Όσον αφορά τον συνολικό αριθμό υπερβάσεων του ορίου για την συγκέντρωση $PM_{1.0}$ στην ατμόσφαιρα (Διάγραμμα 4.1.1.(ε)), οι μήνες που παρουσιάζεται έντονο πρόβλημα, είναι ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος με 170 και 189 υπερβάσεις αντίστοιχα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.2. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM_{2.5} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.2.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{2.5} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Αμβούργο.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Η συνολική διακύμανση του ρύπου $PM_{2.5}$ για την χρονοσειρά 2019-2022 αποτυπώνεται στο διάγραμμα 4.2.1.(α). Τον χειμώνα και την άνοιξη παρατηρούμε αυξητική τάση στις τιμές της συγκέντρωσης. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου, υψηλότερης έντασης από αυτές που παρατηρήσαμε στο αντίστοιχο διάγραμμα για τον ρύπο $PM_{1.0}$.

Στο Διάγραμμα 4.2.1.(β), όπου απεικονίζεται η μηνιαία διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$, παρατηρούμε ότι οι μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος και Μάρτιος είναι που παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις, γεγονός που συμβαδίζει με τα ευρήματα για τον ρύπο $PM_{1.0}$ συνεπώς ενισχύει και το συμπέρασμα για την εποχικότητα του ρύπου κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες.

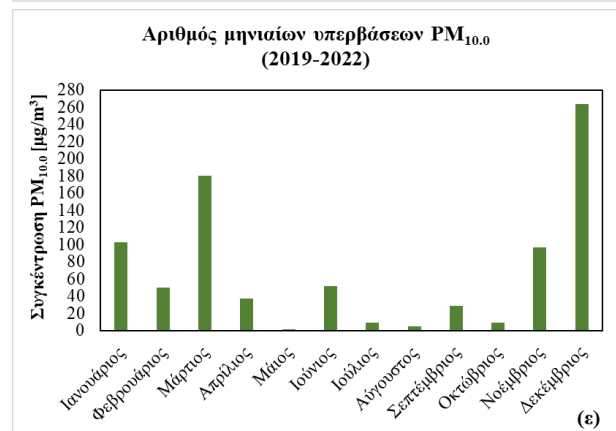
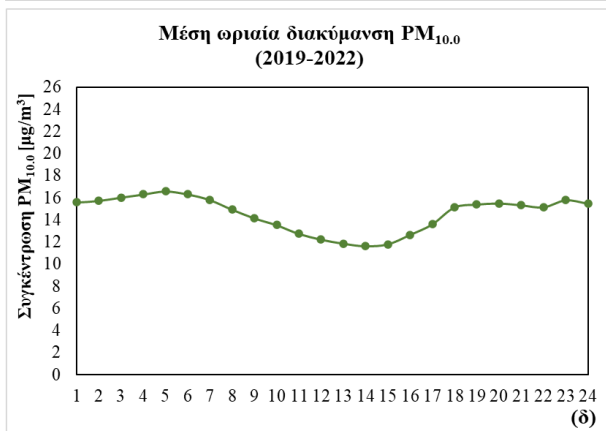
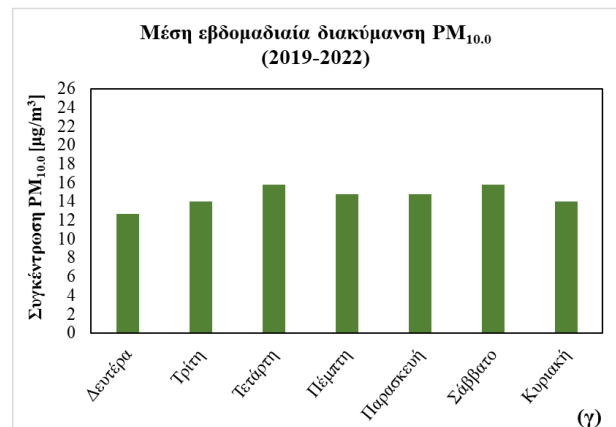
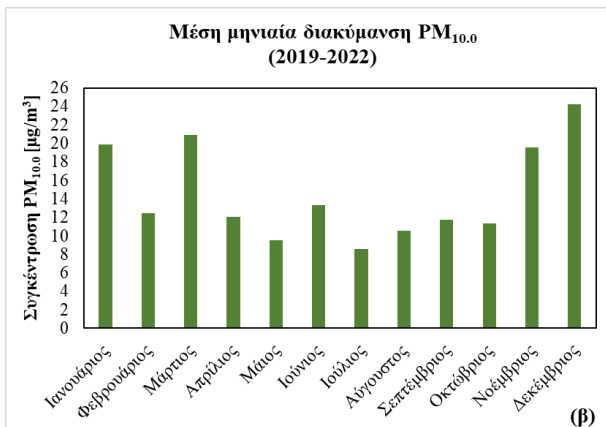
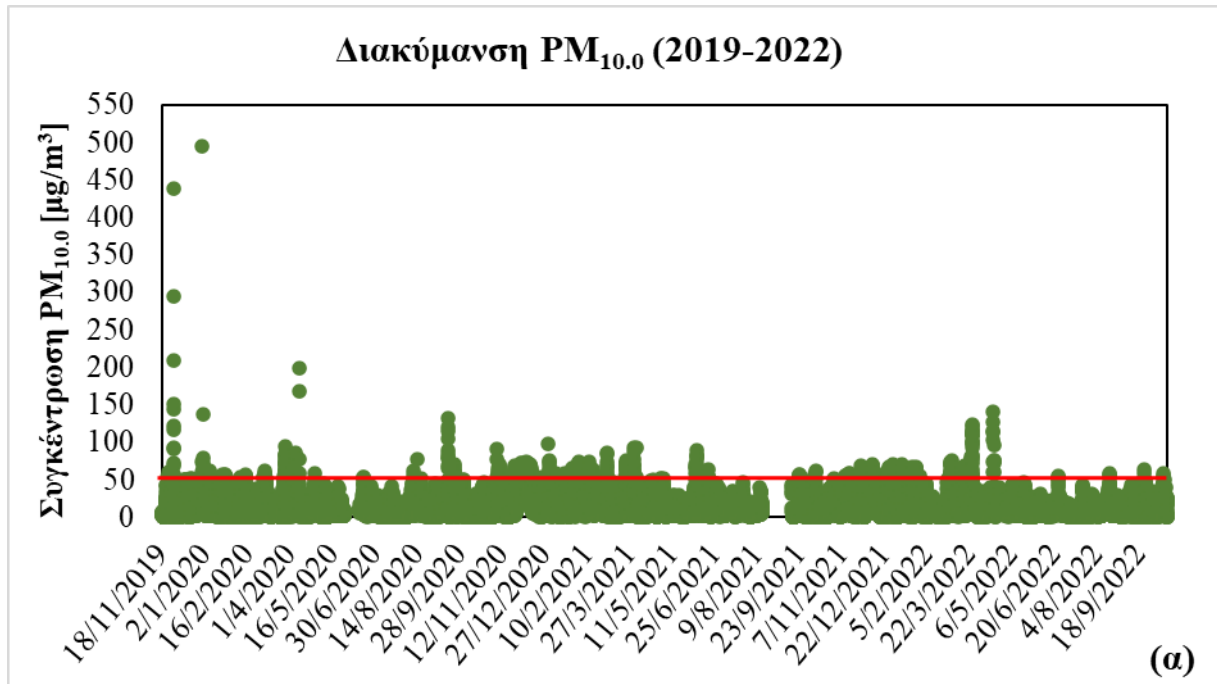
Παρατηρώντας το Διάγραμμα 4.2.1.(γ), δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην συγκέντρωση του ρύπου ανάλογα με την ημέρα. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα (~12 με 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), με μία μικρή αύξηση να εντοπίζεται την Τετάρτη (14,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και το Σάββατο (14,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ένα λιμάνι λειτουργεί σε καθημερινή βάση οπότε είναι λογικό να μην παρατηρούνται ιδιαίτερες αποκλίσεις.

Σε ωριαία διακύμανση, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.2.1.(δ), η συγκέντρωση $PM_{2.5}$ εμφανίζει το πρώτο peak τα ξημερώματα και τις πρώτες πρωινές ώρες, δηλαδή την περίοδο 5 με 7 π.μ. (15,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Κατά την διάρκεια της ημέρας, η μέση συγκέντρωση του ρύπου μειώνεται μέχρι να φτάσει το απόγευμα, και ειδικότερα την περίοδο στις 6 με 9 μ.μ. (~14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) όπου παρατηρούμε αύξηση της μέσης συγκέντρωσης, και συνεπώς το δεύτερο peak.

Οι υπερβάσεις που σημειώθηκαν κατά τα έτη 2019 με 2022 φαίνονται στο Διάγραμμα 4.2.1.(ε), όπου παρατηρούμε πως οι μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος και Μάρτιος εμφανίζουν τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου, με 480, 907, 678 και 652 υπερβάσεις αντίστοιχα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.3. Αμβούργο – Μελέτη διακύμανσης PM_{10.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.3.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{10.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Αμβούργο.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3.1.(α) παρατηρούμε μία αύξηση στις τιμές της συγκέντρωσης $PM_{10.0}$, κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Επιπλέον, υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου καθ' όλη την διάρκεια των ετών που εξετάζουμε, αλλά οι υπερβάσεις αυτές είναι χαμηλής έντασης, ειδικά σε σχέση με τις αντίστοιχες για το $PM_{2.5}$.

Η μηνιαία διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{10.0}$ φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3.1.(β), όπου και παρατηρούμε ότι οι μήνες Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος και Μάρτιος παρουσιάζουν αυξητική τάση. Ομοίως με τους υπόλοιπους ρύπους, παρατηρούμε εποχικότητα κατά τους χειμερινούς μήνες και την περίοδο της άνοιξης.

Όσον αφορά την εβδομαδιαία διακύμανση του ρύπου, όπως αυτή απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.3.1.(γ), δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, εντοπίζεται μόνο μία μικρή αύξηση των τιμών την Τετάρτη ($15,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το Σάββατο ($15,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ενώ τις υπόλοιπες ημέρες η τιμή της συγκέντρωσης είναι περίπου $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στο Διάγραμμα 4.3.1.(δ), η συγκέντρωση $PM_{2.5}$ αναλύεται σε ωριαίο βήμα. Το πρώτο peak εμφανίζεται τα ξημερώματα, γύρω στις 5 π.μ. ($16,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και κατά το πέρασμα της ημέρας, η μέση συγκέντρωση του ρύπου μειώνεται μέχρι να φτάσει το απόγευμα, και ειδικότερα την περίοδο στις 6 με 9 μ.μ. ($\sim 15,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) όπου παρατηρούμε αύξηση της μέσης συγκέντρωσης, και συνεπώς το δεύτερο peak.

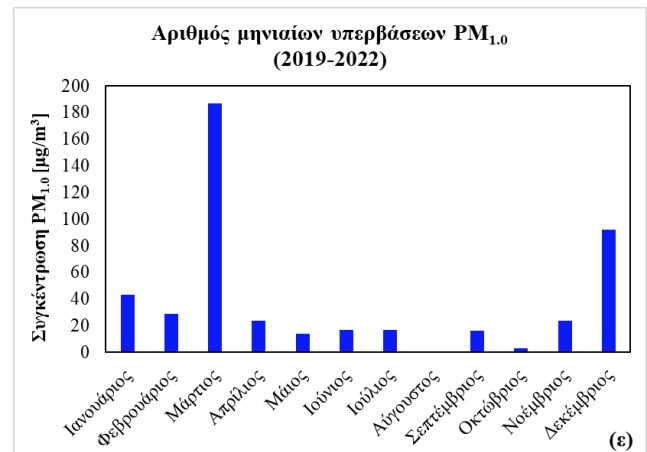
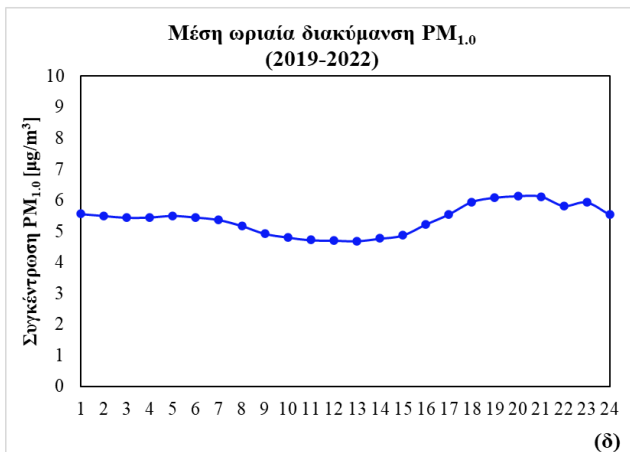
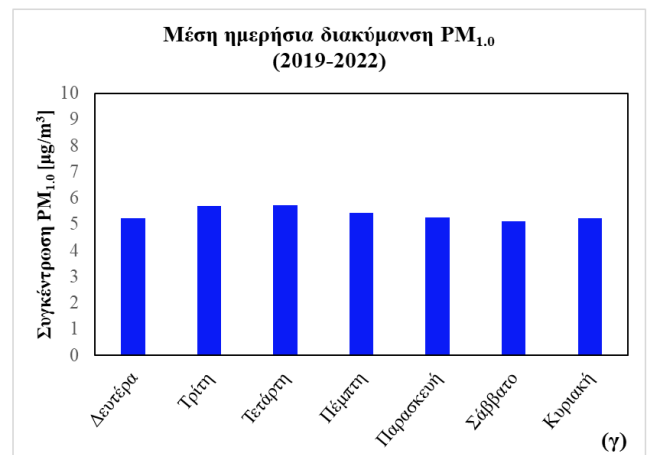
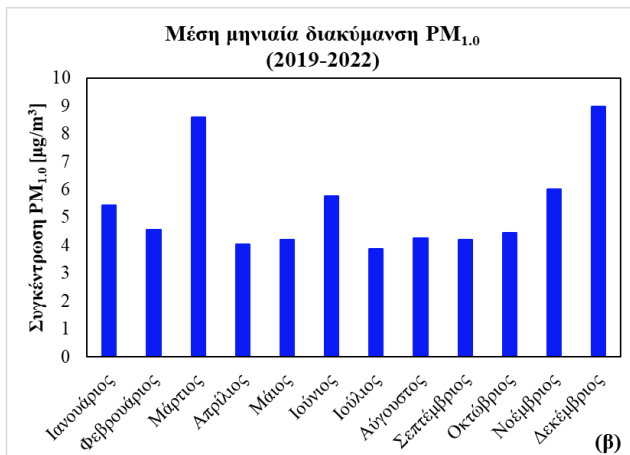
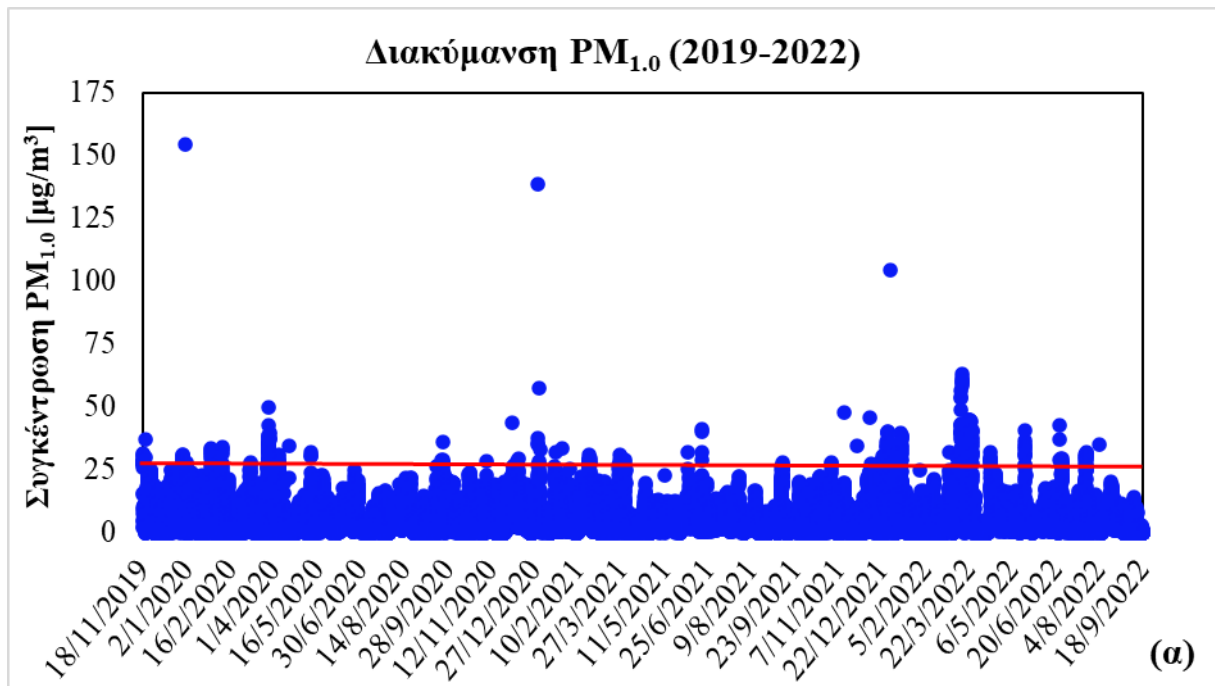
Οι υπερβάσεις που σημειώθηκαν κατά τα έτη 2019 με 2022 φαίνονται στο Διάγραμμα 4.3.1.(ε), όπου παρατηρούμε πως οι μήνες Δεκέμβριος, Ιανουάριος και Μάρτιος εμφανίζουν τις περισσότερες υπερβάσεις του ορίου, με 516, 446 και 546 υπερβάσεις αντίστοιχα.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην πόλη-λιμάνι του Αμβούργου μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα:

- Και στις τρεις περιπτώσεις σύστασής του ο ρύπος ($PM_{1.0, 2.5, 10.0}$) ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο. Οι αυξητικές τάσεις στις τιμές των συγκεντρώσεων σε όλη την διάρκεια της χρονοσειράς, παρατηρούνται έντονα κατά τους χειμερινούς μήνες (ιδιαίτερα τον Νοέμβριο, τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο) αλλά και αρχές άνοιξης (Μάρτιο) και καλοκαιριού (Ιούνιο).
- Οι αυξητικές τάσεις συμβαδίζουν και με τον αριθμό υπερβάσεων, γεγονός που συμφωνεί με την εποχικότητα του ρύπου. Κατά τους χειμερινούς μήνες, σημαντική επίδραση στην ατμόσφαιρα έχουν τόσο οι τυπικές δραστηριότητες του όσο και η χρήση καυσίμων για θέρμανση και μετακίνηση με Ι.Χ. έναντι της δημόσιας συγκοινωνίας. Την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού η αρχή της τουριστικής περιόδου ισοδυναμεί με μεγάλη κινητικότητα τόσο στο λιμάνι όσο και στην ευρύτερη περιοχή.
- Μέσα στην ημέρα παρουσιάζονται δύο peak, το πρώτο πολύ νωρίς το πρωί όταν η πλειοψηφία του πληθυσμού ξεκινάει την ημέρα του, ανάβει την θέρμανση, χρησιμοποιεί το Ι.Χ. για μετακινήσεις. Μετά το πρώτο peak η συγκέντρωση σταδιακά μειώνεται, αφού η κινητικότητα στους εξωτερικούς χώρους μειώνεται και το απόγευμα εμφανίζεται το δεύτερο peak, το οποίο κρατάει σταθερά μέχρι και τις πρώτες βραδινές ώρες όπου βλέπουμε πάλι σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης. Το δεύτερο peak μπορεί να συμβαίνει λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης που συμβαίνει τις απογευματινές ώρες, με τον πληθυσμό να γυρίζει από την δουλειά του, να ανοίγει την θέρμανση τους χειμερινούς μήνες ή να βγαίνει βόλτα όταν ο καιρός είναι καλός

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.4. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM_{1.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.4.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{1.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Άρχους.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Στο Διάγραμμα 4.4.1.(α) όπου φαίνεται η συνολική διακύμανση του ρύπου $PM_{1.0}$ δεν παρατηρούμε ιδιαίτερες μεταβολές έξαρση στις τιμές, μπορούμε όμως να διακρίνουμε μία αυξητική τάση στις συγκεντρώσεις σε μικρές χρονικές περιόδους τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, παρότι ο σταθμός παρακολούθησης βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την περιοχή έρευνας, ανάμεσα στο όργανο και το λιμάνι βρίσκεται μία μεγάλη δασική έκταση που ενδεχομένως να επηρεάζει την ατμόσφαιρα στην περιοχή και συνεπώς και τις μετρήσεις.

Σε μηνιαία βάση, η διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{1.0}$ φαίνεται στο Διάγραμμα 4.4.1.(β), όπου και παρατηρούμε ότι ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος παρουσιάζουν τις υψηλότερες μέσες τιμές συγκέντρωσης ρύπου. Μπορούμε να διακρίνουμε εποχικότητα στον ρύπο, παρόλα αυτά οι τιμές είναι αρκετά χαμηλές και οι περίοδοι όπου παρατηρούνται αυτές οι αυξητικές τάσεις αρκετά βραχυπρόθεσμες.

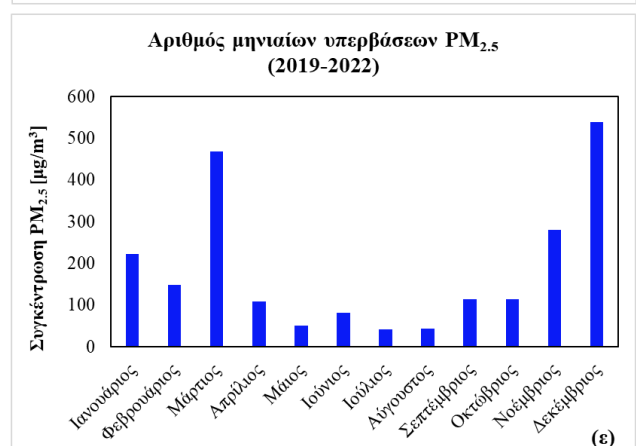
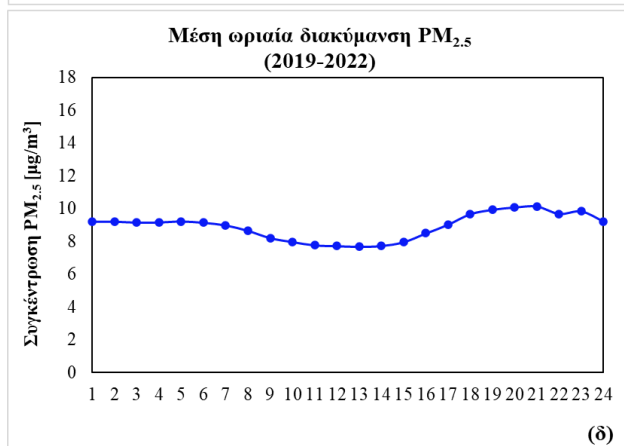
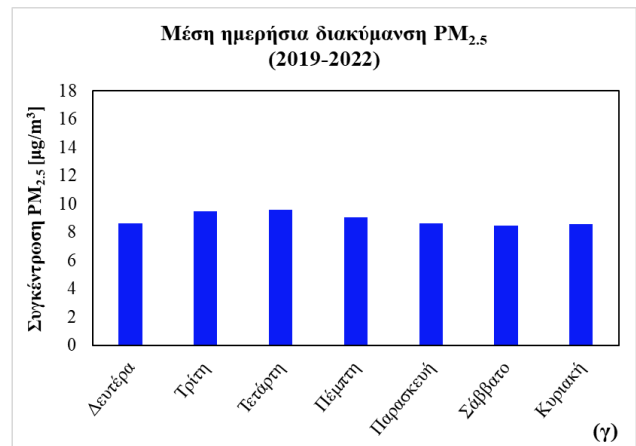
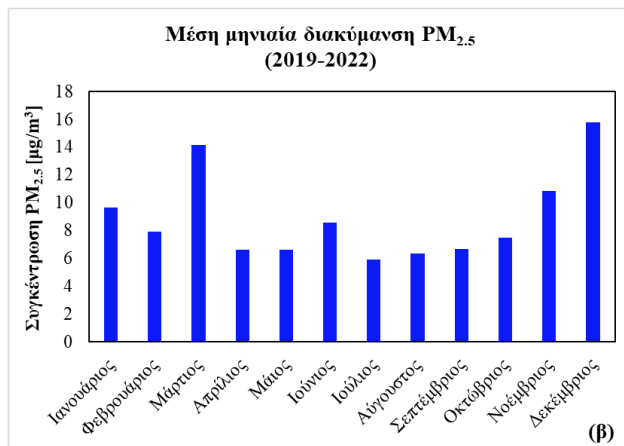
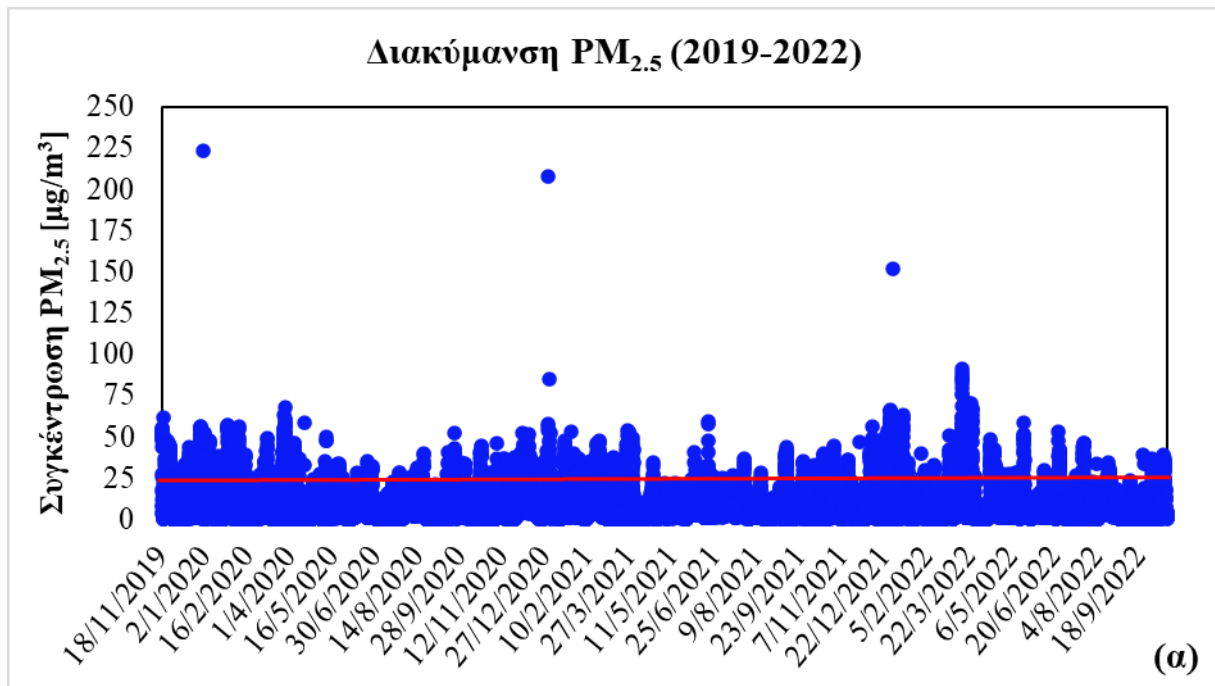
Όσον αφορά την εβδομαδιαία διακύμανση του ρύπου, όπως αυτή απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.4.1.(γ), οι αποκλίσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, εντοπίζεται μόνο μία μικρή αύξηση των τιμών την Τρίτη ($5,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και την Τετάρτη ($5,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όλες τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρούμε την χαμηλές τιμές μέσης συγκέντρωσης (\sim με $5,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το λιμάνι είναι μία περιοχή με αρκετή κινητικότητα και βασικό μέρος της πόλης του Άρχους, οπότε είναι λογικό να σημειώνονται παρόμοιες τιμές μέσης συγκέντρωσης όλες τις ημέρες της εβδομάδας.

Στο Διάγραμμα 4.4.1.(δ) γίνεται ανάλυση της συγκέντρωσης $PM_{1.0}$ στο τυπικό 24ώρο. Το πρώτο peak εμφανίζεται πολύ νωρίς τα ξημερώματα, στη 1 μ.μ. ($5,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ύστερα από σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης και μία μικρή αύξηση της τις πρώτες πρωινές ώρες, συναντάμε το δεύτερο peak αργά το απόγευμα, στις 8 μ.μ. με μέση συγκέντρωση για την χρονοσειρά $6,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διακύμανση σε ωριαία βάση είναι σχετικά ομαλή, χωρίς να παρουσιάζεται κάποιο ιδιαίτερο peak των τιμών τις πρωινές ώρες, όπως άλλωστε συνηθίζεται.

Οι υπερβάσεις που σημειώθηκαν κατά τα έτη 2019 με 2022 φαίνονται στο Διάγραμμα 4.4.1.(ε). Οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώθηκαν τον Μάρτιο (187 υπερβάσεις). Ακολουθεί ο Δεκέμβριος με 92 υπερβάσεις, και οι υπόλοιποι μήνες είχαν είτε πολύ μικρό αριθμό υπερβάσεων είτε μηδενικό.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.5. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM_{2.5} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.5.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{2.5} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Άρχους.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Παρατηρώντας την συνολική διακύμανση του ρύπου $PM_{2.5}$ στην πόλη λιμάνι του Άρχους όπως αυτή αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 4.5.1.(α) δεν διακρίνουμε κάποια περίοδο με εξάρσεις του ρύπου, αντ' αυτού υπάρχουν ήπιες μεταβολές στα δεδομένα όλης της χρονοσειράς που εξετάσαμε.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ ανά μήνα, για όλη την χρονοσειρά, φαίνεται στο Διάγραμμα 4.5.1.(β). Ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος είναι οι μήνες με τις υψηλότερες μέσες τιμές συγκέντρωσης ρύπου και ακολουθούν οι μήνες Νοέμβριος, Φεβρουάριος και Ιούνιος, ενώ όλοι οι υπόλοιποι μήνες είναι σε σχετικά ίδια και χαμηλότερα επίπεδα. Τα ευρήματα αυτά συμβαδίζουν με τα αντίστοιχα για τον ρύπο $PM_{1.0}$.

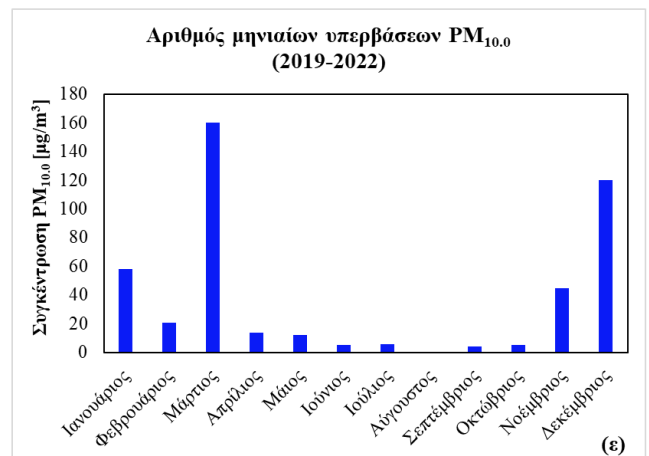
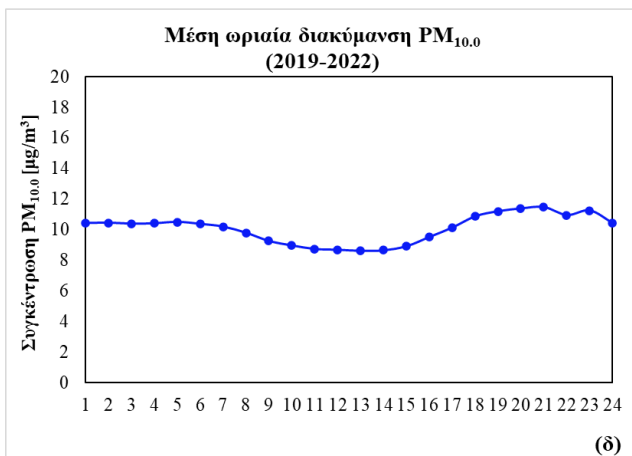
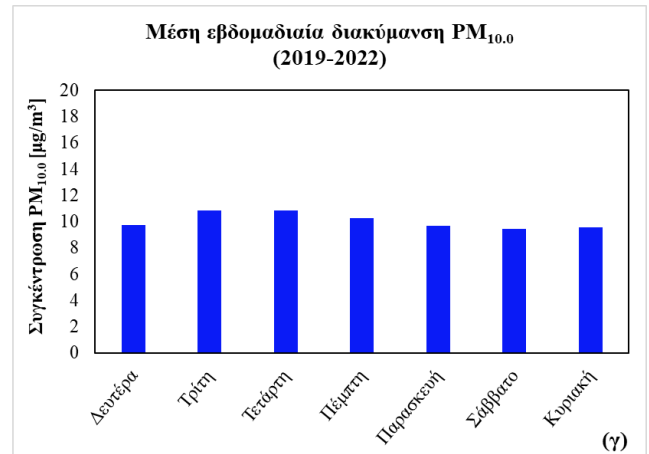
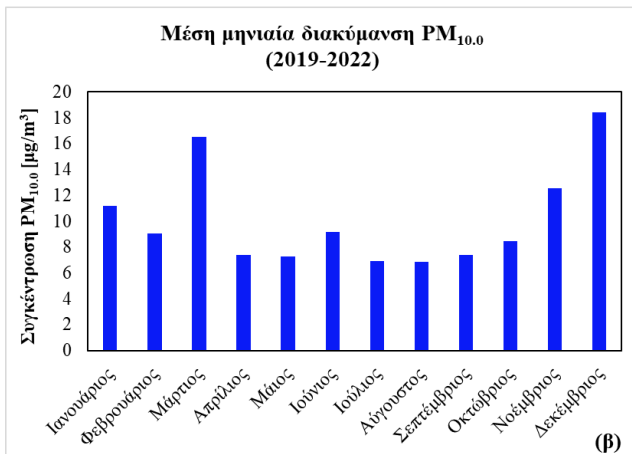
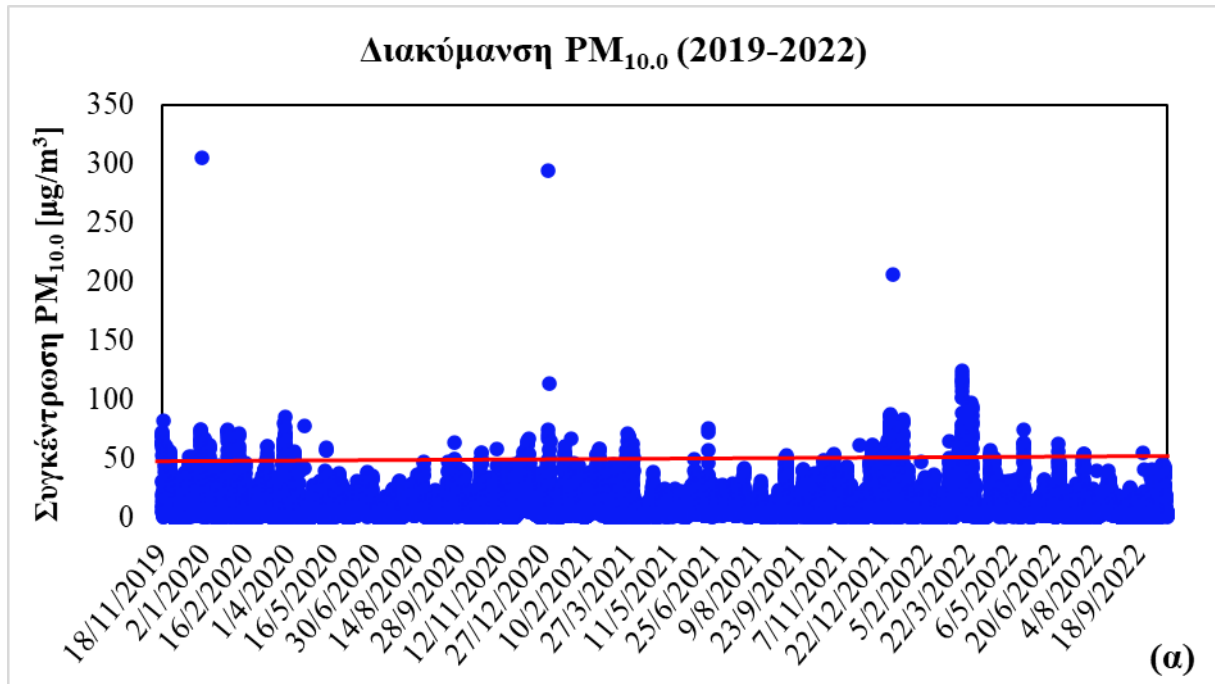
Στο Διάγραμμα 4.5.1.(γ) όπου και απεικονίζεται η εβδομαδιαία διακύμανση $PM_{2.5}$ μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες εξάρσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, εντοπίζεται μόνο μία μικρή αύξηση αυτών την Τρίτη ($9,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και την Τετάρτη ($9,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όλες τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρούμε τιμές μέσης συγκέντρωσης στο εύρος $8,50$ με $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η ανάλυση της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$ σε ωριαίο βήμα (Διάγραμμα 4.5.1.(δ)) αναδεικνύει ότι μέσα σε ένα τυπικό 24ώρο το πρώτο peak εμφανίζεται στις 5 π.μ. ($9,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ενώ το δεύτερο peak εμφανίζεται το βράδυ στις 9 μ.μ. με μέση συγκέντρωση ρύπου τα $10,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Γενικά η διακύμανση στο 24ώρο είναι ομαλή, χωρίς ιδιαίτερες διαφορές στις τιμές της συγκέντρωσης.

Οι υπερβάσεις που σημειώθηκαν κατά τα έτη 2019 με 2022 φαίνονται στο Διάγραμμα 4.5.1.(ε). όπου βλέπουμε ότι ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος έχουν τις υψηλότερες τιμές με 539 και 468 υπερβάσεις αντίστοιχα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.6. Άρχους – Μελέτη διακύμανσης PM_{10.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.6.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{10.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στο Άρχους.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Συνολικά για την χρονοσειρά, παρατηρούνται ήπιες μεταβολές της συγκέντρωσης του ρύπου $PM_{10.0}$. Υπάρχουν υπερβάσεις του ορίου αλλά είναι χαμηλής έντασης.

Αναλύοντας την διακύμανση του ρύπου σε μηνιαίο βήμα (Διάγραμμα 4.6.1.(β)) παρατηρούμε ότι, ομοίως με τα αντίστοιχα διαγράμματα των ρύπων $PM_{1.0}$ και $PM_{2.5}$, ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος παρουσιάζουν τις υψηλότερες μέσες τιμές συγκέντρωσης. Σε παρόμοιο επίπεδο κινούνται όλοι οι υπόλοιποι μήνες (~7 με $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Σε εβδομαδιαία ανάλυση (Διάγραμμα 4.6.1.(γ)), οι αποκλίσεις στην μέση συγκέντρωση του ρύπου ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, με μία μικρή αύξηση να παρατηρείται την Τρίτη ($10,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$), την Τετάρτη ($10,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και την Πέμπτη ($10,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όλες τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρούμε τιμές μέσης συγκέντρωσης περίπου 9,5 με $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Το μόνο peak που εμφανίζεται στο τυπικό 24ώρο διακύμανσης του ρύπου (Διάγραμμα 4.6.1.(δ)) είναι τα ξημερώματα στις 5 π.μ. με μέση συγκέντρωση $10,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Έπειτα, παρατηρείται σταδιακή πτώση της μέσης τιμής συγκέντρωσης του ρύπου, μέχρι τις πρώτες βραδινές ώρες, και πιο συγκεκριμένα στις 9 μ.μ., όπου εμφανίζεται το δεύτερο peak ($11,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Σε γενικές γραμμές η ημερήσια διακύμανση του ρύπου είναι ομαλή.

Στο Διάγραμμα 4.6.1.(ε) σημειώνεται ο συνολικός αριθμός υπερβάσεων της οριακής τιμής του ρύπου κατά τα έτη 2019 με 2022. Οι περισσότερες υπερβάσεις σημειώθηκαν τον Μάρτιο (160 υπερβάσεις) και τον Δεκέμβριο (120 υπερβάσεις). Τους υπόλοιπους μήνες ο αριθμός των υπερβάσεων ήταν αρκετά χαμηλότερος ή ακόμα και μηδενικός.

Η παραπάνω μελέτη που διεξάχθηκε με δεδομένα για την πόλη-λιμάνι του Άρχους υποδεικνύει διάφορα σημεία ενδιαφέροντος σχετικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή. Οι τρεις ρύποι που μελετήθηκαν ($PM_{1.0}$, 2.5, 10.0) ακολουθούν παρόμοιο μοτίβο και καθολικά παρατηρούνται ήπιες μεταβολές Σε στην συγκέντρωσή τους. Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος είναι οι δύο μήνες όπου οι μέσες συγκεντρώσεις των ρύπων εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές, χωρίς όμως αυτό να συμβαίνει συνεχόμενα για κάποια χρονική περίοδο, π.χ. για όλο τον χειμώνα ή όλη την άνοιξη. Παρόλα αυτά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο ρύπος παρουσιάζει κάποια εποχικότητα αυτούς τους μήνες. Αυτές οι αυξητικές τάσεις που παρατηρήθηκαν, μπορούν να οφείλονται στις θερμάνσεις κατά τους χειμερινούς μήνες και στην έντονη κινητικότητα που συμβαίνει κατά την περίοδο της άνοιξης που ο καιρός είναι ήπιος και ευνοεί εξωτερικές δραστηριότητες. Σαφώς και η κίνηση στους δρόμους μπορεί να προκαλέσει αύξηση στην συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, αλλά οι Σκανδιναβικές πόλεις φημίζονται για το πολύ καλό και εύχρηστο σύστημα δημόσιας συγκοινωνίας που διαθέτουν, καθώς και για τα φιλικά προς το περιβάλλον καύσιμα που χρησιμοποιούν οι πολίτες τόσο στην κίνησή τους με Ι.Χ. όσο και στην θέρμανση.

Μελετώντας τους τρεις ρύπους σε μέση μηνιαία διακύμανση για όλη την χρονοσειρά αναφοράς προκύπτει ότι κατά τους χειμερινούς μήνες, οι μέσες συγκεντρώσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένες μόνο τον Δεκέμβριο ενώ κατά την χρονική περίοδο της άνοιξης οι τιμές είναι υψηλές μόνο τον Μάρτιο. Όλο το υπόλοιπο έτος οι μέσες τιμές συγκέντρωσης και των τριών ρύπων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα.

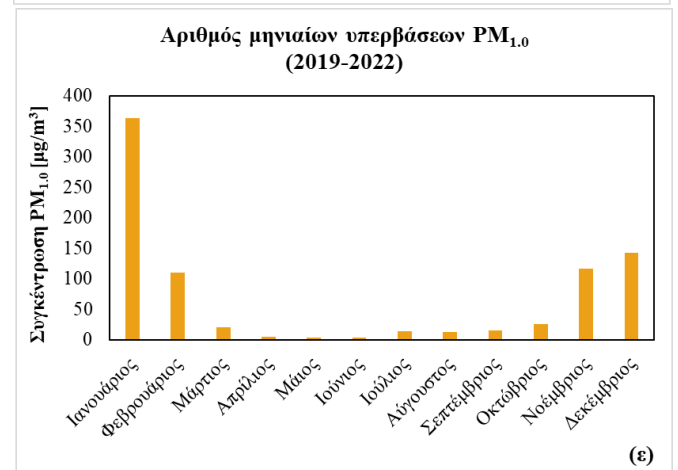
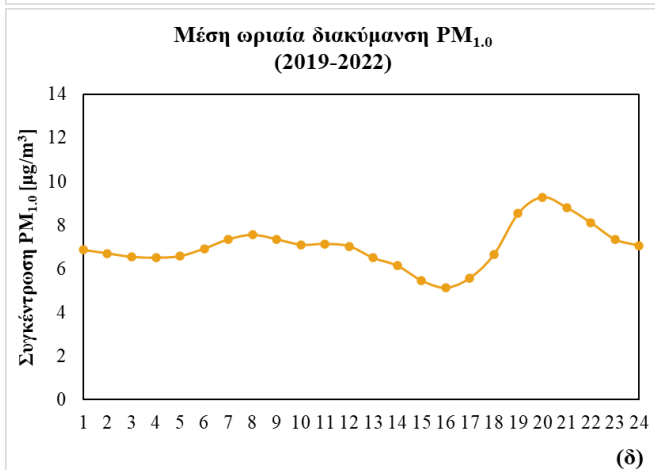
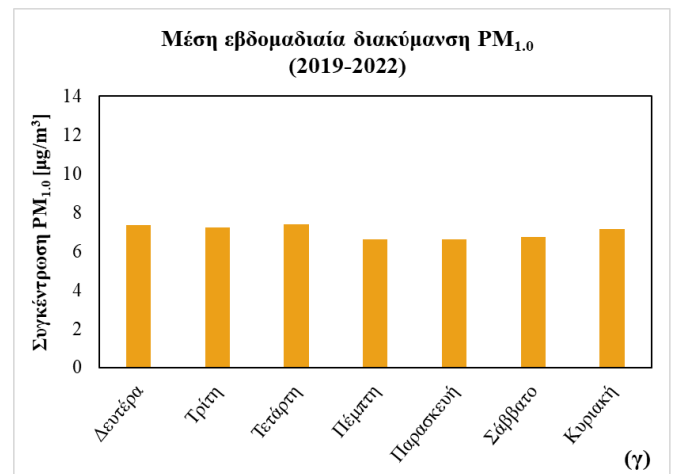
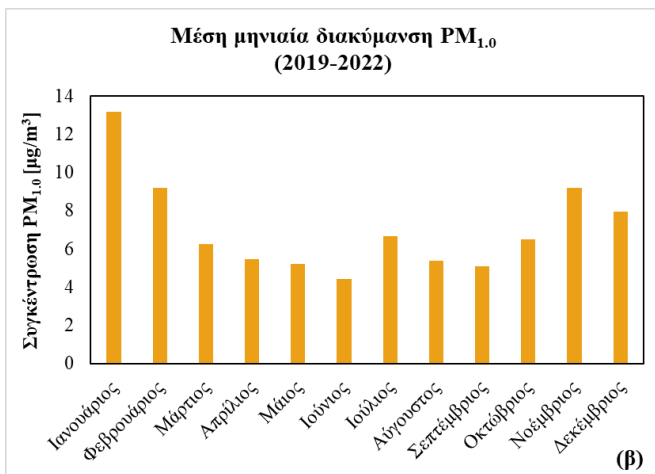
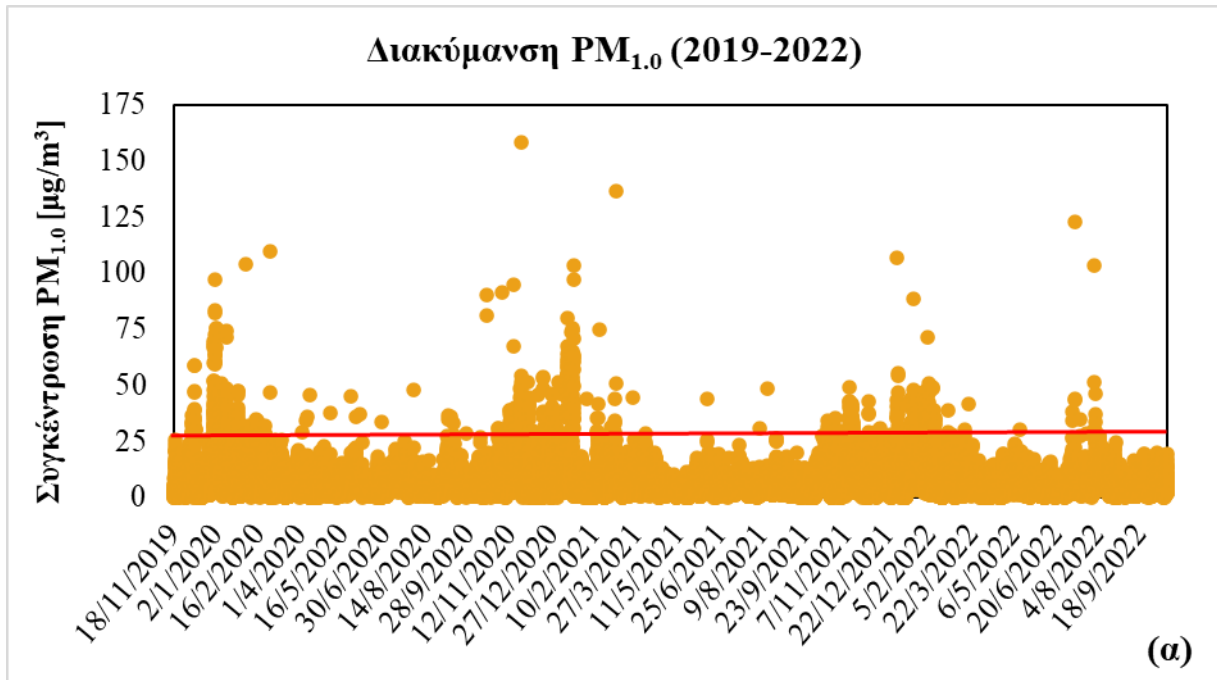
Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Κατά την διάρκεια ενός τυπικού 24ώρου παρατηρείται για τους όλους τους ρύπους peak τα ξημερώματα και τις πρώτες βραδινές ώρες. Η αρχική αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων συμβαίνει νωρίς το πρωί, όταν οι άνθρωποι συνήθως ξεκινούν τις καθημερινές τους συνήθειες, ενεργοποιούν συστήματα θέρμανσης και μετακινούνται προς τη δουλειά ή το σχολείο. Μετά από αυτή την αρχική αιχμή, η συγκέντρωση μειώνεται σταδιακά, καθώς ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού παραμένει απασχολημένο με την εργασία ή το σχολείο. Νωρίς το βράδυ συναντάται η δεύτερη αιχμή. Από την δεύτερη αιχμή και μετά, παρατηρείται σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης, καθώς η κυκλοφορία μειώνεται και τα συστήματα θέρμανσης απενεργοποιούνται. Η εμφάνιση της δεύτερης αιχμής μπορεί να αποδοθεί στην απογευματινή συμφόρηση που προκύπτει από άτομα που επιστρέφουν από την εργασία τους, ενεργοποιούν τα συστήματα θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες ή απολαμβάνουν υπαίθριες δραστηριότητες όταν ο καιρός είναι καλός.

Σε γενικές γραμμές, η πόλη-λιμάνι του Άρχους φαίνεται να μην αντιμετωπίζει ιδιαίτερο πρόβλημα με τον εκφυλισμό της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Σαφώς και υπάρχουν επίπεδα ρύπανσης, όπως επίσης σημειώνονται και σημαντικές υπερβάσεις των οριακών τιμών του εκάστοτε ρύπου, αλλά σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα κινούνται σε χαμηλά επίπεδα. Σε μεγάλο βαθμό το γεγονός αυτό οφείλεται στις καλές οικολογικές πρακτικές που ακολουθούνται πιστά στις Σκανδιναβικές χώρες και στις φιλοπεριβαλλοντικές προσεγγίσεις που έχουν πια υιοθετήσει οι πολίτες καθώς και στο βιωτικό επίπεδο της χώρας. Άλλοι παράγοντες που παίζουν καίριο ρόλο στα χαμηλά επίπεδα ρύπανσης που συναντάμε, είναι ο πληθυσμός, καθώς το Άρχους είναι μία όχι πολύ μεγάλη πόλη και το κλίμα, το οποίο πολλές φορές είναι απαγορευτικό για την πραγματοποίηση εξωτερικών δραστηριοτήτων. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι, παρόλο που ο σημειακός σταθμός παρακολούθησης PurpleAir δεν απέιχε πολύ από την περιοχή έρευνας, ανάμεσα τους, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, υπάρχει μία μεγάλη δασική έκταση που επηρεάζει τόσο τις κλιματολογικές συνθήκες όσο και τα επίπεδα ρύπανσης της περιοχής, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται και οι μετρήσεις του οργάνου.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.7. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM_{1.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.7.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{1.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στη Λισαβόνα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Σε όλο το εύρος της χρονοσειράς μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης του ρύπου $PM_{1.0}$ εμφανίζει μία ομαλή ροή, εκτός από κάποιες ημέρες των χειμερινών μηνών και κάποιες της εαρινής περιόδου όπου εμφανίζονται κάποιες υπερβάσεις. Οι υπερβάσεις αυτές μπορεί να είναι περιστασιακές ή να οφείλονται σε ορισμένες δραστηριότητες του λιμανιού. παρουσιάζει αυξητικές τάσεις κατά την χειμερινή περίοδο και την περίοδο της άνοιξης. Οι υπερβάσεις του οριακής τιμής που καταγράφονται φαίνεται να είναι χαμηλής έντασης καθώς οι τιμές συγκέντρωσης $PM_{1.0}$ κυμαίνονται κατά κύριο λόγο κάτω από $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η μηνιαία διακύμανση του ρύπου (Διάγραμμα 4.7.1.(β)) φανερώνει ότι ο Ιανουάριος είναι ο μήνας όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή μέσης συγκέντρωσης και ακολουθούν ο Νοέμβριος και ο Φεβρουάριος. Την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, οι μόνοι μήνες που παρουσιάζουν κάποια αυξητική τάση είναι ο Μάρτιος και ο Ιούλιος αντίστοιχα. Μπορούμε να διακρίνουμε εποχικότητα στον ρύπο, η οποία μπορεί να οφείλετε στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατά την θέρμανση και στις καιρικές-κλιματικές συνθήκες της περιοχής, καθώς το όργανο είναι τοποθετημένο σε ένα τυπικό προάστιο κοντά στο λιμάνι. Επιπλέον, πολλές χώρες που βρίσκονται στη νότια μεριά της Ευρώπης, όπως η Πορτογαλία, επηρεάζονται από το Sahara Dust Event, κάτι που κάλλιστα μπορεί να έχει επηρεάσει τις μετρήσεις τους μήνες αυτούς.

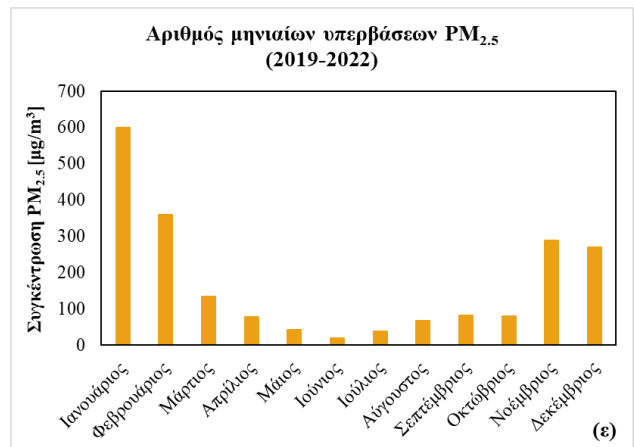
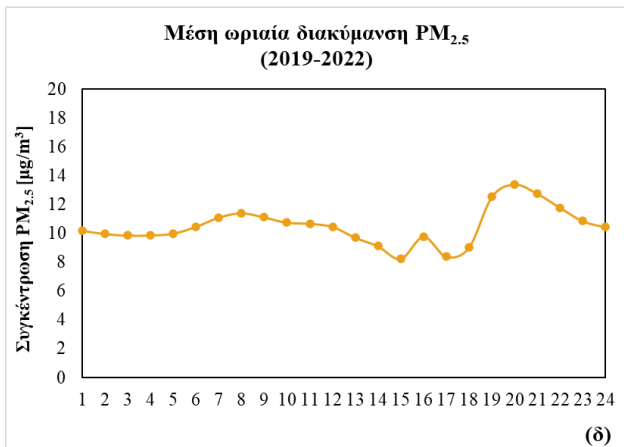
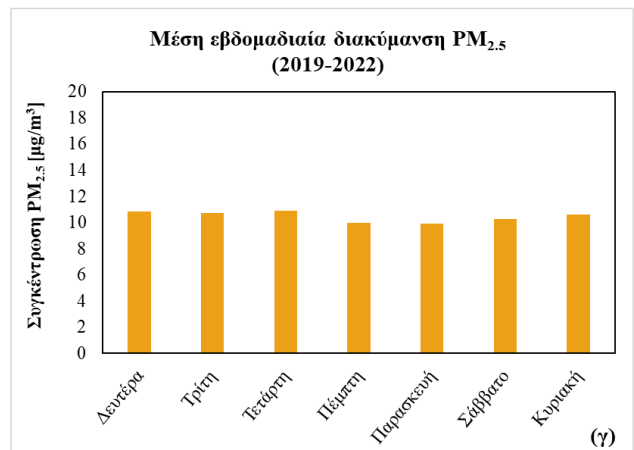
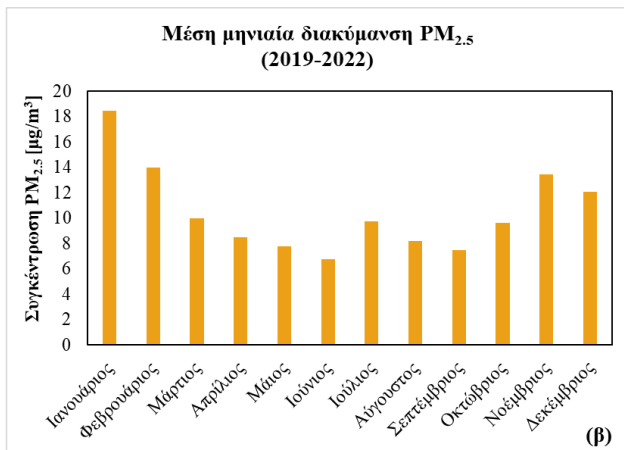
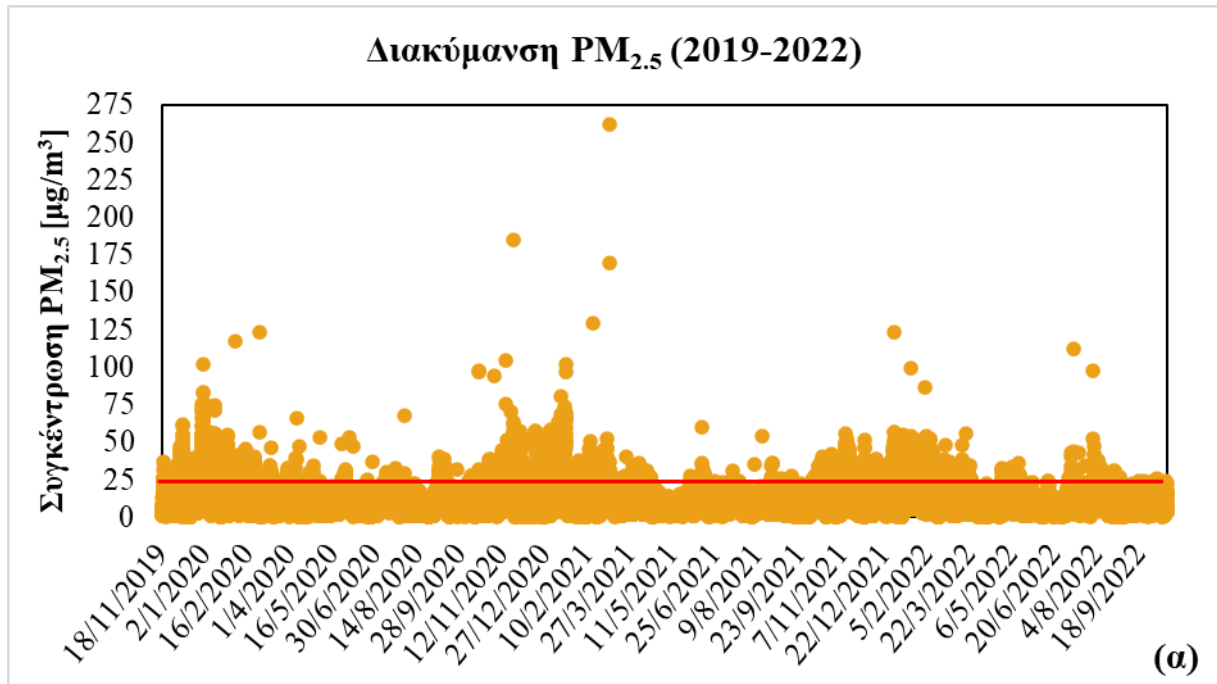
Στο Διάγραμμα 4.7.1.(γ) όπου απεικονίζεται η εβδομαδιαία διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{1.0}$ οι αποκλίσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, με μία μικρή αύξηση να παρατηρείται την Τετάρτη ($7,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Το λιμάνι είναι ένας χώρος που συνεχώς υπάρχει κινητικότητα, είτε εμπορική είτε τουριστική, επομένως ήταν αναμενόμενο το αποτέλεσμα αυτό.

Μέσα σε ένα τυπικό 24ώρο παρατηρούμε δύο peak, το πρώτο στις 8 π.μ. ($7,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το δεύτερο στις 8 μ.μ. ($9,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Διάγραμμα 4.7.1.(δ)). Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι, από τις 3 μ.μ. έως και τις 5 μ.μ. υπάρχει μία απότομη μείωση στην ωριαία συγκέντρωση του ρύπου.

Στο Διάγραμμα 4.7.1.(ε) σημειώνεται ο συνολικός αριθμός υπερβάσεων της οριακής τιμής του ρύπου κατά τα έτη 2019 με 2022. Σε όλους τους μήνες παρατηρούνται υπερβάσεις αλλά Οι περισσότερες σημειώθηκαν τον Ιανουάριο (364 υπερβάσεις). Ακολουθούν ο Φεβρουάριος, ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος με 110, 117 και 143 υπερβάσεις αντίστοιχα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.8. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM_{2.5} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.8.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{2.5} για την χρονοσειρά 2019-2022 στη Λισαβόνα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του ρύπου $PM_{2.5}$, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.8.1.(α), παρουσιάζει εξάρσεις, ιδιαίτερα κατά τις χειμερινές περιόδους. Σε γενικές γραμμές, οι τιμές συγκέντρωσης $PM_{1.0}$ κυμαίνονται κάτω από $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στη μηνιαία ανάλυση του ρύπου (Διάγραμμα 4.8.1.(β)) σημειώνεται ότι ο Ιανουάριος είναι ο μήνας όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή μέσης συγκέντρωσης.

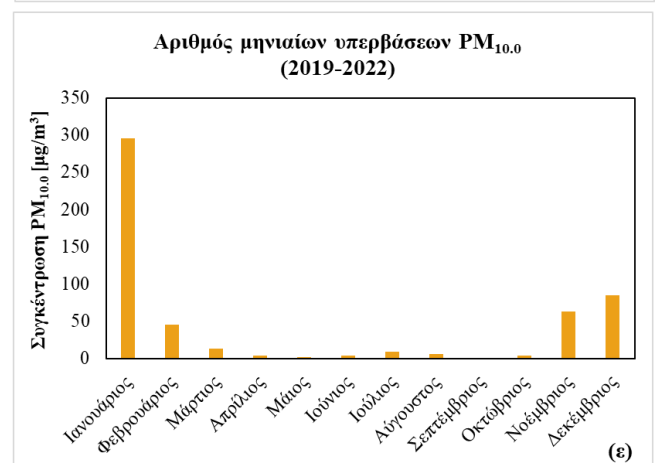
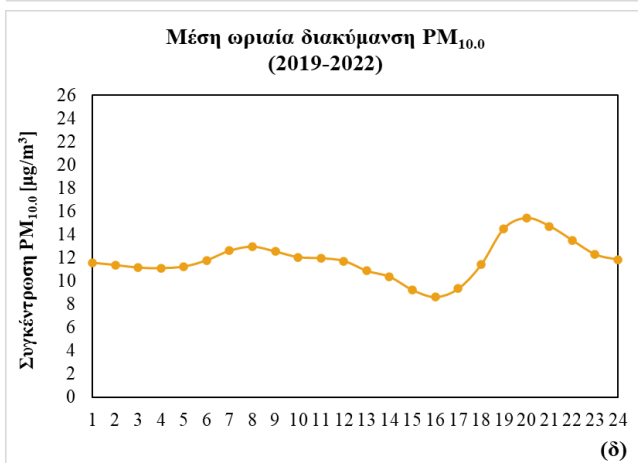
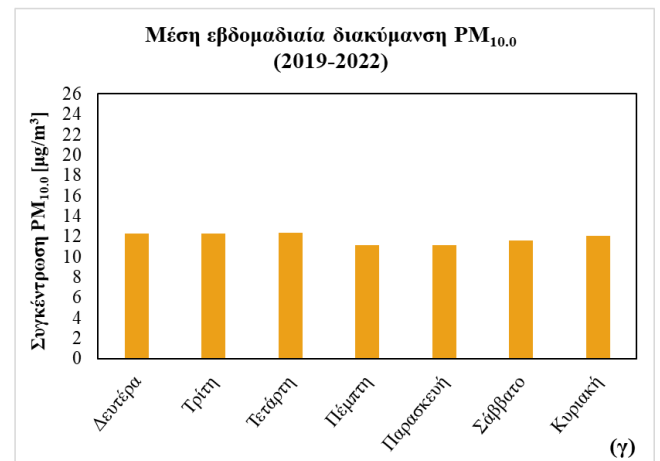
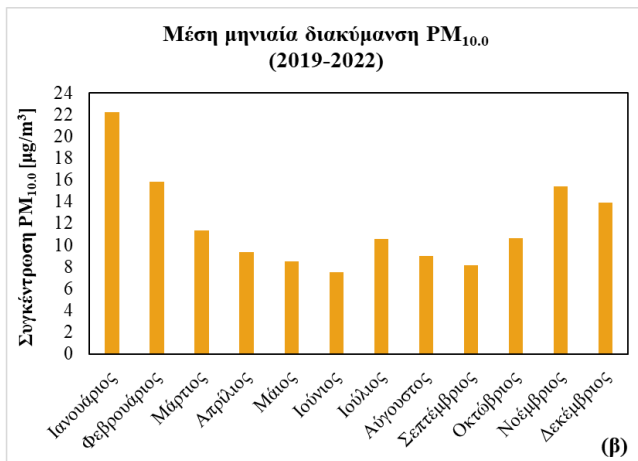
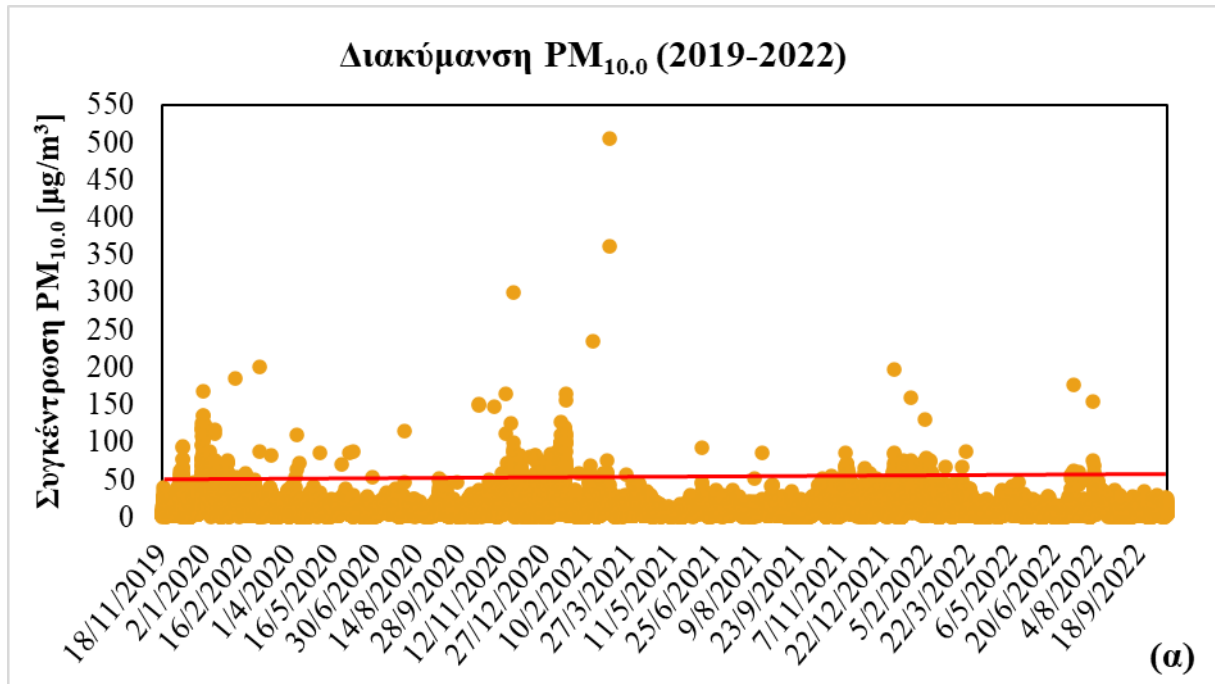
Στο Διάγραμμα 4.8.1.(γ) απεικονίζεται η εβδομαδιαία διακύμανση της συγκέντρωσης $PM_{2.5}$. Οι αποκλίσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας είναι σχεδόν ανύπαρκτες, καθιστώντας την διακύμανση ιδιαίτερα ομαλή. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, με μία μικρή αύξηση να παρατηρείται την Τετάρτη ($10,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όλες τις υπόλοιπες ημέρες παρατηρούμε τιμές μέσης συγκέντρωσης περίπου 9,9 με $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Στο Διάγραμμα 4.8.1.(δ) όπου απεικονίζεται η ημερήσια διακύμανση $PM_{2.5}$ παρατηρούμε τρία peak. Το πρώτο είναι στις 8 π.μ. ($11,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$), το δεύτερο στις 4 μ.μ. ($9,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το τρίτο στις 8 μ.μ. ($13,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ο συνολικός αριθμός υπερβάσεων της οριακής τιμής του ρύπου κατά τα έτη 2019 με 2022 φαίνεται στο Διάγραμμα 4.8.1.(ε). Ο αριθμός υπερβάσεων ήταν μεγάλος τον μήνα Ιανουάριο όπου σημειώθηκαν 599 υπερβάσεις.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.9. Λισαβόνα – Μελέτη διακύμανσης PM_{10.0} στην ατμόσφαιρα



Σχήμα 4.9.1 (α) Συνολική διακύμανση; (β) Μέση μηνιαία διακύμανση; (γ) Μέση ημερήσια διακύμανση; (δ) 24ώρη διακύμανση; (ε) Αριθμός μηνιαίων υπερβάσεων του ορίου, της συγκέντρωσης PM_{10.0} για την χρονοσειρά 2019-2022 στη Λισαβόνα.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του ρύπου $PM_{10.0}$, (Διάγραμμα 4.9.1.(α)), παρουσιάζει κάποιες εξάρσεις κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά είναι χαμηλής έντασης. Οι τιμές συγκέντρωσης του ρύπου κυμαίνονται κυρίως κάτω από $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Σο Διάγραμμα 4.9.1.(β) όπου τα δεδομένα έχουν αναχθεί σε μηνιαίο βήμα παρατηρείται ότι ο Ιανουάριος είναι ο μήνας όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή μέσης συγκέντρωσης. Ακολουθούν ο Φεβρουάριος και ο Νοέμβριος.

Από το διάγραμμα ημερήσιας διακύμανσης του ρύπου (Διάγραμμα 4.9.1.(γ)) παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες οι αποκλίσεις ανάμεσα στις ημέρες της εβδομάδας καθιστώντας την διακύμανση ιδιαίτερα ομαλή. Οι τιμές κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, με μία μικρή αύξηση να παρατηρείται την Τετάρτη ($12,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Στο Διάγραμμα 4.9.1.(δ) όπου απεικονίζεται η ωριαία διακύμανση του ρύπου παρατηρούμε δύο peak. Το πρώτο είναι στις 8 π.μ. ($12,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και το δεύτερο στις 8 μ.μ. ($15,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Κατά τα έτη 2019 με 2022 όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.9.1.(ε) υπήρχαν υπερβάσεις της οριακής τιμής του ρύπου. Ο αριθμός υπερβάσεων ήταν μεγάλος τον μήνα Ιανουάριο όπου σημειώθηκαν 296 υπερβάσεις. Και στους υπόλοιπους μήνες σημειώνονται υπερβάσεις, αλλά λιγότερες.

Στις παραπάνω αναλύσεις για την ποιότητα της ατμόσφαιρας της Λισαβόνας όσον αφορά δεδομένα για τους τρεις ρύπους ($PM_{1.0, 2.5, 10.0}$) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, ομοίως με τις άλλες δύο περιοχές έρευνας, ακολουθούν παρόμοιο μοτίβο και καθολικά παρατηρούνται ήπιες μεταβολές στην συγκέντρωσή τους. Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι ο Ιανουάριος είναι ο μήνας όπου οι μέσες συγκεντρώσεις των ρύπων εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές. Για την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, οι αντίστοιχοι μήνες είναι ο Μάρτιος και ο Ιούλιος. Ως αποτέλεσμα, ο ρύπος παρουσιάζει κάποια εποχικότητα αυτούς τους μήνες. Αυτές οι αυξητικές τάσεις που παρατηρήθηκαν, μπορούν να οφείλονται στις θερμάνσεις κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και στην κίνηση αυτοκινήτων στους δρόμους. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που υπάρχει δημόσια συγκοινωνία στην Λισαβόνα, δεν είναι τόσο εκσυγχρονισμένη και φιλική προς το περιβάλλον όπως τα ΜΜΜ του Αμβούργου και του Άρχους. Για την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, μεγάλη επίδραση στις αυξητικές τάσεις που παρουσιάζουν οι ρύποι έχει η έναρξη και η κορύφωση της τουριστικής περιόδου αντίστοιχα.

Κατά την διάρκεια ενός τυπικού 24ώρου παρατηρείται για τους όλους τους ρύπους peak νωρίς το πρωί και τις πρώτες βραδινές ώρες. Η αρχική αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων συμβαίνει νωρίς το πρωί, με την έναρξη των καθημερινών συνηθειών των κατοίκων και την χρήση συστημάτων θέρμανσης και Ι.Χ. για μετακίνηση. Κατά την διάρκεια της ημέρας, η συγκέντρωση μειώνεται σταδιακά και νωρίς το βράδυ παρατηρείται το δεύτερο peak. Από την δεύτερη αιχμή και μετά, υπάρχει σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης, καθώς η κυκλοφορία μειώνεται και τα συστήματα θέρμανσης απενεργοποιούνται. Η εμφάνιση της δεύτερης αιχμής μπορεί να αποδοθεί στην απογευματινή συμφόρηση στους δρόμους που προκύπτει από άτομα που επιστρέφουν από την εργασία τους, την ενεργοποίηση συστημάτων θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες κλπ.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, η Λισαβόνα παρόλο που είναι μία πολυπληθής πόλη με έντονη εμπορική και τουριστική δραστηριότητα να λαμβάνει χώρα στο κεντρικό της λιμάνι, φαίνεται να μην αντιμετωπίζει ιδιαίτερο πρόβλημα με την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Εννοείται ακόμη υπάρχουν

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

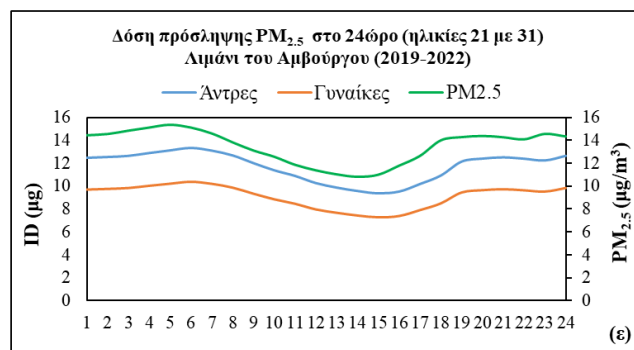
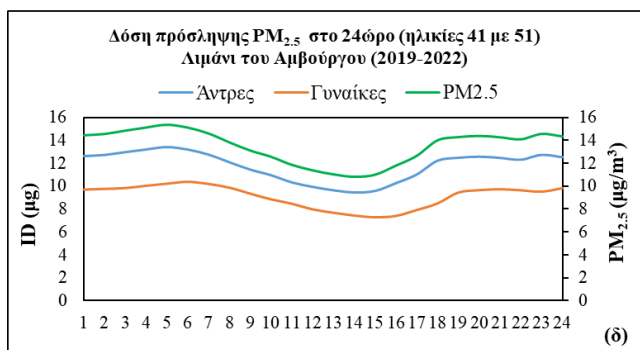
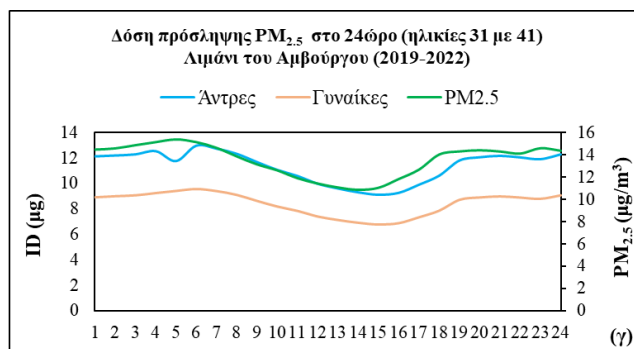
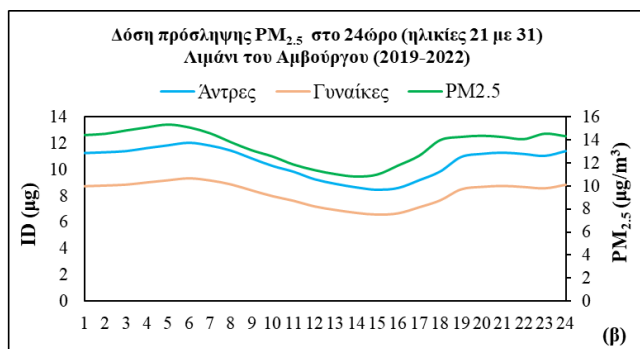
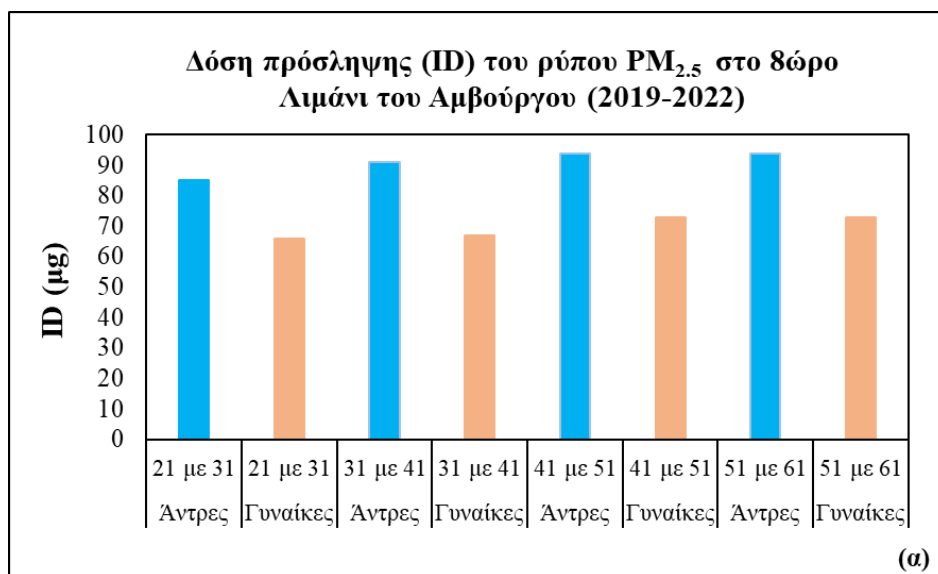
επίπεδα ρύπανσης και σημαντικές υπερβάσεις των οριακών τιμών του εκάστοτε ρύπου, αλλά σε ένα γενικότερο πλαίσιο, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα από τα αναμενόμενα. Σε μεγάλο βαθμό το γεγονός αυτό οφείλεται στην χωροθέτηση του λιμανιού, το οποίο βρίσκεται κοντά σε δασική έκταση και είναι σχετικά απομακρυσμένο από την πόλη, καθώς και στην γενικότερη γεωγραφία της Λισαβόνας, μίας πόλης με πολλούς λόφους.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.10. Ογκοδοσομετρία

Στα παρακάτω σχήματα αποτυπώνεται η μέση τιμή της εξατομικευμένης δόσης πρόσληψης για τον ρύπο $PM_{2.5}$ μέσα σε 8 και σε 24 ώρες. Τα δεδομένα αφορούν την χρονοσειρά 2019 – 2022 και τον ενεργό πληθυσμό αντρών και γυναικών του λιμανιού, δηλαδή τις ηλικίες από 21 έως και 61 ετών. Η μεθοδολογία υπολογισμού των τιμών ID αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 3](#).

4.10.1 Δόση πρόσληψης $PM_{2.5}$ σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι του Αμβούργου



Σχήμα 4.10.1.1 Εξατομικευμένη δόση πρόσληψης $PM_{2.5}$ (Intake Dose) στο λιμάνι του Αμβούργου (α) στο τυπικό 8ώρο, για όλες τις ηλικιακές ομάδες και στο τυπικό 24ώρο για τις ηλικιακές ομάδες (β) 21 με 31, (γ) 31 με 41, (δ) 41 με 51, (ε) 51 με 61.

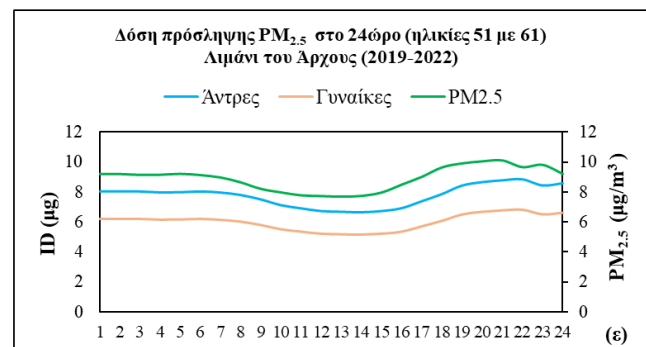
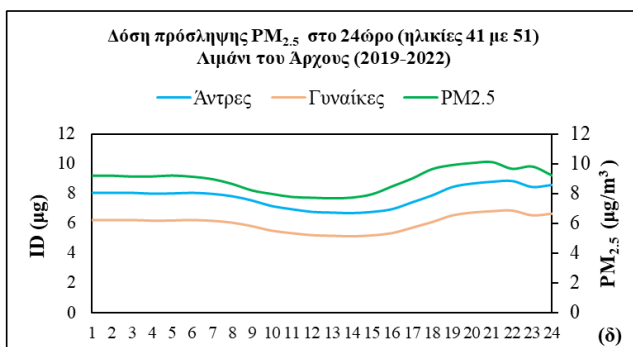
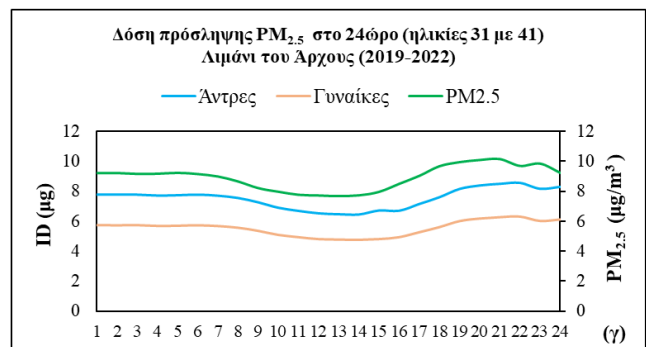
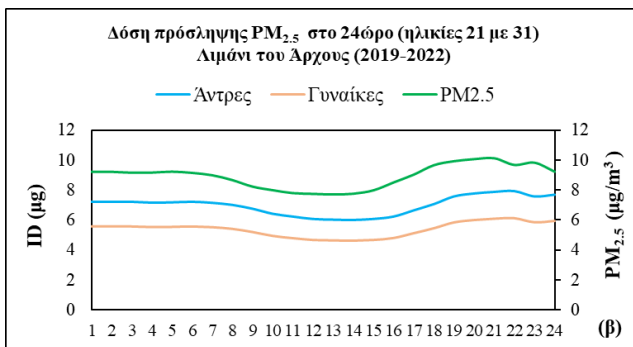
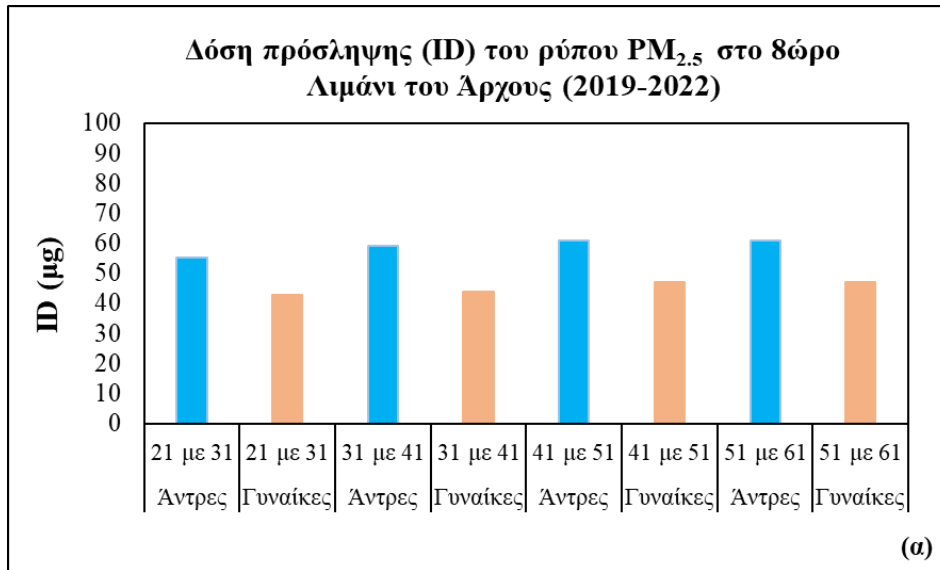
Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10.1.1. (α), οι ηλικιακές ομάδες 41 με 51 και 51 με 61, τόσο για γυναίκες όσο και για άντρες, είναι αυτές που προσλαμβάνουν την μεγαλύτερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$. Ομοίως και για τα δύο φύλα, ακολουθεί η ομάδα ηλικίας 31 με 41, και τέλος, την μικρότερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης φαίνεται να προσλαμβάνουν οι άντρες και οι γυναίκες ηλικίας από 21 έως 31 ετών. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, ανάμεσα στις εξεταζόμενες ηλικιακές ομάδες των γυναικών δεν διακρίνουμε ιδιαίτερες διαφορές στις τιμές εισπνεόμενης δόσης, αφού υπολογίστηκε ότι ηλικιακές ομάδες 21 με 31 και 31 με 41 εισπνέουν περίπου την ίδια δόση ρύπου, ενώ οι ηλικιακές ομάδες 41 με 51 και 51 με 61 φαίνεται να εισπνέουν ίση μάζα $PM_{2.5}$. Για τους άντρες, φαίνεται ότι οι ομάδες από 41 έως 51 και από 51 έως 61 εισπνέουν ίση ποσότητα δόσης $PM_{2.5}$, ενώ ανάμεσα στις ομάδες 21 με 31 και 31 με 41 υπάρχει κάποια διαφορά στη μάζα εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$.

Όσον αφορά το Σχήμα 4.10.1.1. (β, γ, δ, ε), πέραν ελαχίστων εξαιρέσεων, φαίνεται πως η διακύμανση του ρύπου $PM_{2.5}$ συμφωνεί με την διακύμανση της εισπνεόμενης δόσης των δύο φύλων ανάμεσα στα τέσσερα εξεταζόμενα ηλικιακά γκρουπ. Η διακύμανση σε όλες τις ηλικίες των γυναικών φαίνεται να είναι ομαλή και να συμφωνεί με την αντίστοιχη 24ώρη διακύμανση του $PM_{2.5}$. Για τους άντρες, παρατηρούμε μία έντονη διαφορά στο ηλικιακό γκρουπ 31 με 41 κατά την περίοδο 3 με 5 π.μ. όπου η μέση συγκέντρωση του ρύπου σημειώνει peak αλλά το ίδιο διάστημα το ID των αντρών σημειώνει την χαμηλότερή του τιμή για το 24ώρο. Σε γενικές γραμμές, βλέπουμε ότι το μοτίβο που εμφανίζεται στην διακύμανση του ρύπου εμφανίζεται λίγες ώρες μετά και στην διακύμανση του ID.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.10.2 Δόση πρόσληψης PM_{2.5} σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι του Άρχους



Σχήμα 4.10.2.1 Εξατομικευμένη δόση πρόσληψης PM_{2.5} (Intake Dose) στο λιμάνι του Άρχους (α) στο τυπικό 8ώρο, για όλες τις ηλικιακές ομάδες και στο τυπικό 24ώρο για τις ηλικιακές ομάδες (β) 21 με 31, (γ) 31 με 41, (δ) 41 με 51, (ε) 51 με 61.

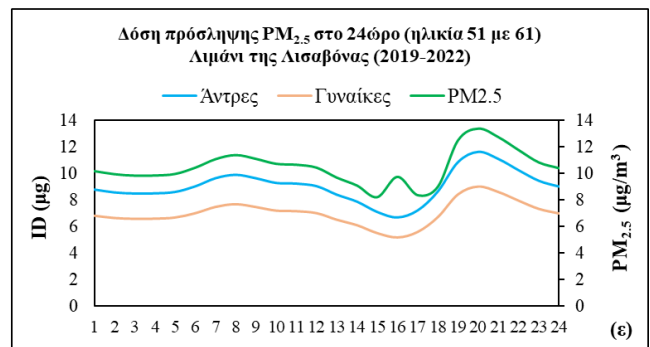
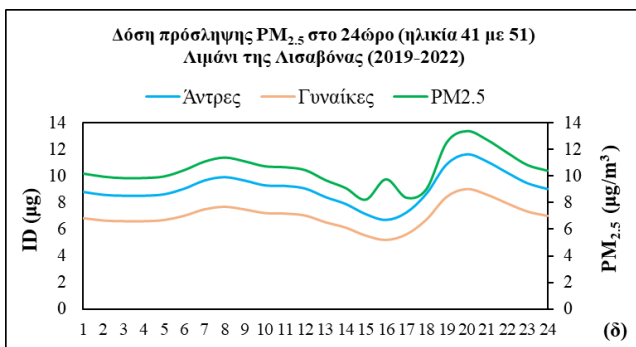
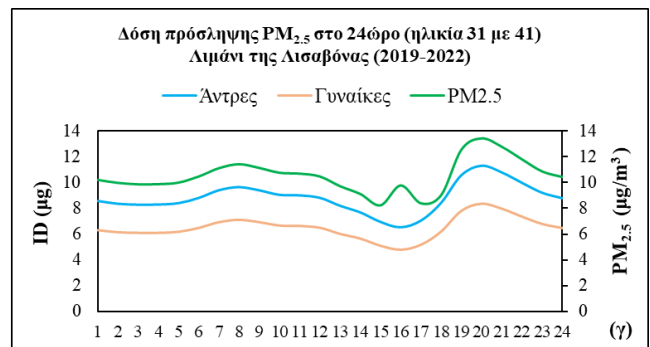
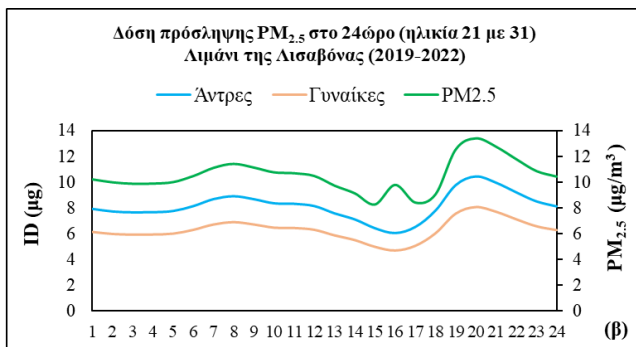
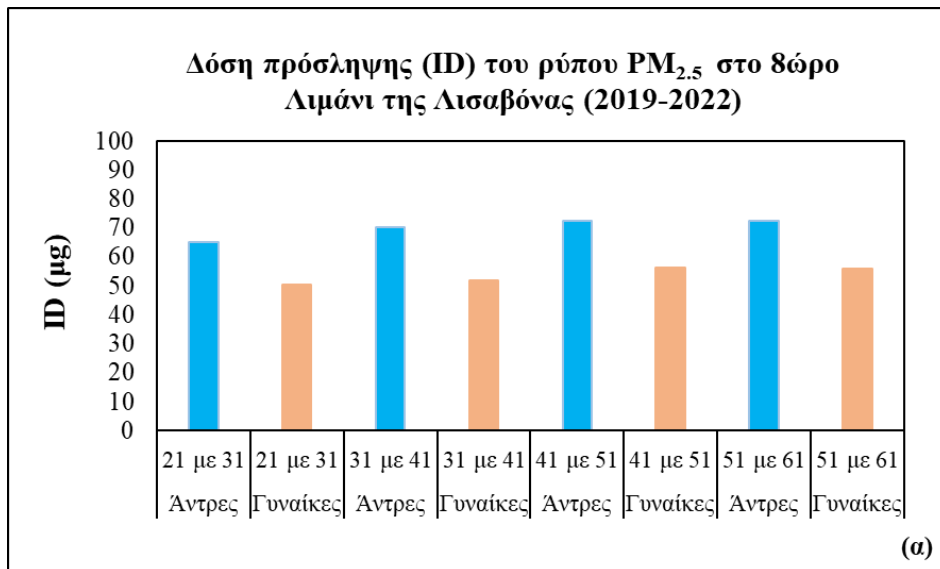
Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Για το Λιμάνι του Άρχους, όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 4.10.2.1. (α), οι άντρες και οι γυναίκες που είναι από 41 έως 51 και από 51 έως 61, είναι το κομμάτι του ενεργού πληθυσμού που προσλαμβάνει την μεγαλύτερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$, ακολουθούν οι ομάδες ηλικίας 31 με 41, και τέλος, την μικρότερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης φαίνεται να προσλαμβάνουν οι άντρες και οι γυναίκες ηλικίας από 21 έως 31 ετών. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι, ανάμεσα στις υπό μελέτη ηλικιακές ομάδες των δύο φύλων δεν διακρίνουμε ιδιαίτερες διαφορές στις τιμές εισπνεόμενης δόσης. Η μεγαλύτερη διαφορά παρουσιάζεται στους άντρες και ανάμεσα στις ηλικιακές ομάδες από 21 έως 31 και από 31 έως 41. Ανάμεσα στις αντίστοιχες ηλικιακές ομάδες των γυναικών υπάρχει μία μικρή διαφορά. Για τις υπόλοιπες ηλικιακές ομάδες το ποσό εισπνεόμενης μάζας $PM_{2.5}$ ταυτίζεται και στα δύο φύλα.

Σχετικά με το Σχήμα 4.10.2.1. (β, γ, δ, ε) μπορούμε να διακρίνουμε πως η διακύμανση του ρύπου $PM_{2.5}$ συμφωνεί με την διακύμανση της εισπνεόμενης δόσης και στις τέσσερις εξεταζόμενες ηλικιακές ομάδες των δύο φύλων. Σε γενικές γραμμές, βλέπουμε ότι το μοτίβο που εμφανίζεται στην διακύμανση του ρύπου εμφανίζεται λίγες ώρες μετά και στην διακύμανση του IO .

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

4.10.3 Δόση πρόσληψης PM_{2.5} σε 8 και σε 24 ώρες – Λιμάνι της Λισαβόνας



Σχήμα 4.10.3.1 Εξατομικευμένη δόση πρόσληψης PM_{2.5} (Intake Dose) στο λιμάνι της Λισαβόνας (α) στο τυπικό 8ώρο, για όλες τις ηλικιακές ομάδες και στο τυπικό 24ώρο για τις ηλικιακές ομάδες (β) 21 με 31, (γ) 31 με 41, (δ) 41 με 51, (ε) 51 με 61.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Αναφορικά με το λιμάνι της Λισαβόνας, την μεγαλύτερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$ οι ηλικιακές ομάδες 41 με 51 και 51 με 61, τόσο για γυναίκες όσο και για άντρες, είναι αυτές που προσλαμβάνουν. Σχήμα 4.10.1.1. (α), Ομοίως και για τα δύο φύλα, ακολουθεί η ομάδα ηλικίας 31 με 41, και τέλος, την μικρότερη ποσότητα εισπνεόμενης δόσης φαίνεται να προσλαμβάνουν οι άντρες και οι γυναίκες ηλικίας από 21 έως 31 ετών. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, ανάμεσα στις εξεταζόμενες ηλικιακές ομάδες των γυναικών δεν διακρίνουμε ιδιαίτερες διαφορές στις τιμές εισπνεόμενης δόσης, αφού υπολογίστηκε ότι ηλικιακές ομάδες 21 με 31 και 31 με 41 εισπνέουν περίπου την ίδια δόση ρύπου, ενώ οι ηλικιακές ομάδες 41 με 51 και 51 με 61 φαίνεται να εισπνέουν ίση μάζα $PM_{2.5}$. Για τους άντρες, φαίνεται ότι οι ομάδες από 41 έως 51 και από 51 έως 61 εισπνέουν ίση ποσότητα δόσης $PM_{2.5}$, ενώ ανάμεσα στις ομάδες 21 με 31 και 31 με 41 υπάρχει κάποια διαφορά στη μάζα εισπνεόμενης δόσης $PM_{2.5}$.

Μελετώντας την διακύμανση της μέσης συγκέντρωσης του ρύπου $PM_{2.5}$ συγκριτικά με την διακύμανση της εισπνεόμενης δόσης, μπορούμε να διακρίνουμε εύκολα ότι για τους άντρες και για τις γυναίκες όλων των ηλικιακών ομάδων κατά την περίοδο 3 με 5 μ.μ. η μέση συγκέντρωση του ρύπου εμφανίζει αυξητική τάση και το peak της, ενώ η μέση εισπνεόμενη δόση παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές του 24ώρου. Κατά την χρονική περίοδο 5 με 7 μ.μ. συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η διακύμανση της μέσης συγκέντρωσης του ρύπου φαίνεται να είναι χαμηλή ενώ η διακύμανση της εισπνεόμενης δόσης παρουσιάζει αυξητική τάση. Το υπόλοιπο 24ώρο φαίνεται να κυλάει ομαλά με τις διακυμάνσεις να συμφωνούν. Γενικότερα και στην συγκεκριμένη περιοχή έρευνας παρατηρούμε ότι πρώτα εμφανίζει αυξητικές τάσεις η διακύμανση της μέσης συγκέντρωσης του ρύπου και λίγες ώρες μετά οι τάσεις αυτές εμφανίζονται και στην διακύμανση του ID.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Πίνακας 4.10.3.1 Συγκριτικός πίνακας της μέσης εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5} αντρών και γυναικών 4 ηλικιακών ομάδων, στις 3 περιοχές έρευνας.

Ηλικιακές ομάδες	Αμβούργο		Άρχους		Λισαβόνα	
	Άντρες	Γυναίκες	Άντρες	Γυναίκες	Άντρες	Γυναίκες
21 με <31	85	66	55	43	65	50
31 με <41	91	67	59	44	70	52
41 με <51	94	73	61	47	73	56
51 με <61	94	73	61	47	72	56

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να συγκρίνουμε την ποσότητα της εισπνεόμενης δόσης ανάμεσα στις τρεις περιοχές έρευνας. Από τις μέσες τιμές ID που υπολογίστηκαν, φαίνεται πως οι άντρες εισπνέουν υψηλότερες δόσεις PM_{2.5} σε σύγκριση με τις γυναίκες. Ειδικότερα, σε κάθε λιμάνι ξεχωριστά την υψηλότερη τιμή δόσης πρόσληψης PM_{2.5} για μία τυπική εργάσιμη ημέρα 8 ωρών προσλαμβάνουν οι άντρες. Οι γυναίκες φαίνεται να εισπνέουν μικρότερα ποσά του ρύπου PM_{2.5}.

Συγκρίνοντας τις υπό μελέτη περιοχές συνολικά, το λιμάνι του Αμβούργου παρουσιάζει τις υψηλότερες μέσες τιμές δόσης πρόσληψης, ακολουθεί το λιμάνι της Λισαβόνας και τέλος, το λιμάνι του Άρχους. Η υψηλότερη μέση τιμή δόσης PM_{2.5} εντοπίστηκε στο λιμάνι του Αμβούργου για τους άντρες και η χαμηλότερη στο λιμάνι του Άρχους για τις γυναίκες.

Πραγματοποιώντας μία σύντομη συγκριτική ανάλυση μεταξύ των τριών λιμανιών, οφείλουμε να αναλογιστούμε και τους λόγους που μπορεί να επηρεάζουν αυτές τις διαφορές στα ποσά εισπνεόμενης δόσης. Πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των αποτελεσμάτων έχουν τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής. Το Αμβούργο και η Λισαβόνα είναι πόλεις με πληθυσμό που ανέρχεται περίπου στους 2 εκατομμύρια κατοίκους ενώ το Άρχους μετρά μόλις 350 χιλιάδες. Είναι λοιπόν λογικό οι πόλεις του Αμβούργου και τις Λισαβόνας να εμφανίζουν υψηλότερες τιμές ID σε σχέση με το Άρχους. Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να έχει επηρεάσει τα τελικά αποτελέσματα είναι η χωροταξία του κάθε λιμανιού. Όπως είδαμε στο [Κεφάλαιο 2](#), όπου έγινε η ανάλυση και παρουσίαση των περιοχών έρευνας, το λιμάνι του Άρχους βρίσκεται δίπλα σε μία μεγάλη, συνεχόμενη δασική έκταση. Αυτό βοηθάει αρκετά στην γενική διαμόρφωση της ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση επηρεάζει τις μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία ώστε να διεκπεραιωθεί η μελέτη. Τα λιμάνια του Αμβούργου και της Λισαβόνας, παρόλο που έχουν τριγύρω τους δασικές εκτάσεις, βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτοκινητόδρομους και γενικά ευρύτερες περιοχές με κίνηση οπότε και είναι αναμενόμενο να έχουν υψηλότερες τιμές αναφορικά με την εισπνεόμενη δόση PM_{2.5}. Τέλος, ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι η δυναμικότητα του κάθε λιμανιού. Παρόλο που έγινε η επιλογή των «μεγαλύτερων» λιμανιών της εκάστοτε χώρας, οφείλουμε να αναφέρουμε ότι τα λιμάνια μεταξύ τους δεν βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Σαφώς, από τα τρία εξεταζόμενα λιμάνια, αυτό του Αμβούργου είναι αυτό με την υψηλότερη κινητικότητα / δυναμικότητας, καθώς είναι και το τρίτο μεγαλύτερο Ευρωπαϊκό λιμάνι. Είναι λοιπόν λογικό το Αμβούργο να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές ID.

Πολλές μελέτες έχουν αναδείξει την σοβαρότητα της χρόνιας έκθεσης σε μεγάλες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στην ατμόσφαιρα. Όπως αναφέρθηκε και στο [Κεφάλαιο 1](#), η χρόνια εισπνοή PM_{2.5} προκαλεί πολλά προβλήματα υγείας, προσβάλλοντας το καρδιακό και αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, όπως επίσης και αυξάνει τις πιθανότητες πρόωρης θνησιμότητας. Ιδιαίτερα ευάλωτες είναι οι ηλικιακές ομάδες μεγαλύτερων ανθρώπων, όπως η ομάδα 51 με 61 ετών που εξετάσαμε και παραπάνω και αναδείχθηκε ότι και τα δύο φύλα προσλαμβάνουν τις υψηλότερες δόσεις PM_{2.5}, σε όλα τα λιμάνια (Dockery *et al.*, 1993; Pope *et al.*, 1995, 2002; Krewski *et al.*, 2009; Pope, Ezzati and Dockery, 2009; Kioumourtzoglou *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; *Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States - PubMed*, n.d).

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Κεφάλαιο 5^ο : Προτάσεις και Συμπεράσματα

Στην παραπάνω εργασία έγινε η προσπάθεια να διεξαχθεί μία μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε πόλεις-λιμάνια της Ευρώπης, αλλά και ο υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού της εκάστοτε περιοχής. Επιλέχθηκαν τρεις πόλεις-λιμάνια σε διαφορετικά μέρη της Ευρώπης, το Αμβούργο της Γερμανίας στην κεντρική Ευρώπη, το Άρχους της Δανίας στην βόρεια Ευρώπη και η Λισαβόνα της Πορτογαλίας στο νότιο κομμάτι της Ευρώπης. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι, η κάθε περιοχή που μελετήθηκε είχε διαφορετικά πληθυσμιακά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά.

Για την περάτωση της μελέτης της ποιότητας της ατμόσφαιρας στις τρεις περιοχές έρευνας δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν διαγράμματα ημερήσιας, ετησίας και ωριαίας διακύμανσης σχετικά με τα ποσά συγκέντρωσης των ρύπων $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ και $PM_{10.0}$. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν σε διάγραμμα οι υπερβάσεις που σημειώνονται στην χρονοσειρά αναφοράς (2019-2022), σε σχέση με τις οριακές τιμές που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο ΠΟΥ.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, και οι τρεις πόλεις παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις στην συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα κατά τους χειμερινούς μήνες και την περίοδο της άνοιξης. Είναι λογικό, να υπάρχει εντονότερη συμφόρηση των αυτοκινητόδρομων στην ευρύτερη περιοχή των λιμανιών, καθώς κατά την χειμερινή περίοδο είναι συνηθέστερο οι πολίτες να χρησιμοποιούν τα Ι.Χ. τους αντί της δημόσιας συγκοινωνίας. Σημαντική επίδραση στην ποιότητα της ατμόσφαιρας έχει και η χρήση καυσίμων για τις ανάγκες θέρμανσης αλλά και η λειτουργία βιομηχανιών στις ευρύτερες περιοχές. Επιπλέον, η περίοδος της άνοιξης σηματοδοτεί και την έναρξη της τουριστικής περιόδου, οπότε αναμένεται να υπάρχει έντονη κινητικότητα στα υπό μελέτη λιμάνια αλλά και στην περιοχή γύρω από αυτά, καθώς εξυπηρετούν και το επιβατικό κοινό. Υπάρχει εντονότερη ηλιοφάνεια περισσότερες ημέρες του χρόνου και κατά συνέπεια δημιουργούνται οι συνθήκες ευκολότερα για τη δημιουργία των δευτερογενών ρύπων όπως τα αιωρούμενα σωματίδια. Συγκεκριμένα για το νότιο τμήμα της Ευρώπης που μελετήθηκε, δηλαδή την πόλη-λιμάνι της Λισαβόνας, πρέπει να αναφερθεί ότι το φαινόμενο της Αφρικανικής σκόνης, δύναται να επηρεάσει τις μετρήσεις των οργάνων και να σημειωθούν υψηλές τιμές συγκεντρώσεων.

Συγκριτικά, το Αμβούργο και η Λισαβόνα κυμαίνονταν σε παρόμοια, με αυξητική τάση επίπεδα συγκέντρωσης PM στην ατμόσφαιρα. Παρόλο που οι κλιματικές συνθήκες των δύο πόλεων είναι πολύ διαφορετικές, πληθυσμιακά παρουσιάζουν ομοιότητες, επομένως είναι φυσιολογικό να εντοπίζουμε παρόμοιο εύρος τιμών. Γενικά, οι τιμές συγκεντρώσεων PM και των δύο πόλεων βρίσκονται κάτω από τα όρια που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, κάτι εξαιρετικά σημαντικό καθώς τόσο το Αμβούργο όσο και η Λισαβόνα είναι πολυπληθείς πόλεις με έντονη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι, ο αισθητήρας από τον οποίο αντλήσαμε δεδομένα για το Αμβούργο, βρίσκεται σε ένα σχετικά αραιοκατοικημένο προάστιο με αρκετή βλάστηση τριγύρω αλλά κοντά σε αυτοκινητόδρομο και πιο μακριά από το λιμάνι σε σχέση με τις άλλες τοποθεσίες. Εν αντιθέσει, ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στην Λισαβόνα βρίσκεται σε μία πυκνοκατοικημένη γειτονιά, σχετικά κοντά στο λιμάνι. Τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων τις εμφανίζει η πόλη του Άρχους στην Δανία. Σε γενικές γραμμές, οι Σκανδιναβικές χώρες δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο πρόβλημα σε σχέση με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς διέπονται από φιλοπεριβαλλοντικές αντιλήψεις και οι πολίτες δείχνουν εμπράκτως την αφοσίωσή τους στην οικολογική παιδεία και στις

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

πράσινες πολιτικές που έχουν θεσπιστεί. Το Άρχους, όντας πόλη στην βόρεια Ευρώπη που σημειώνει αρκετά χαμηλή θερμοκρασία τους χειμερινούς μήνες, θα ήταν φυσιολογικό να σημειώνει αρκετά υψηλά ποσά συγκέντρωσης ρύπων στον αέρα. Παρόλα αυτά κάτι τέτοιο δεν ισχύει, καθώς οι κυριότεροι τρόποι θέρμανσης είναι η τηλεθέρμανση ή οι αντλίες θερμότητας, συστήματα που είναι από τα πλέον πιο φιλικά για το περιβάλλον. Επιπλέον, το δίκτυο Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (MMM) είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο, εξαλείφοντας την ανάγκη των πολιτών να χρησιμοποιούν το αυτοκίνητό τους σε όλες τις μετακινήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πόλη του Άρχους είναι σχετικά αραιοκατοικημένη οπότε δεν παρατηρούνται φαινόμενα συνωστισμού σε ένα μέρος. Τέλος, το λιμάνι και ο σημειακό σταθμός καταγραφής βρίσκονται κοντά σε μία μεγάλη δασική έκταση. Η χωροθέτηση αυτή βοηθάει στην διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και είναι ένας από τους λόγους που παρατηρούνται αυτά τα ποσά συγκέντρωσης PM.

Όσον αφορά τον υπολογισμό εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5}, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε δυσμενέστερη κατάσταση βρίσκονται γενικά οι άντρες, αφού είναι το φύλο που εισπνέει τις μεγαλύτερες ποσότητες ρύπου. Συγκρίνοντας τις ηλικιακές ομάδες, παρατηρείται ότι και για τα δύο φύλα, τα γκρουπ 41 με 51 ετών και 51 με 61 ετών σημειώνουν το υψηλότερο ποσό εισπνεόμενης δόσης PM_{2.5}. Ακολουθεί η ηλικιακή ομάδα 31 με 41 ετών, και τέλος η ομάδα 21 με 31 ετών. Οι μέσες συγκεντρώσεις εισπνεόμενης δόσης μέσα σε ένα 24ώρο φαίνεται να είναι ανάλογες με τις μέσες συγκεντρώσεις του ρύπου στο 24ώρο, καθώς οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στο Αμβούργο και στην Λισαβόνα, ενώ το Άρχους για μία ακόμη φορά παρουσιάζει πολύ χαμηλές τιμές. Σαφώς και υπάρχουν μερικές αποκλίσεις αλλά δεν παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον.

Μερικά από τα μέτρα που προτείνονται, ώστε να καταπολεμηθεί το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και κατ' επέκταση οι επιπτώσεις αυτού, είναι:

- Ένταξη των ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην παραγωγική διαδικασία, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές ρύπων που εκλύονται από την καύση επιβλαβών προϊόντων.
- Χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο και τα βιοκαύσιμα έναντι του πετρελαίου, καθώς και εναλλακτικών τρόπων θέρμανσης όπως είναι η τηλεθέρμανση και οι αντλίες θερμότητας.
- Επιβολή προστίμων και περιβαλλοντικών τελών σε περιπτώσεις όπου τα θεσμοθετημένα όρια συγκεντρώσεων υπερβαίνονται. Οι οικονομικές επιπτώσεις που θα έχουν οι χώρες που αγνοούν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, θα αποτελέσουν κίνητρο για τις ίδιες και παράδειγμα για τις υπόλοιπες να συμμορφώνονται στα όρια που έχουν τεθεί.
- Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων. Η ενεργειακή αναβάθμιση είναι πολύ σημαντικό να γίνει τόσο σε δημόσια κτίρια (π.χ. σχολεία, νοσοκομεία) όσο και σε ιδιωτικά (π.χ. πολυκατοικίες, μονοκατοικίες, επιχειρήσεις) μέσω επιδοτούμενων προγραμμάτων.
- Ενθάρρυνση επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ.
- Δημιουργία κινήτρων για χρήση της ηλεκτροκίνησης όπως είναι επιδοτήσεις για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Κινητροδότηση για την υιοθέτηση και χρήση της ηλεκτροκίνησης στο δίκτυο των εμπορικών μεταφορών
- Παρότρυνση των πολιτών να χρησιμοποιούν περισσότερο τα MMM όπως το μετρό, το τραμ και τα λεωφορεία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί δημιουργώντας παραπάνω δρομολόγια ώστε να εξυπηρετούνται εύκολα και χωρίς καθυστερήσεις οι επιβάτες. Επιπλέον, τα MMM οφείλουν να είναι σύγχρονα και να πληρούν τις προδιαγραφές της πράσινης κίνησης.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

- Οι πολίτες οφείλουν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες όπως είναι τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα σημεία που κινούνται ώστε να είναι σε θέση να καταλάβουν αν πρέπει να προφυλάξουν την υγεία τους.
- Διεξαγωγή εμπειρισταωμένων μελετών σχετικά με την διακύμανση των ρύπων στην ατμόσφαιρα από τις αρμόδιες ερευνητικές ομάδες.
- Διεξαγωγή περισσότερων μελετών σχετικά με την εισπνεόμενη δόση ρύπων, καθώς είναι υψίστης σημασίας να μελετηθούν εις βάθος τα προβλήματα και οι επιπτώσεις που έχει το φαινόμενο αυτό στον άνθρωπο.
- Ενημερωμένα και σύγχρονα περιβαλλοντικά μαθήματα σε όλες τις σχολικές βαθμίδες.
- Περισσότερη συζήτηση για θέματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος στην δημόσια τηλεόραση και γενικά στα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (ΜΜΕ) ώστε να μπορούν να ενημερώνονται όλοι σχετικά.
- Θέσπιση ευρωπαϊκών νομικών πλαισίων και περαιτέρω ανάπτυξη προγραμμάτων ελέγχου και παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας.
- Ανάπτυξη σύγχρονου δικτύου με περισσότερους σημειακούς σταθμούς μέτρησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας.
- Ανάγκη μετασχηματισμού των εμπορικών και επιβατικών στόλων για την χρήση πράσινων καυσίμων.
- Ανάπτυξη του δικτύου αστικών και περιαστικών μεταφορών πληθυσμού με χρήση οχημάτων σύγχρονης και αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Δημιουργία ενός οδικού ιστού δημόσιων συγκοινωνιών που να εξυπηρετεί επαρκώς τις μετακινήσεις των επιβατών από και προς το λιμάνι ώστε να αποφευχθεί η χρήση Ι.Χ. για τον σκοπό αυτό.
- Υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων και προγραμματισμού ελαχιστοποίησης του χρόνου φόρτωσης και εκφόρτωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Jacobson, M.Z. (2012) *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions*. Cambridge University Press.

Γεντεκάκης Ιωάννης (2010) *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες*. 2η. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Clean Air Act 1956 / Policy Navigator (no date). Available at: <https://navigator.health.org.uk/theme/clean-air-act-1956> (Accessed: 19 June 2023).

Vallero, D.A. (2008). *Fundamentals of air pollution*. Amsterdam; Boston: Elsevier.

Manisalidis, I. *et al.* (2020) ‘Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review’, *Frontiers in Public Health*, 8. Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.00014> (Accessed: 12 June 2023).

Air Pollution (no date). Available at: <https://education.nationalgeographic.org/resource/air-pollution> (Accessed: 12 June 2023).

Slama, A. *et al.* (2020) ‘The short-term effects of air pollution on respiratory disease hospitalizations in 5 cities in Poland: comparison of time-series and case-crossover analyses’, *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(19), pp. 24582–24590. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08542-5>.

Glencross, D.A. *et al.* (2020) ‘Air pollution and its effects on the immune system’, *Free Radical Biology and Medicine*, 151, pp. 56–68. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>.

Bae, H.R. *et al.* (2022) ‘Adverse effects of air pollution-derived fine particulate matter on cardiovascular homeostasis and disease’, *Trends in Cardiovascular Medicine*, 32(8), pp. 487–498. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2021.09.010>.

Hu, X. *et al.* (2023) ‘Long-term exposure to ambient air pollution, circadian syndrome and cardiovascular disease: A nationwide study in China’, *Science of The Total Environment*, 868, p. 161696. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161696>.

Choi, J.Y. *et al.* (2023) ‘Ambient air pollution and the risk of neurological diseases in residential areas near multi-purposed industrial complexes of Korea: A population-based cohort study’, *Environmental Research*, 219, p. 115058. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115058>.

Dominski, F.H. *et al.* (2021) ‘Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and meta-analyses’, *Environmental Research*, 201, p. 111487. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111487>.

Kasdagli, M.-I. *et al.* (2022) ‘Investigating the association between long-term exposure to air pollution and greenness with mortality from neurological, cardio-metabolic and chronic obstructive pulmonary diseases in Greece’, *Environmental Pollution*, 292, p. 118372. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118372>.

‘Air pollution: A systematic review of its psychological, economic, and social effects’ (2020) *Current Opinion in Psychology*, 32, pp. 52–65. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.024>.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM) (2016). Available at: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> (Accessed: 12 June 2023).

Particulate Matter (PM) Basics (2016). Available at: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> (Accessed: 12 June 2023).

Zhang, R. *et al.* (2015) ‘Formation of Urban Fine Particulate Matter’, *Chemical Reviews*, 115(10), pp. 3803–3855. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00067>.

Air Quality (no date). Available at: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en (Accessed: 19 June 2023).

EU air quality standards (no date). Available at: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en (Accessed: 19 June 2023).

US EPA, O. (2013) *Regulatory and Guidance Information by Topic: Air*. Available at: <https://www.epa.gov/regulatory-information-topic/regulatory-and-guidance-information-topic-air> (Accessed: 13 June 2023).

US EPA, O. (2020) *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for PM*. Available at: <https://www.epa.gov/pm-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-pm> (Accessed: 13 June 2023).

Novak, R. *et al.* (2020) ‘Comparing Airborne Particulate Matter Intake Dose Assessment Models Using Low-Cost Portable Sensor Data’, *Sensors*, 20(5), p. 1406. Available at: <https://doi.org/10.3390/s20051406>.

Chalvatzaki, E. *et al.* (2018) ‘Estimation of the Personal Deposited Dose of Particulate Matter and Particle-Bound Metals Using Data from Selected European Cities’, *Atmosphere*, 9(7), p. 248. Available at: <https://doi.org/10.3390/atmos9070248>.

Kitagawa, Y.K.L. *et al.* (2022) ‘Exposure and dose assessment of school children to air pollutants in a tropical coastal-urban area’, *Science of The Total Environment*, 803, p. 149747. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149747>.

Toscano, D. *et al.* (2021) ‘Assessment of the impact of ship emissions on air quality based on a complete annual emission inventory using AIS data for the port of Naples’, *Ocean Engineering*, 232, p. 109166. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109166>.

Di Natale, F. and Carotenuto, C. (2015) ‘Particulate matter in marine diesel engines exhausts: Emissions and control strategies’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, pp. 166–191. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.08.011>.

Murena, F. *et al.* (2018) ‘Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy’, *Atmospheric Environment*, 187, pp. 70–83. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.056>.

Viana, M. *et al.* (2014) ‘Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe’, *Atmospheric Environment*, 90, pp. 96–105. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>.

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Gössling, S., Meyer-Habighorst, C. and Humpe, A. (2021) ‘A global review of marine air pollution policies, their scope and effectiveness’, *Ocean & Coastal Management*, 212, p. 105824. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105824>.

Union, P.O. of the E. (2015) *Κανονισμός (ΕΕ) 2015/757 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 29ης Απριλίου 2015, για την παρακολούθηση, την υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από θαλάσσιες μεταφορές και για την τροποποίηση της οδηγίας 2009/16/ΕΚ (Κείμενο που παρουσιάζει ενδιαφέρον για τον ΕΟΧ)*, Publications Office of the EU. Publications Office of the European Union. Available at: <https://op.europa.eu/el/publication-detail/-/publication/c895b0b3-fdf7-11e4-a4c8-01aa75ed71a1/language-el/format-PDFA1A> (Accessed: 12 June 2023).

‘Οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Νοεμβρίου 2012, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο’ (no date).

Radley-Gardner, O., Beale, H. and Zimmermann, R. (eds) (2016) *Fundamental Texts On European Private Law*. Hart Publishing. Available at: <https://doi.org/10.5040/9781782258674>.

Tékouabou, S.C.K. *et al.* (2022) ‘Towards air quality particulate-matter monitoring using low-cost sensor data and visual exploration techniques: case study of Kisumu, Kenya’, *Procedia Computer Science*, 215, pp. 963–972. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.099>.

Brzozowski, K., Rygula, A. and Maczyński, A. (2019) ‘The use of low-cost sensors for air quality analysis in road intersections’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, pp. 198–211. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.019>.

Lu, Y., Giuliano, G. and Habre, R. (2021) ‘Estimating hourly PM_{2.5} concentrations at the neighborhood scale using a low-cost air sensor network: A Los Angeles case study’, *Environmental Research*, 195, p. 110653. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110653>.

Statistics/Eurostat(no.date).Available:https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/URB_CPOP1/default/table?lang=en (Accessed: 9 May 2023).

Hamburg climate: Temperature Hamburg & Weather By Month - Climate-Data.org (no date). Available at: <https://en.climate-data.org/europe/germany/hamburg/hamburg-69/> (Accessed: 9 May 2023).

Port of Hamburg | PORT OF HAMBURG: Welcome to the official website of Germany's biggest seaport (no date). Available at: <https://www.hafen-hamburg.de/en/homepage/> (Accessed: 10 May 2023).

Ramacher, M.O.P. *et al.* (2020) ‘Contributions of traffic and shipping emissions to city-scale NO_x and PM_{2.5} exposure in Hamburg’, *Atmospheric Environment*, 237, p. 117674. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117674>.

Riegels, N. *et al.* (2020) ‘Making the ecosystem services approach operational: A case study application to the Aarhus River, Denmark’, *Science of The Total Environment*, 707, p. 135836. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135836>.

Aarhus climate: Temperature Aarhus & Weather By Month - Climate-Data.org (no date). Available at: <https://en.climate-data.org/europe/denmark/central-denmark-region/aarhus-302/> (Accessed: 9 May 2023).

Port of Aarhus - Port of Aarhus (no date). Available at: <https://www.portofaarhus.dk/en/> (Accessed: 9 May 2023).

Χρονική διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων σε πόλεις λιμάνια της Ευρώπης με διαφορετικά κλιματολογικά και πληθυσμιακά χαρακτηριστικά – υπολογισμός εισπνεόμενης συγκέντρωσης σε ενεργές ομάδες πληθυσμού.

Mascarenhas, A. *et al.* (2019) ‘Pathways of demographic and urban development and their effects on land take and ecosystem services: The case of Lisbon Metropolitan Area, Portugal’, *Land Use Policy*, 82, pp. 181–194. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.056>.

Lisbon climate: Average Temperature, weather by month, Lisbon water temperature - Climate-Data.org (no date). Available at: <https://en.climate-data.org/europe/portugal/lisbon/lisbon-3308/> (Accessed: 9 May 2023).

Homepage - Porto de Lisboa (no date). Available at: <https://www.portodelisboa.pt/en/home> (Accessed: 11 May 2023).

‘What Do Purpleair Sensors Measure, and How Do They Work?’ (2022), 3 February. Available at: <https://community.purpleair.com/t/what-do-purpleair-sensors-measure-and-how-do-they-work/3499> (Accessed: 24 April 2023).

‘Exposure Factors Handbook - Chapter 6: Inhalation Rates’ (2011).

Dockery, D.W. *et al.* (1993) ‘An association between air pollution and mortality in six U.S. cities’, *The New England Journal of Medicine*, 329(24), pp. 1753–1759. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>.

Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States - PubMed (no date). Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19164188/> (Accessed: 9 June 2023).

Kioumourtzoglou, M.-A. *et al.* (2015) ‘PM_{2.5} and survival among older adults: effect modification by particulate composition’, *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 26(3), pp. 321–327. Available at: <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000269>.

Krewski, D. *et al.* (2009) ‘Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality’, *Research Report (Health Effects Institute)*, (140), pp. 5–114; discussion 115–136.

Pope, C.A. *et al.* (1995) ‘Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults’, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151(3 Pt 1), pp. 669–674. Available at: https://doi.org/10.1164/ajrccm/151.3.Pt_1.669.

Pope, C.A. *et al.* (2002) ‘Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution’, *JAMA*, 287(9), pp. 1132–1141. Available at: <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>.

Pope, C.A., Ezzati, M. and Dockery, D.W. (2009) ‘Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States’, *The New England Journal of Medicine*, 360(4), pp. 376–386. Available at: <https://doi.org/10.1056/NEJMsa0805646>.

Wang, Y. *et al.* (2017) ‘Long-term exposure to PM_{2.5} and mortality among older adults in the Southeastern US’, *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 28(2), pp. 207–214. Available at: <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000614>.