



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ
ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΥΡΩΠΗΣ**

υπό
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΤΡΑΓΑΝΙΤΗ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ
ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΥΡΩΠΗΣ**

υπό
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΤΡΑΓΑΝΙΤΗ

Διπλωματική Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος, 2022

© 2022 Κωνσταντίνος Τραγανίτης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Δημήτριος Παντελής
 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου
 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Για την εργασία μου θα ήθελα να ευχαριστήσω μια σειρά από άτομα που συνέβαλλαν το καθένα ξεχωριστά αλλά και όλα συνολικά στο να διεκπεραιωθώ.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Καθηγητή κ. Νικόλαο Ανδρίτσο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης, είμαι ευγνώμων και στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Δημήτριο Παντελή και Βασίλειο Μποντόζογλου για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω σε όλους τους καθηγητές μου, που όλα αυτά τα χρόνια με δίδαξαν σπουδαία πράγματα πάνω στο αντικείμενο που αγαπώ.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ, το οφείλω στη σύζυγο μου Ειρήνη, η οποία είναι ο λόγος που βρίσκομαι σήμερα εδώ, καθώς σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου ήταν η κινητήριος δύναμη για να συνεχίσω, να παλέψω για το όνειρό μου και να φτάσω ως το τέλος.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, τους οποίους γνώρισα εδώ στη σχολή και πορευτήκαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια, μοιραζόμενοι ένα κοινό όραμα και μια κοινή αγάπη για το αντικείμενο μας

Επιπλέον, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Δημήτρη και Μαρία για την ολόψυχη αγάπη και την αμέριστη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, χάρη στους οποίους έμαθα να έχω όνειρα και να προσπαθώ για να τα πραγματοποιήσω. Μαζί με τους γονείς μου θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω και τους εκλιπόντες παππούδες μου, οι οποίοι με μεγάλωσαν τα πρώτα χρόνια της ζωής μου και έθεσαν τα θεμέλια γι' αυτό που είμαι σήμερα.

Τέλος, με μεγάλη συγκίνηση, αφιερώνω αυτή την εργασία στη μονάκριβη κόρη μου Μαριέλενα, μαζί με την ευχή να ονειρεύεται και να παλεύει για τα όνειρα της!

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2022

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος

Περίληψη

Η ρύπανση του αέρα αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα το οποίο προσπαθούν να αντιμετωπίσουν οι πολιτικές ηγεσίες παγκοσμίως. Είναι υπεύθυνη για την πρόκληση καρδιοπαθειών, εγκεφαλικών και άλλων αναπνευστικών προβλημάτων, ενώ παράλληλα τα μικροσωματίδια (PM) έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνα. Επίσης η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει επιπτώσεις στο οικοσύστημα, στη κλιματική αλλαγή αλλά και στη πολιτιστική κληρονομιά. Για αυτούς τους λόγους η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο έως το 2050 τον περιορισμό αυτών των ρύπων μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία γίνεται προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μικροσωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ σε πόλεις της Νότιας και της Βόρειας Ευρώπης με στόχο τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του αέρα. Για κάθε πόλη υπολογίζεται η μέση ετήσια συγκέντρωση σε PM_{2,5} και PM₁₀ για το έτος 2021 με την αξιοποίηση δεδομένων από τους σταθμούς μέτρησης κάθε πόλης. Επίσης, παρουσιάζονται και οι μετρήσεις όλων των σταθμών κάθε πόλης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά στην περιοχή και στον τύπο του σταθμού που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές σε κάθε πόλη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πόλεις της Βόρειας Ευρώπης παρουσιάζουν καλύτερες τιμές σε PM_{2,5} και σε PM₁₀ σε σχέση με αυτές της Νότιας Ευρώπης. Ωστόσο, τόσο στις πόλεις της Βόρειας όσο και στις πόλεις της Νότιας Ευρώπης, αν και η ποιότητα του αέρα τους χαρακτηρίζεται ως καλή και ικανοποιητική αντίστοιχα σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές, οι τιμές σε PM_{2,5} είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που προτείνει ο ΠΟΥ (5 μg/m³). Οι πηγές των παραπάνω σωματιδίων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό τόσο από την γεωγραφική θέση της πόλης όσο και από τη γεωγραφική θέση του σταθμού μέσα στην πόλη (π.χ. εάν βρίσκεται σε οδική αρτηρία, σε βιομηχανική περιοχή κλπ.).

Λέξεις-κλειδιά: ατμοσφαιρική ρύπανση, PM_{2,5} , PM₁₀, ποιότητα αέρα

CHARACTERISTICS OF PM PARTICLES IN NORTHERN AND SOUTHERN EUROPEAN CITIES

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2022

Supervisor: Dr. Nikolaos Andritsos

Abstract

Air pollution is one of the most important environmental issues the world is facing. It is responsible for causing heart disease, stroke and other respiratory problems, while microparticles (PM) have been identified as carcinogenic. Air pollution also affects the ecosystem, climate change and cultural heritage. For these reasons, the EU has set goals for reducing these pollutants by 2050 through the use of renewable energy sources.

In this dissertation the concentration of PM_{2,5} and PM₁₀ microparticles is determined in cities of Southern and Northern Europe. For each city, the average annual concentration of PM_{2,5} and PM₁₀ for the year 2021 is calculated using data from the measuring stations of each city. Also, the measurements of all stations of each city that were used in this work are presented. At the same time reference is made to the area and the type of station that present the highest values in each city.

The results showed that the cities of Northern Europe demonstrate lower values of PM_{2,5} and PM₁₀ than those in Southern Europe. However, both in the cities of Northern and in the cities of Southern Europe, although their air quality is characterized as good and satisfactory respectively according to European standards, the values of PM_{2.5} are much higher than those proposed by WHO (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The sources of the above particles depend to a large extent on both the geographical location of the city and the geographical location of the station in the city.

Key words: air pollution, PM_{2,5} , PM₁₀, air quality

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο	1
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	1
1.3 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας	2
Κεφάλαιο 2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	3
2.1 Παράγοντες που συμβάλλουν στη ρύπανση του ευρωπαϊκού φυσικού περιβάλλοντος.....	3
2.2 Ιστορική αναδρομή της ρύπανσης στον ευρωπαϊκό χώρο	4
2.3 Ευρωπαϊκή πολιτική για τη μόλυνση του περιβάλλοντος.....	7
2.3.1 Προκλήσεις προς τη μετάβαση προς μία «πράσινη» Ευρώπη	7
2.3.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο	9
2.3.3 Οικονομικό πλαίσιο	11
2.3.4 Μελλοντικές δράσεις.....	11
Κεφάλαιο 3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	14
3.1 Γενικά για την ατμοσφαιρική ρύπανση	14
3.2 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης	15
3.2.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	15
3.2.2 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα.....	16
3.2.3 Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.....	16
3.2.4 Επιπτώσεις στην πολιτιστική κληρονομιά.....	17
3.2.5 Οικονομικό αντίκτυπο ατμοσφαιρικής ρύπανσης	17
3.3 Αιωρούμενα σωματίδια	18
3.3.1 Σωματίδια PM10 και PM2.5	18
3.3.2 Αρνητική επίδραση των PM	19
3.4 Κοινωνικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και συμπεριφορά.....	29
Κεφάλαιο 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΑΣ ΕΥΡΩΠΗΣ	33
4.1 Μεθοδολογία	33
4.2 Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 σε πόλεις της Νότιας Ευρώπης	34
4.3 Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 σε πόλεις της Βόρειας Ευρώπης	53
4.4 Σύγκριση συγκεντρώσεων σωματιδίων PM2,5 και PM10 ανάμεσα στις πόλεις της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης	67
Κεφάλαιο 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	72
Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία	74

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Ενδιάμεσα βήματα σύμφωνα με τον ΠΟΥ για την επίτευξη της τελικής αποδεκτής τιμής συγκέντρωσης σε PM _{2,5} στον αέρα (13).	21
Πίνακας 3.2: Θεωρητικά οφέλη για την υγεία, όσον αφορά τη μείωση των πρόωρων θανάτων, που θα είχαν επιτευχθεί για την ΕΕ-27 το 2019, εάν οι διαφορετικές οριακές τιμές της ΕΕ και οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για τα PM _{2,5} είχαν τηρηθεί σε ολόκληρη την Ευρώπη (13).	24
Πίνακας 3.3: Συγκέντρωση σε PM _{2,5} και πρόωροι θάνατοι λόγω των PM _{2,5} για τις χώρες της Ευρώπης με τη χειρότερη επίδοση (13).	26
Πίνακας 3.4: Συγκέντρωση σε PM _{2,5} και πρόωροι θάνατοι λόγω των PM _{2,5} για τις χώρες της Ευρώπης με τη καλύτερη επίδοση (13).	26
Πίνακας 3.5: Χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πρόωρων θανάτων λόγω των PM _{2,5} (13).....	27
Πίνακας 3.6: Χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους λόγω των PM _{2,5} (13).	28
Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση της ποιότητας του αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (30).	34
Πίνακας 4.2: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Αθήνας.....	34
Πίνακας 4.3: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Θεσσαλονίκης.	35
Πίνακας 4.4: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Πάτρας.....	36
Πίνακας 4.5: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για τη Σόφια...37	
Πίνακας 4.6: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για τη Φιλιππούπολη.....	38
Πίνακας 4.7: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Ρώμης.	39
Πίνακας 4.8: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Μιλάνο.	40
Πίνακας 4.9: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Τορίνο.	41
Πίνακας 4.10: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Νάπολη.	42
Πίνακας 4.11: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Παλέρμο.....	43
Πίνακας 4.12: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Μαδρίτη.....	44
Πίνακας 4.13: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM ₁₀ για τη Βαρκελώνη.	45

Πίνακας 4.14: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Βαλένθια.	46
Πίνακας 4.15: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για την πόλη της Σεβίλλης.	47
Πίνακας 4.16: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για την Τενερίφη.....	48
Πίνακας 4.17: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Λισαβόνα.....	49
Πίνακας 4.18: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για την πόλη του Πόρτο.....	50
Πίνακας 4.19: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Μασσαλία.	51
Πίνακας 4.20: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για την πόλη της Τουλούζης.....	52
Πίνακας 4.21: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Ελσίνκι.	53
Πίνακας 4.22: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Όσλο.	55
Πίνακας 4.23: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Στοκχόλμη.	56
Πίνακας 4.24: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Γκέτεμποργκ.	57
Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για τη Κοπεγχάγη.....	58
Πίνακας 4.26: Συγκεντρώσεις PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Ρέικιαβικ.....	58
Πίνακας 4.27: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Δουβλίνο.....	60
Πίνακας 4.28: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Λονδίνο.....	61
Πίνακας 4.29: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Μάντσεστερ.....	62
Πίνακας 4.30: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Άμστερνταμ.	63
Πίνακας 4.31: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Ρότερνταμ.....	64
Πίνακας 4.32: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Βερολίνο.	65
Πίνακας 4.33: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το Αμβούργο.	66

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3-1: Πρόωροι θάνατοι που αποδίδονται στα PM _{2,5} στην ΕΕ-27 την περίοδο 2005-2019 και η απόσταση από τον στόχο μείωσης κατά 55% στα επίπεδα του 2005 των πρόωρων θανάτων (12).....	20
Σχήμα 3-2: Κατανομή της έκθεσης του πληθυσμού στα PM _{2,5} για διάφορα σενάρια (15)....	25
Σχήμα 3-3: Σχέση ανάμεσα στα χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους και στη συγκέντρωση σε PM _{2,5}	28
Σχήμα 4-1: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης των Αθηνών που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.....	35
Σχήμα 4-2: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης της Θεσσαλονίκης που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.	36
Σχήμα 4-3: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης στη Σόφια που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.....	37
Σχήμα 4-4: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης για τη Φιλιππούπολη που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.....	38
Σχήμα 4-5: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Ρώμης.....	39
Σχήμα 4-6: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για τους σταθμούς μέτρησης της πόλης του Μιλάνο.....	40
Σχήμα 4-7: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Τορίνο.....	41
Σχήμα 4-8: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για το σύνολο των σταθμών μέτρησης της Νάπολη.....	42
Σχήμα 4-9: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης του Παλέρμο.	43
Σχήμα 4-10: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Μαδρίτης.	44
Σχήμα 4-11: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Βαρκελώνης.....	45
Σχήμα 4-12: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Βαλένθιας.....	46

Σχήμα 4-13: Καταγραφή συγκέντρωσης PM _{2,5} και PM ₁₀ για τους σταθμούς μέτρησης της Σεβίλλης.	47
Σχήμα 4-14: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Τενερίφης.....	48
Σχήμα 4-15: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Λισαβόνας.	49
Σχήμα 4-16: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Πόρτο.	50
Σχήμα 4-17: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Μασσαλίας.....	52
Σχήμα 4-18: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Τουλούζης.	53
Σχήμα 4-19: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Ελσίνκι.	54
Σχήμα 4-20: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Όσλο.	55
Σχήμα 4-21: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Στοκχόλμης.....	56
Σχήμα 4-22: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του	57
Σχήμα 4-23: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για τους σταθμούς μέτρησης του Ρέικιαβικ.....	59
Σχήμα 4-24: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Δουβλίνου.	60
Σχήμα 4-25: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για τους σταθμούς μέτρησης του Λονδίνου.	62
Σχήμα 4-26: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Μάντσεστερ.....	62
Σχήμα 4-27: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Άμστερνταμ.	64
Σχήμα 4-28: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Ρότερνταμ.....	65

Σχήμα 4-29: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Βερολίνου.....	66
Σχήμα 4-30: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM _{2,5} και PM ₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Αμβούργου.....	67
Σχήμα 4-31: Πηγές προέλευσης των PM _{2,5} και PM ₁₀ για διάφορες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο.....	69
Σχήμα 4-32: Τομείς που συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή PM ₁₀ για την Ολλανδία συνολικά καθώς και για τις πόλεις Rotterdam και Vredepeel.....	70

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Φωτογραφία του χωριού Bournville νότια του Μπέρμιγχαμ, 1926 (4).	5
Εικόνα 3.1: Σύγκριση του μεγέθους μίας ανθρώπινης τρίχας με τα PM10 και τα PM2,5 (10).	19
Εικόνα 3.2: Ποσοστό αποφυγής των πρόωρων θανάτων σε σχέση με το 2019 για κάθε χώρα της Ευρώπης εάν είχαν υιοθετηθεί οι προτάσεις του ΠΟΥ για τη συγκέντρωση των PM2,5 (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (11).	21

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα και θεωρείται υπεύθυνη όχι μόνο για την κλιματική αλλαγή αλλά και για προβλήματα στην ανθρώπινη ψυχική και σωματική υγεία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ανάλυση της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ σε μεγάλες πόλεις της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να γίνει μία εκτίμηση της ποιότητας του αέρα στην οποία εκτίθεται μεγάλη μερίδα του ευρωπαϊκού πληθυσμού. Αυτή η καταγραφή θα δώσει τη δυνατότητα εντοπισμού των πόλεων και των περιοχών με τη χειρότερη ποιότητα αέρα και οι οποίες θα πρέπει να λάβουν γρηγορότερα μέτρα για τη μείωση αυτών των σωματιδίων.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Αρχικά στην παρούσα εργασία δίνεται ο ορισμός της ρύπανσης σύμφωνα με την Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (1), ενώ στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στη ρύπανση σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (2). Η ρύπανση του περιβάλλοντος δεν είναι ένα σημερινό φαινόμενο. Για το λόγο αυτό γίνεται μία ιστορική αναδρομή (3), (4) με στόχο να παρουσιαστεί η εξέλιξή του μέχρι σήμερα. Παράλληλα παρουσιάζονται και οι δράσεις που πρέπει να αναλάβει η Ευρώπη για τη καταπολέμηση αυτού του προβλήματος (5)-(6).

Στη συνέχεια η εργασία επικεντρώνεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και παρουσιάζονται τα προβλήματα που αυτή προκαλεί στο κλίμα, στα μνημεία, στην ανθρώπινη υγεία και οικονομία ενώ παράλληλα εντοπίζονται οι χώρες με την καλύτερη και με τη χειρότερη ποιότητα αέρα (7)-(28).

Επιπρόσθετα, η ανάλυση που αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ σε μεγάλες πόλεις της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης πραγματοποιήθηκε από δεδομένα που προήλθαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος (29), (30) ενώ πληροφορίες για

τις πιθανές πηγές των εκπομπών σωματιδίων αντλήθηκαν από την εργασία των Karagulian κ.α. (31). Ακόμη από την (32) αντλούνται στοιχεία σχετικά με το ποσοστό χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις χώρες της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης ενώ στην (33) γίνεται αναφορά στην παλαιότητα των οχημάτων. Τέλος στις (31), (34) και (35) δίνονται επιπλέον στοιχεία σχετικά με την προέλευση των σωματιδίων για διάφορες πόλεις και περιοχές ανά τον κόσμο.

1.3 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο αυτής της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα: Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στις αιτίες της ρύπανσης, μία ιστορική αναδρομή σχετικά με το πώς έχει εξελιχθεί η ρύπανση ενώ παράλληλα γίνεται και μία παρουσίαση της ευρωπαϊκής πολιτικής πάνω σε αυτό το θέμα.

Στο Κεφάλαιο 3 η εργασία επικεντρώνεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση και πιο συγκεκριμένα στα προβλήματα που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία τα σωματίδια PM_{2,5} και PM₁₀. Επίσης, παρουσιάζονται οι ευρωπαϊκές χώρες με την χαμηλότερη και οι ευρωπαϊκές χώρες με την υψηλότερη συγκέντρωση αυτών των σωματιδίων.

Στο Κεφάλαιο 4 υπολογίζεται η μέση ετήσια συγκέντρωση σε PM_{2,5} και PM₁₀ για πόλεις της Νότιας και Βόρειας Ευρώπης και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 γίνεται καταγραφή των κυριότερων συμπερασμάτων που προέκυψαν από την εργασία καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

2.1 Παράγοντες που συμβάλλουν στη ρύπανση του ευρωπαϊκού φυσικού περιβάλλοντος

Σύμφωνα με την «ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ» της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 ως ρύπανση ορίζεται η «άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στην ατμόσφαιρα, το νερό ή το έδαφος, ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, ουσιών, κραδασμών, θερμότητας ή θορύβου που ενδέχεται να θίξουν την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον, να υποβαθμίσουν υλικά αγαθά, να παραβιάσουν ή να εμποδίσουν την ψυχαγωγική λειτουργία καθώς και τις άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος» (1).

Οι κυριότερες μορφές της ρύπανσης είναι:

- Θαλάσσια ρύπανση
- Ατμοσφαιρική ρύπανση
- Ρύπανση του εδάφους
- Ρύπανση των υδάτων
- Ηχορύπανση

Κάποιοι τομείς οι οποίοι συμβάλλουν στη ρύπανση του περιβάλλοντος στην Ευρώπη είναι οι εξής (2):

- Ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 45% των οξειδίων του αζώτου (NO_x) στην Ευρώπη. Επίσης, η μεγαλύτερη πηγή ηχορύπανσης είναι η οδική κυκλοφορία, τα υψηλά επίπεδα θορύβου της οποίας, επηρεάζουν πάνω από 100000000 άτομα στην Ευρώπη.
- Τις μεγαλύτερες πηγές οξειδίων του θείου SO_x αλλά και σημαντική πηγή NO_x αποτελούν οι διεργασίες που σχετίζονται με την παραγωγή και διανομή ενέργειας.
- Ο αγροτικός τομέας είναι υπεύθυνος για το 90% των συνολικών εκπομπών αμμωνίας στην Ευρώπη. Επίσης είναι υπεύθυνος και σε ποσοστό της τάξης του 20% για τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην του μεθανίου (NMVOC), όπως του βενζολίου και της αιθανόλης. Επιπροσθέτως, οι μη φιλικές προς το περιβάλλον γεωργικές πρακτικές οδηγούν σε μόλυνση του εδάφους, των υδάτων, της ατμόσφαιρας και των τροφίμων, την εκμετάλλευση

σε υπερβολικό βαθμό των φυσικών πόρων αλλά και στη μείωση της βιοποικιλότητας και στη συνολική υποβάθμιση του οικοσυστήματος.

- Η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης οικιών, εμπορικών και διοικητικών κτηρίων είναι υπεύθυνη για την παραγωγή του 53% των σωματιδίων PM_{2,5}. Τα νοικοκυριά επίσης αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης των υδάτων.
- Η παραγωγή και η μη εφαρμογή ορθών πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων έχουν μερίδιο ευθύνης για την ατμοσφαιρική ρύπανση, για τη μόλυνση του εδάφους και των υδάτων (π.χ. θαλάσσιων υδάτων) ενώ παράλληλα έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο οικοσύστημα.

2.2 Ιστορική αναδρομή της ρύπανσης στον ευρωπαϊκό χώρο

Η ρύπανση δεν αποτελεί νέο φαινόμενο και στην πραγματικότητα, είναι ένα πρόβλημα που ξεκινάει από την αρχή της ανθρώπινης ιστορίας. Αρχική αιτία της ρύπανσης αποτελούσε ο ολοένα και αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός στις πόλεις. Η ρύπανση σε συνδυασμό με την έλλειψη βασικών κανόνων υγιεινής «άνοιξε την πόρτα» σε βακτήρια και ασθένειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίοδος του Μεσαίωνα όπου ασθένειες όπως η χολέρα και ο τύφος ξέσπασαν σε όλη την Ευρώπη. Το 1347, το βακτήριο «Yersinia pestis», που μεταφέρθηκε από αρουραίους και εξαπλώθηκε από ψύλλους, προκάλεσε τη βουβωνική πανώλη (3). Μέχρι το 1800, οι άνθρωποι άρχισαν να καταλαβαίνουν ότι οι ανθυγιεινές συνθήκες διαβίωσης και η μόλυνση του νερού ήταν υπεύθυνες για αυτές τις επιδημίες. Αυτός ήταν και ο λόγος που ώθησε τις μεγάλες πόλεις να λάβουν μέτρα για τον έλεγχο των απορριμμάτων και των λυμάτων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1850, το Σικάγο κατασκεύασε το πρώτο μεγάλο σύστημα αποχέτευσης στις Ηνωμένες Πολιτείες για την επεξεργασία των λυμάτων. Σύντομα και άλλες πόλεις των ΗΠΑ ακολούθησαν το παράδειγμα του Σικάγου (3). Καθώς οι πόλεις γίνονταν πιο πυκνοκατοικημένες προς το τέλος του 19ου αιώνα, οι πόλεις στις οποίες η βιομηχανία είχε γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη στην Ευρώπη και στις Ηνωμένες Πολιτείες βίωναν ένα νέο είδος ρύπανσης: τη ρύπανση που προκαλούσαν τα απόβλητα από τις βιομηχανίες και τα εργοστάσια. Το 1897, μια έκθεση προς τη Βασιλική Επιτροπή για τη ρύπανση των ποταμών περιγράφει τη βαριά βιομηχανική μόλυνση του ποταμού Tawe στην Ουαλία, σημειώνοντας ότι είχε μολυνθεί από « χαλκό, υγρό θειικού οξέος, θειικό σίδηρο, κασσίτερο, από σκωρίες, στάχτες και κάρβουνα» (3).

Η πρώτη εκτεταμένη μορφή ρύπανσης εμφανίστηκε με την υιοθέτηση του άνθρακα ως καυσίμου για βιομηχανικούς κλιβάνους και κινητήρες. Στη Μεγάλη Βρετανία, από τον 17ο αιώνα και μετά, ο άνθρακας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τόσο σε οικίες όσο και σε εργοστάσια αργότερα για την κατασκευή γυαλιού, πλακιδίων, τούβλων και ασβέστη (4). Μετά το 1770, με τη χρήση τεχνικών με τις οποίες αφαιρούταν από τον άνθρακα το θείο, τον κατέστησαν κατάλληλο για χρήση στη μεταλλουργία, ενώ οι ατμομηχανές προσαρμόστηκαν για νέες βιομηχανικές χρήσεις με το συμπυκνωτή του James Watt (4). Ο καπνός από τον άνθρακα ήταν πυκνός και πλούσιος σε θείο, υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα και CO₂. Αυτό οδήγησε σε τεράστια αύξηση της συγκέντρωσης σωματιδίων στις βρετανικές πόλεις. Η υιοθέτηση του άνθρακα στην ηπειρωτική Ευρώπη μετά το 1800, καθώς και η εκβιομηχάνιση των πόλεων έκανε πιο έντονο αυτό το πρόβλημα στις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές πόλεις του 19ου αιώνα (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Φωτογραφία του χωριού Bournville νότια του Μπέρμιγχαμ, 1926 (4).

Η ρύπανση έγινε ακόμα μεγαλύτερη με τη χρήση αερίου για φωτισμό (1815 στο Λονδίνο) το οποίο παραγόταν μέσω της απόσταξης άνθρακα. Επίσης οι τομείς της μεταλλουργίας και κλωστοϋφαντουργίας απαιτούσαν τη χρήση διάφορων χημικών προϊόντων (αμμωνιακό άλας, οξέα, αντιμόνιο, στυπτηρία κ.λπ.) των οποίων η ζήτηση αυξήθηκε απότομα στα τέλη του 18ου αιώνα (4). Το θειικό οξύ, παράχθηκε με επιτυχία σε βιομηχανική κλίμακα τη δεκαετία του 1760 μετά την ανάπτυξη της τεχνικής της συμπύκνωσης αερίου χρησιμοποιώντας μεγάλους θαλάμους από πολυστρωματικό μόλυβδο. Στο Λονδίνο, τη Ρουέν και το Παρίσι, τους τρεις κορυφαίους τόπους παραγωγής πριν από το 1780, δοκιμές

αποκάλυψαν το τεράστιο πρόβλημα στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία που προκαλείται από αυτή τη βιομηχανική δραστηριότητα λόγω των διαβρωτικών αερίων που παράγονται (4). Μετά το 1800, το θειικό οξύ επέτρεψε την παραγωγή τεχνητής σόδας από θαλασσινό αλάτι η οποία βρήκε εκτεταμένη χρήση στη βιομηχανία γυαλιού και σαπουνιού. Αυτή η τεχνική είχε ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων όγκων υδροχλωρικού οξέος. Αυτό οδήγησε στην καταστροφή χωραφιών γύρω από το Παρίσι και τη Μασσαλία, το Λίβερπουλ και τη Λιέγη, αποτελώντας μέχρι το 1880 την πιο καταστροφική πηγή περιβαλλοντικής ρύπανσης στην Ευρώπη (4).

Οι γρήγοροι ρυθμοί ανάπτυξης της βιομηχανίας σε συνδυασμό με τη δημογραφική ανάπτυξη και την αύξηση της κατανάλωσης οδήγησε σε αύξηση της ρύπανσης. Στα μέσα του 19ου αιώνα, η ατμόσφαιρα των πόλεων ήταν κορεσμένη από βιομηχανική σκόνη, ενώ τα ποτάμια μετατράπηκαν σε αποχετεύσεις και μερικές φορές ακόμη και σε αστικούς υπονόμους (4). Η κατασκευή των σιδηροδρόμων άλλαξε τη γεωγραφία της ρύπανσης καθώς αναπτύχθηκαν βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε νέες περιοχές. Μετά το 1860, η ανάπτυξη της καρβοχημείας οδήγησε σε ένα νέο είδος ρύπανσης που συνδέεται με την παραγωγή συνθετικών προϊόντων (4). Η Γερμανία έγινε η κύρια χώρα παραγωγής για τεχνητές βαφές που χρησιμοποιούνται στην κλωστοϋφαντουργία. Μεταξύ 1870 και 1900, η ρύπανση του Ρήνου έφτασε σε δραματικά επίπεδα. Μετά το 1900, η ανάπτυξη και διάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας αναδιαμόρφωσε τα συστήματα παραγωγής οδηγώντας στη σταδιακή εξαφάνιση της βιομηχανίας φωτισμού με τη χρήση αερίου, των ατμομηχανών και της θέρμανσης με βάση τον άνθρακα. Η ρύπανση που σχετίζεται με τον άνθρακα μεταφέρθηκε στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, αυτή η φαινομενική μείωση της αστικής ρύπανσης αντισταθμίστηκε από τη γέννηση της πετροχημείας (4).

Ο πρώτος νόμος για τα ρυπογόνα εργοστάσια εγκρίθηκε το 1810 στη Γαλλία και στη συνέχεια επεκτάθηκε στην υπόλοιπη ηπειρωτική Ευρώπη (4). Η Μεγάλη Βρετανία ακολούθησε μετά το 1863. Αυτός ο νόμος έδωσε την εξουσία σε διοικητικές αρχές να ελέγχουν τη μόλυνση του περιβάλλοντος από διάφορες βιομηχανίες ωστόσο δεν τους έδινε το δικαίωμα να προχωρήσουν σε νομικές διαδικασίες εναντίον τους (4). Παρά τις αλλαγές που έγιναν σε αυτόν το νόμο, αυτός συνέχισε να ισχύει καθ' όλη τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Ενώ η ΕΕ ξεκίνησε πολλά προγράμματα για την καταπολέμηση της ρύπανσης μετά το 1960, το μοντέλο που εφαρμόστηκε το 19ο αιώνα, το οποίο εμποδίζει την αντιμετώπιση της ρύπανσης στην πηγή της δεν άλλαξε (4). Αυτό είχε σαν συνέπεια τα μέτρα αυτά να μην έχουν

σημαντικά αποτελέσματα. Επίσης, λόγω του ότι πολλές παραγωγικές μονάδες που συνδέονται με την ευρωπαϊκή κατανάλωση μεταφέρθηκαν στην Ασία, η γεωγραφία της μόλυνσης του περιβάλλοντος αλλάζει καθώς επιβαρύνεται μία άλλη περιοχή του πλανήτη για να συντηρήσει τον ευρωπαϊκό τρόπο ζωής και κατανάλωσης.

2.3 Ευρωπαϊκή πολιτική για τη μόλυνση του περιβάλλοντος

2.3.1 Προκλήσεις για τη μετάβαση προς μία «πράσινη» Ευρώπη

Μέσω της περιβαλλοντικής της πολιτικής, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει συμβάλλει στη βελτίωση της ζωής των Ευρωπαίων από το 1972. Σήμερα, ο στόχος της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ είναι να διασφαλίσει ότι μέχρι το 2050 θα ζούμε σε ένα πλανήτη με χαμηλά επίπεδα ρύπανσης. Για να το πετύχει αυτό προσπαθεί να κινηθεί προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποδοτική από πλευράς πόρων. Με αυτόν τον τρόπο διαφυλάσσεται η βιοποικιλότητα και η προστασία της ανθρώπινης υγείας. Αν και αυτή η πολιτική έχει αποφέρει κάποια σημαντικά αποτελέσματα (όπως ένα ευρύ δίκτυο Natura το οποίο περιλαμβάνει 2000 προστατευόμενες περιοχές, χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αυξημένη ανακύκλωση πόρων και καθαρότερο αέρα και νερό), οι προοπτικές για το ευρωπαϊκό περιβάλλον σε 20 χρόνια από τώρα δείχνουν μια πιο ζοφερή εικόνα. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος επισημαίνει μία σειρά από προκλήσεις (5):

- Όσον αφορά τη βιοποικιλότητα, το 60% των προστατευόμενων ειδών και το 77% των οικοτόπων που αξιολογούνται βρίσκονται σε δυσμενή κατάσταση με την Ευρώπη να μη βρίσκεται σε καλό δρόμο για την επίτευξη των στόχων της σχετικά με την ανάσχεση της απώλειας της βιοποικιλότητας.
- Το 60% του γλυκού νερού της Ευρώπης δεν πληροί την ποιότητα που ορίζεται στη νομοθεσία της ΕΕ.
- Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να έχει δραματικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή.
- Όσον αφορά την κυκλική οικονομία και την οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, οι τρέχουσες πολιτικές δεν είναι επαρκείς ώστε η Ευρώπη να

επιτύχει τους μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς της στόχους, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80% έως 95%.

- Στο κομμάτι της ανθρώπινης υγείας και ευημερίας, οι προβλεπόμενες βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα δεν επαρκούν για την πρόληψη των προβλημάτων που προκαλούν στον άνθρωπο. Η αυξανόμενη χρήση χημικών, ιδιαίτερα σε καταναλωτικά προϊόντα, έχει συσχετιστεί με παρατηρούμενη αύξηση των ενδοκρινικών ασθενειών και διαταραχών στον άνθρωπο.

Ακόμη η μετάβαση στη βιωσιμότητα θα μπορούσε να αποφέρει πολλά οφέλη πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος. Αυτά τα οφέλη μπορεί να αφορούν θέσεις εργασίας, την οικονομική δραστηριότητα, την ευημερία και την υγεία. Όσον αφορά τον τομέα της οικονομίας, τα στοιχεία της Eurostat δείχνουν ότι στην ΕΕ, 4,2 εκατομμύρια άνθρωποι απασχολούνται στον τομέα των περιβαλλοντικών αγαθών και υπηρεσιών (π.χ. σε δραστηριότητες προστασίας του περιβάλλοντος και διαχείρισης νερού και ενέργειας), σημειώνοντας αύξηση 49% από το 2000. Η συμβολή αυτού του τομέα εκτιμάται σε 5,1% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ), ή 710 δισεκατομμύρια ευρώ. Μια έκθεση του 2017 του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) σημειώνει ότι οι φιλόδοξες πολιτικές για την κλιματική αλλαγή μπορούν να έχουν θετικό αντίκτυπο στις θέσεις εργασίας (5). Εκτιμάται ότι η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία θα μπορούσε να αυξήσει το ΑΕΠ κατά 1 έως 7 ποσοστιαίες μονάδες έως το 2030, ανάλογα με τον ρυθμό της τεχνολογικής αλλαγής.

Σε δημοσκόπηση που διενεργήθηκε για το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, τα τρία τέταρτα των πολιτών της ΕΕ έδειξαν την υποστήριξή τους για ανάληψη μεγαλύτερης δράσης από την ΕΕ για την προστασία του περιβάλλοντος (5). Ωστόσο υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα Κράτη- Μέλη. Για παράδειγμα, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, οι χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης είναι λιγότερο υποστηρικτικές στη μεγαλύτερη συμμετοχή της ΕΕ στις περιβαλλοντικές πολιτικές σε σχέση με τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Το χαμηλότερο ποσοστό το οποίο είναι της τάξεως του 52% παρουσιάζεται στην Εσθονία ενώ Κύπρος (87%) και Πορτογαλία (88%) παρουσιάζουν το μεγαλύτερο (5). Από το 2014, έχουν γίνει προσπάθειες σε διάφορους τομείς, όπως στη διαχείριση των απορριμμάτων με μέτρα που αφορούν τον περιορισμό στη χρήση των πλαστικών και στην επίτευξη μεγαλύτερων ρυθμών ανακύκλωσης, στο κλίμα με μέτρα που αφορούν τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030 και με μέτρα για την απαλλαγή των μεταφορών από τον άνθρακα μέσω της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων, τη φύση κυρίως μέσω της βελτίωσης της

νομοθεσίας της ΕΕ που διέπει τη βιοποικιλότητα και την ποιότητα του αέρα και τη θέσπιση νέων κανόνων, οι οποίοι θέτουν όρια στην εκπομπή βασικών αέριων ρύπων από τα κράτη μέλη της. Στο μέλλον, οι δαπάνες της ΕΕ για το περιβάλλον και το κλίμα αναμένεται να αυξηθούν (5). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προτείνει να αυξηθεί το μερίδιο των δαπανών της ΕΕ που συμβάλλουν στους στόχους για το κλίμα από 20% σε 25%, ενώ το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ζήτησε αυτό το ποσοστό να φτάσει στο 30%. Τα επόμενα χρόνια αναμένονται οι πολιτικές να επικεντρωθούν στη δράση για το κλίμα, την προστασία της φύσης, την ποιότητα του αέρα, την κυκλική οικονομία και την ορθή χρήση φυτοφαρμάκων (5).

2.3.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο

Η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική χρονολογείται από το 1972. Οι διατάξεις για την προστασία του περιβάλλοντος εισήχθησαν με την Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη το 1987 και στη συνέχεια επεκτάθηκαν. Σύμφωνα με τα άρθρα 191-193 της Συνθήκης για τη Λειτουργία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η περιβαλλοντική πολιτική της ΕΕ βασίζεται σε τέσσερις αρχές: προφύλαξη, προληπτική δράση, αποκατάσταση των ζημιών και στην αρχή ότι «ο ρυπαίνων πληρώνει» (5). Επίσης είναι αρμόδια να ενεργεί στους περισσότερους τομείς της περιβαλλοντικής πολιτικής, αν και η δράση της περιορίζεται από την αρχή της επικουρικότητας (η οποία ορίζει τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες η Ένωση έχει προτεραιότητα δράσης έναντι των κρατών μελών της σε τομείς που δεν υπάγονται στην αποκλειστική αρμοδιότητά της) και την απαίτηση για ομοφωνία στο Συμβούλιο για ορισμένα θέματα (φόροι, χρήση γης και ενεργειακό μείγμα). Τα κράτη μέλη μπορούν να θεσπίσουν αυστηρότερα προστατευτικά μέτρα εάν το επιθυμούν. Η νομοθεσία της ΕΕ για την προστασία του περιβάλλοντος σχετίζεται με μεγάλη ποικιλία θεμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν τους ακόλουθους τομείς (5):

- Αέρας: Η νομοθεσία της ΕΕ ορίζει πρότυπα ποιότητας του αέρα, ανώτατα όρια για τους ρύπους που εκπέμπονται από τα κράτη μέλη και κανόνες για τις πηγές των εκπομπών, καθώς και πρότυπα που αφορούν τα οχήματα.
- Χημικές ουσίες: Η νομοθεσία της ΕΕ αποσκοπεί στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος με τη θέσπιση ρυθμιστικών πλαισίων που αφορούν τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα και στα φυτοφάρμακα.

- Κλίμα: Όσον αφορά τη δράση για το κλίμα, η ΕΕ έχει ξεκινήσει δράσεις με στόχο να περιορίσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από εργοστάσια και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, από τις οδικές μεταφορές κ.α.
- Βιοποικιλότητα: Η ΕΕ έχει δημιουργήσει το δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000, το οποίο καλύπτει το 18% της χερσαίας έκτασης της Ένωσης.
- Απόβλητα: Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων η ΕΕ εστιάζει στη μεγαλύτερη υιοθέτηση της ανακύκλωσης, κάτι που θα έχει ως τελικό στόχο τη δημιουργία, στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό, της κυκλικής οικονομίας. Σε μια τέτοια οικονομία τα προϊόντα στο τέλος της ζωής τους είτε θα ανακυκλώνονται είτε θα επαναχρησιμοποιούνται, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο σε σημαντικό βαθμό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ανθρώπινης δραστηριότητας.
- Ύδατα: Τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν θεσπίσει πρότυπα για το πόσιμο νερό και το νερό για οικιακή χρήση γενικότερα καθώς και μέτρα που αφορούν την προστασία των υδάτων (θαλασσιών, υπογείων κλπ.). Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η προστασία της ανθρώπινης υγείας καθώς και της βιοποικιλότητας των υδάτων.

Η ΕΕ είναι επίσης συμβαλλόμενο μέρος σε μια σειρά διεθνών συμφωνιών (5):

- Στη Σύμβαση του Aarhus του 1998 που αφορά την πρόσβαση στην πληροφόρηση και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη για περιβαλλοντικά θέματα.
- Σχετικά με την ποιότητα του αέρα, είναι συμβαλλόμενο μέρος στη σύμβαση για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Όσον αφορά το κλίμα, συμμετέχει στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή και στη Συμφωνία του Παρισιού.
- Όσον αφορά τη χρήση χημικών, συμμετέχει στη Σύμβαση του Ρότερνταμ για το εμπόριο επικίνδυνων χημικών προϊόντων, στη Σύμβαση της Στοκχόλμης για τους έμμονους οργανικούς ρύπους, στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για τις ουσίες που προκαλούν την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και στη σύμβαση της Μιναμάτα που αφορά τον υδράργυρο.

- Για τη προστασία της Βιοποικιλότητας συμμετέχει στη Σύμβαση για τη Βιοποικιλότητα και στη Σύμβαση για το Διεθνές Εμπόριο Απειλούμενων Ειδών Άγριας Πανίδας και Χλωρίδας (CITES).
- Για τα απόβλητα, συμμετέχει στη Σύμβαση της Βασιλείας που αφορά τη διαχείριση και την προστασία από τα επικίνδυνα απόβλητα.
- Για την προστασία των υδάτων συμμετέχει στη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από Πλοία (MARPOL) και σε μια σειρά από συμβάσεις για τις περιφερειακές θάλασσες.

2.3.3 Οικονομικό πλαίσιο

Σύμφωνα με τη συμφωνία για το πολυετές δημοσιονομικό πλαίσιο για την περίοδο 2014 έως 2020, τουλάχιστον το 20% (περίπου 180 δισεκατομμύρια ευρώ) του προϋπολογισμού της ΕΕ δαπανήθηκε για δράσεις που σχετίζονται με το κλίμα. Ως εκ τούτου, οι στόχοι και η δράση για το κλίμα έχουν ενσωματωθεί στις μεγάλες πολιτικές και στα προγράμματα της ΕΕ (5). Αυτά τα προγράμματα περιλαμβάνουν τα ευρωπαϊκά διαρθρωτικά και επενδυτικά ταμεία, το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων, το Ευρωπαϊκό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης, τα προγράμματα LIFE και Horizon 2020, τον Μηχανισμό Πολιτικής Προστασίας της Ένωσης, καθώς και πολυάριθμες πρωτοβουλίες δράσης και ανθρωπιστικής βοήθειας (5). Αυτά τα κονδύλια και τα προγράμματα υλοποιούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή από κοινού με τα κράτη μέλη και σε συνεργασία με οργανισμούς από τρίτες χώρες. Από το 2014, χρησιμοποιείται ειδική μεθοδολογία παρακολούθησης του προϋπολογισμού της ΕΕ στους τομείς της προστασίας του κλίματος και της βιοποικιλότητας.

2.3.4 Μελλοντικές δράσεις

Η έκθεση «Ευρωπαϊκό περιβάλλον – κατάσταση και προοπτικές το 2020» (SOER) αναφέρει βασικούς τομείς στους οποίους απαιτείται να ληφθούν μέτρα έτσι ώστε η Ευρώπη να πετύχει τους στόχους σχετικά με το περιβάλλον για το 2030 και το 2050. Αυτοί οι τομείς είναι οι εξής (6):

1. Πλήρης εφαρμογή και εκμετάλλευση των υφιστάμενων περιβαλλοντικών πολιτικών.

2. Ανάπτυξη πολιτικής δράσης χαρακτηριστικό της οποίας θα είναι να θέσει μακροπρόθεσμους δεσμευτικούς στόχους σε τομείς που ασχολούνται με τη παραγωγή τροφίμων, τα χημικά και τη γη.
3. Η ΕΕ θα πρέπει να προωθήσει και να συμμετέχει σε διεθνείς συμφωνίες σε τομείς όπως η βιοποικιλότητα, η ορθή χρήση των φυσικών πόρων, η κλιματική αλλαγή κ.α.
4. Ενθάρρυνση της κοινωνίας για καινοτόμες ιδέες οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψη τους και το περιβαλλοντικό κόστος.
5. Αύξηση των επενδύσεων με αξιοποίηση των δημόσιων πόρων για τη χρηματοδότηση περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμων λύσεων και στήριξη των πληττόμενων κλάδων και περιφερειών.
6. Διασφάλιση της κοινωνικά δίκαιης μετάβασης σε μία <<πράσινη>> κοινωνία χωρίς κανείς να μένει πίσω.

Όσον αφορά τις νομοθετικές ρυθμίσεις αυτές μπορεί να είναι για την επίτευξη των μελλοντικών στόχων (5):

- Όσον αφορά την κυκλική οικονομία, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κάλεσε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να προτείνει νέους κανόνες για να διασφαλίσει ότι τα προϊόντα θα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, θα είναι εύκολα επισκευάσιμα και ανακυκλώσιμα και να ενθαρρύνει τα επιχειρηματικά μοντέλα που ασχολούνται με την κυκλική οικονομία. Όσον αφορά τα χημικά, στο πλαίσιο της συζήτησης σχετικά με την έγκριση φυτοπροστατευτικών προϊόντων, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο κάλεσε την Επιτροπή να προτείνει επικαιροποιημένη νομοθεσία για την αύξηση της διαφάνειας στις διαδικασίες αδειοδότησης και την προώθηση φυτοφαρμάκων χαμηλού κινδύνου.
- Σχετικά με την ποιότητα του αέρα, μετά τη δημοσίευση των ενημερωμένων κατευθυντήριων γραμμών για την ποιότητα του αέρα από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την αναθεώρηση της νομοθεσίας για την ποιότητα του αέρα σε εξωτερικούς χώρους, ενδέχεται να ενημερωθεί η νομοθεσία με τα νέα αυτά πρότυπα.

Επιπλέον, αναμένονται πρωτοβουλίες στους ακόλουθους τομείς (5):

- Στον τομέα της κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να δοθεί έμφαση στην εφαρμογή της εγκριθείσας νομοθεσίας για την περίοδο 2020-2030 στην προσπάθεια για μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία.

- Για την προστασία της βιοποικιλότητας, η Επιτροπή ενδέχεται να προτείνει μια νέα στρατηγική, η οποία θα καθορίζει τους στόχους όχι μόνο για τη βιοποικιλότητα αλλά και για τη γενικότερη μελλοντική περιβαλλοντική πολιτική της ΕΕ.

Κεφάλαιο 3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

3.1 Γενικά για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα για την ανθρώπινη υγεία και μαζί με την κλιματική αλλαγή αποτελούν τις μεγαλύτερες ανησυχίες σχετικά με το περιβάλλον για τους Ευρωπαίους. Πρόκειται για ένα διαχρονικό πρόβλημα το οποίο χρήζει αποτελεσματικής αντιμετώπισης καθώς η κακή ποιότητα του αέρα θεωρείται υπεύθυνη για διάφορες αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει τα κράτη μέλη στη λήψη των κατάλληλων μέτρων και ταυτόχρονα προσπαθεί με διάφορες πρωτοβουλίες να ενισχύσει τη συνεργασία μαζί τους. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει επίσης ξεκινήσει διαδικασίες εναντίον πολλών κρατών μελών που παραβιάζουν τα πρότυπα ποιότητας του αέρα, ενώ τόσο οι εθνικές όσο και οι τοπικές κυβερνήσεις έρχονται αντιμέτωπες με πολυάριθμες αγωγές που υποβάλλονται από μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ) και ομάδες πολιτών (7).

Η αποτελεσματική δράση για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπτώσεών της απαιτεί καλή κατανόηση των πηγών της, στο πώς οι ρύποι μεταφέρονται και μετασχηματίζονται στην ατμόσφαιρα, πώς η χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας αλλάζει με την πάροδο του χρόνου και πώς οι ρύποι επηρεάζουν τον άνθρωπο, τα οικοσυστήματα, το κλίμα, την κοινωνία και την οικονομία. Για να περιοριστεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι απαραίτητη η συνεργασία και η συντονισμένη δράση σε διεθνές, εθνικό και τοπικό επίπεδο, σε συνδυασμό με άλλες περιβαλλοντικές και κλιματικές πολιτικές. Απαιτούνται επίσης ολιστικές λύσεις που περιλαμβάνουν τεχνολογικές εξελίξεις, δομικές αλλαγές και αλλαγές συμπεριφοράς, μαζί με μια ολοκληρωμένη διεπιστημονική προσέγγιση (7). Αν και η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει ολόκληρο τον πληθυσμό, ορισμένες ομάδες είναι πιο ευάλωτες. Αυτές οι ομάδες είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες γυναίκες και τα άτομα με προϋπάρχοντα προβλήματα υγείας (7). Επίσης οι άνθρωποι με χαμηλά εισοδήματα είναι πιο πιθανό να ζουν δίπλα σε πολυσύχναστους δρόμους ή βιομηχανικές περιοχές και έτσι αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ενεργειακή φτώχεια, η οποία είναι πιο διαδεδομένη στη Νότια και την Κεντρική-Ανατολική Ευρώπη, αποτελεί το

μεγαλύτερο παράγοντα που ωθεί στην καύση στερεών καυσίμων χαμηλής ποιότητας, όπως ο άνθρακας και το ξύλο για οικιακή θέρμανση. Αυτό οδηγεί σε υψηλή έκθεση του πληθυσμού χαμηλού εισοδήματος σε σωματίδια (PM) και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους (7). Επιπλέον, τα πιο άπορα άτομα στην κοινωνία αντιμετωπίζουν περισσότερα προβλήματα υγείας και έχουν δυσκολότερη πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας ιατρική φροντίδα, κάτι που τα κάνει ακόμα πιο ευάλωτα στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

3.2 Επιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης

3.2.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η κύρια αιτία πρόωρων θανάτων και ασθενειών και αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο για το περιβάλλον στην Ευρώπη. Είναι υπεύθυνη για περίπου 400000 πρόωρους θανάτους ετησίως στον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο (εξαιρουμένης της Τουρκίας) ως αποτέλεσμα της έκθεσης σε PM_{2,5} (σωματίδια με διάμετρο 2,5 μm ή μικρότερη) (8). Οι καρδιοπάθειες και τα εγκεφαλικά επεισόδια είναι οι πιο συνηθισμένες αιτίες πρόωρων θανάτων που αποδίδονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ακολουθούμενες από τις ασθένειες των πνευμόνων και τον καρκίνο του πνεύμονα. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο έχει χαρακτηρίσει την ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά, καθώς και τα μικροσωματίδια (PM) ως καρκινογόνα (8). Επιπλέον, η βραχυπρόθεσμη και μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη πνευμονική λειτουργία, λοιμώξεις του αναπνευστικού και επιδείνωση του άσθματος. Η έκθεση της γυναίκας στην ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με δυσμενείς επιπτώσεις στη γονιμότητα, την εγκυμοσύνη, τα νεογνά και τα παιδιά. Υπάρχουν επίσης στοιχεία που αναφέρουν ότι η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με διαβήτη τύπου 2 σε ενήλικες και μπορεί να συνδέεται με παχυσαρκία, χρόνια φλεγμονή, νόσο του Αλτσχάιμερ και άνοια.

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία εξαρτώνται όχι μόνο από την έκθεση σε αυτήν αλλά και από την ευαισθησία του κάθε ατόμου. Αυτή επηρεάζεται από την ηλικία, τις συνθήκες υγιεινής, τη διατροφή, τη σωματική δραστηριότητα και το κάπνισμα. Ένας μεγάλος όγκος στοιχείων υποδηλώνει ότι άτομα με χαμηλότερη κοινωνικοοικονομική

κατάσταση τείνουν να ζουν σε περιβάλλοντα με χειρότερη ποιότητα αέρα (7). Οι περισσότεροι ρύποι του εξωτερικού περιβάλλοντος εισέρχονται στα σπίτια, το χώρο εργασίας, τα σχολεία κλπ. και μπορούν να αντιδράσουν με τους ρύπους του εσωτερικού αέρα, κάτι που συνεπάγεται στο γεγονός ότι επιβλαβείς ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορεί να υπάρχουν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις σε εσωτερικούς χώρους από ότι σε εξωτερικούς χώρους (7). Καθώς οι Ευρωπαίοι περνούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους (πάνω από 90%) σε εσωτερικούς χώρους, η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση των εσωτερικών χώρων (συμπεριλαμβανομένων των χημικών) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας κινδύνου για την υγεία που πρέπει να ελεγχθεί και να μειωθεί (9).

3.2.2 Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει άμεσα τα φυσικά οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα (7). Για παράδειγμα, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου και αμμωνίας (NH_3) διαταράσσουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα εισάγοντας υπερβολικές ποσότητες θρεπτικού αζώτου. Αυτό οδηγεί σε ευτροφισμό, δηλαδή σε υπερπροσφορά θρεπτικών ουσιών και μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην ποικιλότητα των ειδών. Τα NO_x , μαζί με το διοξείδιο του θείου (SO_2) συμβάλλουν επίσης στην οξίνιση του εδάφους, των λιμνών και των ποταμών, προκαλώντας απώλεια της βιοποικιλότητας. Τέλος, το όζον στο επίπεδο του εδάφους (O_3) βλάπτει τις γεωργικές καλλιέργειες, τα δάση και τα φυτά μειώνοντας τους ρυθμούς ανάπτυξης και τις αποδόσεις τους και έχει αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα.

3.2.3 Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή είναι αλληλένδετες (7). Αρκετοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι επίσης παράγοντες που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τέτοιοι ρύποι μπορεί να είναι το τροποσφαιρικό O_3 , ο μαύρος άνθρακας, το μεθάνιο κ.α. Οι αλλαγές λόγω της κλιματικής αλλαγής μπορεί να αλλάξουν τη διασπορά και το σχηματισμό ρύπων στην ατμόσφαιρα και οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένο σχηματισμό O_3 . Καθώς τα αέρια του θερμοκηπίου και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μοιράζονται τις ίδιες κύριες πηγές εκπομπών, μπορεί να προκύψουν

πιθανά οφέλη από τον περιορισμό των εκπομπών του ενός ή του άλλου. Οι πολιτικές που στοχεύουν στη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων ενδέχεται να συμβάλουν στη διατήρηση της παγκόσμιας μέσης αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους δύο βαθμούς. Επιπλέον, οι κλιματικές πολιτικές που στοχεύουν στη μείωση της καύσης ορυκτών καυσίμων ή στη μείωση των εκπομπών μαύρου άνθρακα και μεθανίου συμβάλλουν στον περιορισμό της ζημιάς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

3.2.4 Επιπτώσεις στην πολιτιστική κληρονομιά

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει ζημιές σε περιουσίες, κτίρια και έργα τέχνης, συμπεριλαμβανομένων των πιο σημαντικών πολιτιστικών μνημείων και κτιρίων της Ευρώπης (7). Ο αντίκτυπος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί σοβαρή ανησυχία, διότι μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια τμημάτων της ευρωπαϊκής ιστορίας και πολιτισμού. Η ζημιά αυτή μπορεί να περιλαμβάνει διάβρωση (που προκαλείται από ενώσεις που προκαλούν οξύτητα), βιοαποικοδόμηση και ρύπανση (που προκαλείται από σωματίδια), φθορά και ξεθώριασμα των χρωμάτων (που προκαλείται από το O₃).

3.2.5 Οικονομικό αντίκτυπο ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία, τις αποδόσεις των καλλιεργειών και των δασών, τα οικοσυστήματα, το κλίμα και το δομημένο περιβάλλον συνεπάγονται επίσης σημαντικό οικονομικό κόστος (7). Αυτό το κόστος μπορεί να προέρχεται από τη μειωμένη παραγωγικότητα στην εργασία, τις πρόσθετες δαπάνες για την υγεία και τις απώλειες απόδοσης καλλιεργειών και δασών.

Μελέτη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (7) σχετικά με τον αντίκτυπο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην οικονομική δραστηριότητα της αγοράς στην Ευρώπη υπολόγισε ότι μια μείωση κατά 1 μg/m³ στην ετήσια μέση συγκέντρωση PM_{2,5} θα αυξήσει το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) της Ευρώπης κατά 0,8%, κάτι που αντιπροσωπεύει περίπου 200 ευρώ κατά κεφαλήν ετησίως (για το 2017). Από αυτήν την αύξηση του ΑΕΠ, το 95% θα είναι το αποτέλεσμα της αύξησης της παραγωγής ανά εργαζόμενο, λόγω μικρότερης απουσίας από την εργασία ή αυξημένης παραγωγικότητας

εξαιτίας της χαμηλότερης ατμοσφαιρικής ρύπανσης (7). Αυτή η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η θέσπιση πιο αυστηρών κανονισμών για την ποιότητα του αέρα δικαιολογείται από οικονομικής άποψης, καθώς τα άμεσα οικονομικά οφέλη από τις πολιτικές ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι πολύ μεγαλύτερα από το κόστος υιοθέτησης των μέτρων μείωσής της.

3.3 Αιωρούμενα σωματίδια

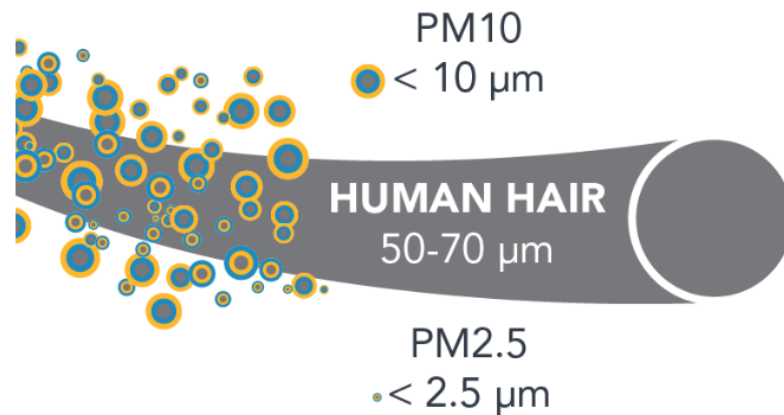
3.3.1 Σωματίδια PM10 και PM2.5

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) είναι ένα σύνθετο μείγμα στερεών και αερολυμάτων που βρίσκονται διασκορπισμένα στην ατμόσφαιρα (10). Τα σωματίδια ποικίλλουν ευρέως σε μέγεθος, σχήμα και χημική σύσταση και μπορεί να περιέχουν ανόργανα ιόντα, μεταλλικές ενώσεις, στοιχειακό άνθρακα, οργανικές ενώσεις και ενώσεις από τον φλοιό της γης. Τα σωματίδια ορίζονται από τη διάμετρό τους για λόγους ρύθμισης της ποιότητας του αέρα. Αυτά με διάμετρο 10 microns ή μικρότερη (PM10) μπορούν να εισέλθουν στους πνεύμονες και να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία (10). Ως λεπτά σωματίδια ορίζονται τα σωματίδια με διάμετρο 2,5 microns ή μικρότερη (PM2,5). Επομένως, τα PM2.5 περιλαμβάνουν ένα μέρος των PM10.

Τα PM10 και τα PM2,5 συχνά προέρχονται από διαφορετικές πηγές και έχουν διαφορετική χημική σύσταση. Οι εκπομπές από την καύση βενζίνης, πετρελαίου, καυσίμου ντίζελ ή ξύλου είναι υπεύθυνες για την παραγωγή μεγάλου μέρους των PM2,5 και σημαντικού ποσοστού των PM10. Πηγές που οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις PM10 στην ατμόσφαιρα αποτελούν επίσης η σκόνη από εργοτάξια, χώρους υγειονομικής ταφής και τη γεωργία, οι πυρκαγιές, η καύση απορριμμάτων, η σκόνη από τον άνεμο, η γύρη και τα πολύ μικρά υπολείμματα βακτηρίων (10).

Τα PM μπορεί είτε να εκπέμπονται απευθείας από πηγές (πρωτεύοντα σωματίδια) είτε να σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων αερίων (δευτερεύοντα σωματίδια) όπως το SO₂, τα NO_x και ορισμένες οργανικές ενώσεις (10). Αυτές οι οργανικές ενώσεις μπορούν να εκπέμπονται τόσο από φυσικές πηγές, όπως είναι τα δέντρα και η

βλάβηση, όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, όπως οι βιομηχανικές διεργασίες και τα καυσαέρια των οχημάτων. Στην Εικόνα 3.1 τα μεγέθη των σωματιδίων PM10 και PM2,5 συγκρίνονται με το μέγεθος μίας ανθρώπινης τρίχας με στόχο την εξοικείωση με τις πραγματικές τους διαστάσεις.



Εικόνα 3.1: Σύγκριση του μεγέθους μίας ανθρώπινης τρίχας με τα PM10 και τα PM2,5 (10).

3.3.2 Αρνητική επίδραση των PM

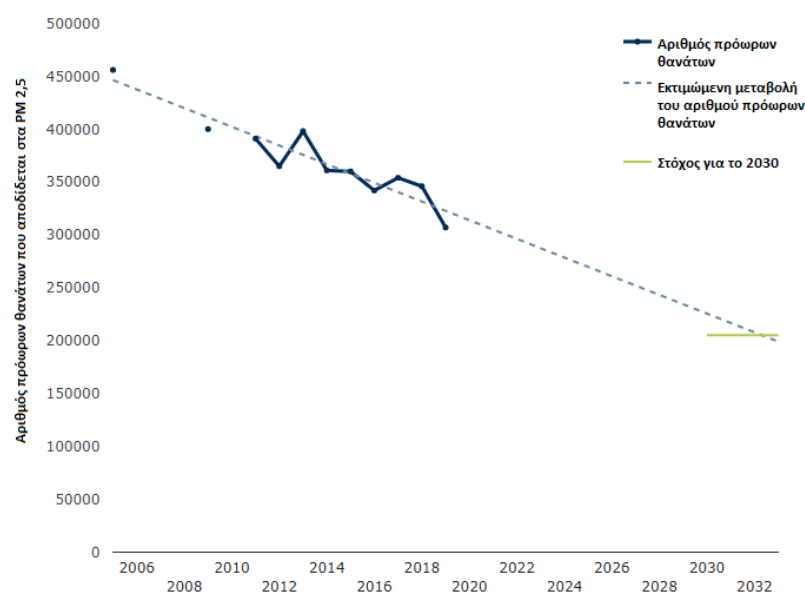
Τόσο τα PM2,5 όσο και τα PM10 έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Όσον αφορά τα PM2,5, μία πιθανή έκθεση σε αυτά ακόμα και για μικρό χρονικό διάστημα (έως 24 ώρες) μπορεί να προκαλέσει πρόωρη θνησιμότητα και αυξημένες εισαγωγές στο νοσοκομείο για καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα (βρογχίτιδα, κρίσεις άσθματος κλπ.). Οι ομάδες που πλήττονται περισσότερο είναι τα βρέφη, τα παιδιά και ηλικιωμένοι με προϋπάρχουσες καρδιακές ή αναπνευστικές παθήσεις. Επιπλέον, σε σχέση με άλλους ρύπους τα PM2,5 είναι αυτά που έχουν το μεγαλύτερο αποτύπωμα στην ανθρώπινη υγεία παγκοσμίως. Η μακροχρόνια (μήνες έως χρόνια) έκθεση στα PM2,5 έχει συνδεθεί με πρόωρο θάνατο, ιδιαίτερα σε άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές ή πνευμονικές παθήσεις και μειωμένη ανάπτυξη της πνευμονικής λειτουργίας στα παιδιά.

Οι βραχυπρόθεσμες εκθέσεις στα PM10 έχουν συσχετιστεί κυρίως με επιδείνωση αναπνευστικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος και της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας, οδηγώντας σε αυξημένες νοσηλείες και επισκέψεις στα τμήματα επειγόντων περιστατικών. Οι επιπτώσεις της μακροχρόνιας έκθεσης στα PM10 δεν

έχουν ακόμα διευκρινιστεί πλήρως, αν και αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ της μακροχρόνιας έκθεσης σε αυτά τα σωματίδια και στο θάνατο που προκαλείται από προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος (π.χ. από καρκίνο του πνεύμονα σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον Καρκίνο) (11).

Τα PM_{2,5} θεωρούνται πιο επικίνδυνα από τα PM₁₀. Η ημερήσια θνησιμότητα από όλες τις αιτίες εκτιμάται ότι αυξάνεται κατά 0,2–0,6% ανά 10 μg/m³ PM₁₀. Η μακροχρόνια έκθεση σε PM_{2,5} σχετίζεται με αύξηση του μακροπρόθεσμου κινδύνου καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας κατά 6–13% ανά 10 μg/m³ PM_{2,5} (11). Ωστόσο, δεν υπάρχουν στοιχεία για ασφαλές επίπεδο έκθεσης ή ένα όριο κάτω από το οποίο δεν υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

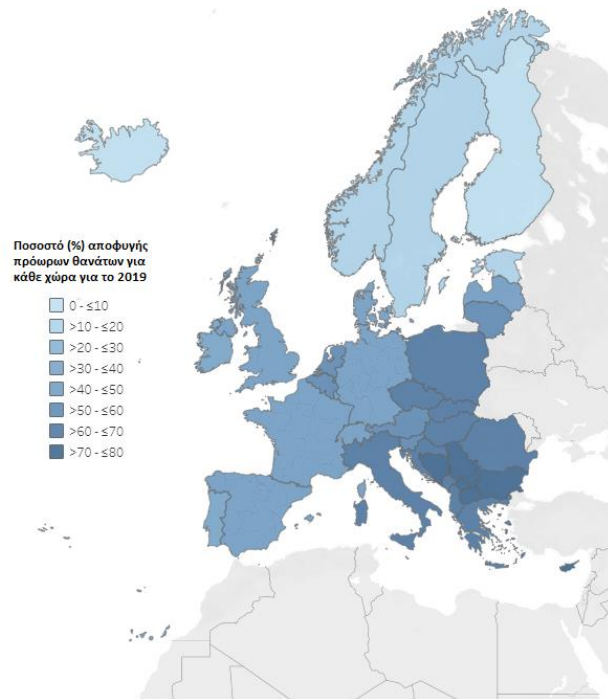
Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η μεταβολή του αριθμού των πρόωρων θανάτων στην ΕΕ την περίοδο 2005-2019 και η απόσταση από τον στόχο μείωσης κατά 55% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 των πρόωρων θανάτων. Σύμφωνα με το Σχήμα 3.1 πρέπει το 2030 οι πρόωροι θάνατοι λόγω PM_{2,5} να μειωθούν στους 200000.



Σχήμα 3-1: Πρόωροι θάνατοι που αποδίδονται στα PM_{2,5} στην ΕΕ-27 την περίοδο 2005-2019 και η απόσταση από τον στόχο μείωσης κατά 55% στα επίπεδα του 2005 των πρόωρων θανάτων (12).

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται το ποσοστό αποφυγής των πρόωρων θανάτων σε σχέση με το 2019 για κάθε χώρα της Ευρώπης εάν είχαν υιοθετηθεί οι προτάσεις του ΠΟΥ για την συγκέντρωση των PM_{2,5} (5 μg/m³). Από αυτόν το χάρτη γίνεται εμφανές ότι τα

μεγαλύτερα οφέλη θα τα είχαν οι χώρες της Ανατολικής, Νοτιοανατολικής και Βορειοανατολικής Ευρώπης.



Εικόνα 3.2: Ποσοστό αποφυγής των πρόωρων θανάτων σε σχέση με το 2019 για κάθε χώρα της Ευρώπης εάν είχαν υιοθετηθεί οι προτάσεις του ΠΟΥ για τη συγκέντρωση των PM_{2,5} (5 μg/m³) (11).

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι αναθεωρημένοι στόχοι του ΠΟΥ που ανακοινώθηκαν το 2021 και περιλαμβάνουν ενδιάμεσους στόχους έτσι ώστε να γίνει δυνατή η επίτευξη του τελικού στόχου για τη συγκέντρωση των PM_{2,5} στον αέρα η οποία είναι τα 5 μg/m³

Πίνακας 3.1: Ενδιάμεσα βήματα σύμφωνα με τον ΠΟΥ για την επίτευξη της τελικής αποδεκτής τιμής συγκέντρωσης σε PM_{2,5} στον αέρα (13).

Ενδιάμεσοι στόχοι	PM _{2,5} (μg/m ³)
1 ^{ος} στόχος	35
2 ^{ος} στόχος	25
3 ^{ος} στόχος	15
4 ^{ος} στόχος	10
Τελική αποδεκτή τιμή ποιότητας αέρα	5

Οι συστάσεις για τους ρύπους αφορούν το γενικό πληθυσμό και δεν έχουν σχεδιαστεί για να επικεντρωθούν στην προστασία των ευαίσθητων ομάδων. Ωστόσο, κατά τον καθορισμό ενός προτύπου για τον έλεγχο ενός περιβαλλοντικού ρύπου, μπορεί να ληφθούν υπόψη πρόσθετες πτυχές. Ο καθορισμός για το εάν ένας ρύπος έχει σοβαρές ή λιγότερο σοβαρές επιπτώσεις είναι αρκετά δύσκολος. Για παράδειγμα, κατά την εξέταση των επιδράσεων των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία οι οποίες είναι είτε προσωρινές και αναστρέψιμες είτε συνεπώνονται βιοχημικές ή λειτουργικές αλλαγές με αβέβαιη κλινική σημασία, είναι αρκετά δύσκολο να οριστεί ποιές από αυτές τις λιγότερο σοβαρές επιδράσεις πρέπει να θεωρούνται ανεπιθύμητες με αποτέλεσμα να παραμένει ένας βαθμός υποκειμενικότητας και αβεβαιότητας (14). Οι αποφάσεις ως προς ποιά από τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει ένας ρύπος στην ανθρώπινη υγεία μπορούν να θεωρηθούν σοβαρά μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των χωρών λόγω παραγόντων που περιλαμβάνουν διαφορετικό πολιτισμικό υπόβαθρο και διαφορετικά επίπεδα κατάστασης υγείας. Οι ευαίσθητοι πληθυσμοί ορίζονται ως εκείνοι που είναι πιο ευαίσθητοι εξαιτίας προηγούμενων προβλημάτων υγείας ή άλλων φυσιολογικών περιορισμών και ειδικών χαρακτηριστικών τα οποία καθιστούν τις συνέπειες στην υγεία, λόγω της έκθεσης σε ρύπους, πιο σημαντικές (π.χ. αναπτυξιακή φάση στα παιδιά) (14). Άλλες ευάλωτες ομάδες μπορεί να θεωρηθούν επίσης οι αθλητές και οι εργαζόμενοι σε εξωτερικούς χώρους. Ο καθορισμός προτύπων ποιότητας του αέρα λαμβάνει υπόψη και άλλους παράγοντες πέρα από τις επιπτώσεις στη δημόσια υγεία, όπως οικονομικές και τεχνολογικές πτυχές και ως εκ τούτου, θεωρείται πολιτική απόφαση. Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάπτυξη προτύπων είναι οι πληροφορίες σχετικά με τη σχέση συγκέντρωσης-απόκρισης για τον ρύπο που προκαλεί ανησυχία (14).

Κατά την ανάπτυξη προτύπων, οι ρυθμιστικές αρχές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το βαθμό αβεβαιότητας σχετικά με τη σχέση συγκέντρωσης-απόκρισης για ένα ρύπο. Οι διαφορές στη δομή του πληθυσμού (ηλικία, κατάσταση υγείας), στο κλίμα (θερμοκρασία και υγρασία) και στη γεωγραφία (υψόμετρο, διαφορετικά οικοσυστήματα) μπορεί να έχουν αντίκτυπο στον επιπολασμό, τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των επιπτώσεων και μπορεί να τροποποιήσουν τις σχέσεις συγκέντρωσης-απόκρισης από τις οποίες προκύπτουν οι κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή μέτρων σε έναν συγκεκριμένο πληθυσμό (13),(14). Σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη προτύπων είναι ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε ανησυχιακές συγκεντρώσεις και η

κατανομή της έκθεσης μεταξύ διαφόρων πληθυσμιακών ομάδων στις τρέχουσες συγκεντρώσεις ρύπανσης και στις διαφορετικές συγκεντρώσεις στις οποίες ενδέχεται να τεθούν πρότυπα. Εκτός από τα δεδομένα παρακολούθησης, τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της έκθεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό το στάδιο της αξιολόγησης κινδύνου. Η προέλευση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς ρύπανσης σε μεγάλη απόσταση θα πρέπει επίσης να αξιολογείται κατά την εξέταση προτύπων. Ο βαθμός στον οποίο οι εκτιμήσεις για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα από δίκτυα ή μοντέλα παρακολούθησης αντιστοιχούν στην προσωπική έκθεση του πληθυσμού θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Δηλαδή θα πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως ο τρόπος ζωής, οι κλιματικές συνθήκες, η χωρική κατανομή των πηγών ρύπανσης και οι τοπικοί παράγοντες που συμβάλλουν στη διασπορά της ρύπανσης (14). Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά πόσο η έκθεση ενός πληθυσμού σε έναν ρύπο οφείλεται σε εξωτερικές ή σε εσωτερικές πηγές (π.χ. ΡΜ από εξωτερικές πηγές έναντι ΡΜ από οικιακό μαγείρεμα με ορυκτά καύσιμα). Αυτές μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των χωρών (14). Για παράδειγμα, τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης εσωτερικών χώρων είναι συνήθως σημαντικά σε νοικοκυριά σε χώρες όπου τα ορυκτά καύσιμα ή/και η βιομάζα σε μη αεριζόμενες σόμπες χρησιμοποιούνται για μαγείρεμα και θέρμανση στα σπίτια (14).

Το κεντρικό ερώτημα για την ανάπτυξη προτύπων ποιότητας του αέρα για την προστασία της δημόσιας υγείας είναι ο βαθμός προστασίας που σχετίζεται με τα διαφορετικά επίπεδα ρύπανσης. Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης κινδύνου, διάφορες προτάσεις για πρότυπα μπορούν να εξεταστούν σε διάφορα μοντέλα κινδύνου για την υγεία ή το περιβάλλον. Αυτά τα μοντέλα έχουν ως στόχο να ενημερώσουν τους λήπτες των αποφάσεων για τις συνέπειες που μπορεί να έχει η υιοθέτηση διαφόρων προτύπων. Οι εκτιμήσεις που προκύπτουν από τα διάφορα μοντέλα μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα λόγω διαφορετικών χαρακτηριστικών (πολιτισμικών, υγείας κ.α.). Σε κάθε εκτίμηση που προκύπτει από τα μοντέλα εκτίμησης κινδύνου υπάρχουν αβεβαιότητες οι οποίες θα πρέπει να παρουσιάζονται και να αξιολογούνται (13)-(14).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των κινδύνων που μπορεί να προκύπτουν από ένα συγκεκριμένο είδος ρύπου θα πρέπει να περιγράφονται με σαφήνεια και να συζητούνται πιθανοί περιορισμοί και επιφυλάξεις που αφορούν την εφαρμογή των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την ανάλυση (14). Επιπλέον, ο βαθμός αποδοχής του κινδύνου μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των χωρών λόγω διαφορών όπως προαναφέρθηκε που

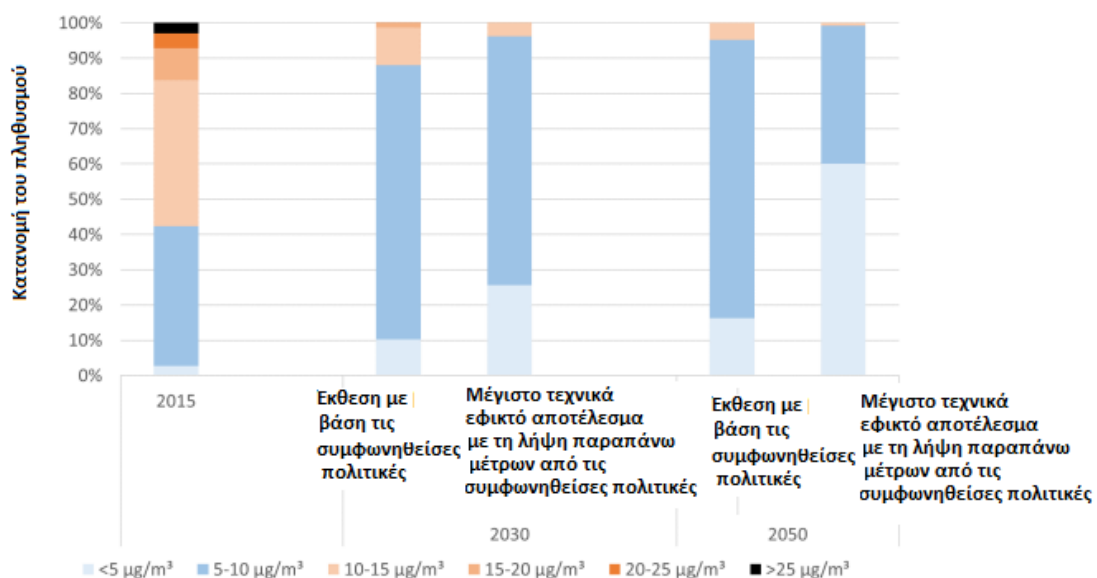
αφορούν κοινωνικές, πολιτισμικές, πολιτικές κ.α. αντιλήψεις. Ο τρόπος με τον οποίο οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση συγκρίνονται με τους κινδύνους από άλλου είδους ρύπανσης ή με ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί επίσης να επηρεάσουν την αποδοχή του κινδύνου.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι πρόωροι θάνατοι λόγω PM_{2,5} για το έτος 2019 καθώς και η θεωρητική μείωση τους εάν τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{2,5} για διαφορετικές οριακές τιμές που ορίζει η ΕΕ ή ο ΠΟΥ είχαν υιοθετηθεί σε ολόκληρη την ΕΕ. Από αυτόν τον πίνακα γίνεται εμφανές ότι υιοθετώντας την κατευθυντήρια γραμμή για την ποιότητα του αέρα του ΠΟΥ η μείωση των πρόωρων θανάτων το 2019 θα άγγιζε το 58% ενώ σε σχέση με το 2005 αυτό το ποσοστό θα έφτανε το 72%. Εάν είχε υιοθετηθεί η τιμή της ΕΕ (20 μg/m³) η μείωση των πρόωρων θανάτων για το 2019 θα ήταν μόλις 1% ενώ σε σχέση με το 2005 αυτό το ποσοστό θα άγγιζε το 33%. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ΠΟΥ έχει θέσει πιο φιλόδοξους στόχους σε σχέση με την ΕΕ και ότι η ποιότητα του αέρα για την ΕΕ σε σχέση με το 2005 φαίνεται να έχει βελτιωθεί. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η κατανομή της έκθεσης του πληθυσμού σε διάφορα επίπεδα συγκέντρωσης PM_{2,5} έως το 2050 εάν εφαρμοστούν οι συμφωνηθείσες πολιτικές καθώς και το πιθανό αποτέλεσμα εάν εφαρμοστούν περισσότερα μέτρα από αυτά που έχουν συμφωνηθεί.

Πίνακας 3.2: Θεωρητικά οφέλη για την υγεία, όσον αφορά τη μείωση των πρόωρων θανάτων, που θα είχαν επιτευχθεί για την ΕΕ-27 το 2019, εάν οι διαφορετικές οριακές τιμές της ΕΕ και οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για τα PM_{2,5} είχαν τηρηθεί σε ολόκληρη την Ευρώπη (13).

ΕΕ-27	Πρόωροι θάνατοι λόγω PM _{2,5}	Μείωση των πρόωρων θανάτων το 2019	% Μείωση των πρόωρων θανάτων το 2019	% Μείωση των πρόωρων θανάτων σε σχέση με τα επίπεδα του 2005
Συγκεντρώσεις PM _{2,5} το 2019	306700	-	-	33
Όριο συγκέντρωσης PM _{2,5} της ΕΕ (25μg/m ³)	306500	200	0	33

Ενδεικτική οριακή τιμή ΕΕ (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	303500	3200	1	33
Ενδιάμεσος στόχος (No3) του ΠΟΥ για το 2021 (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	289200	17500	6	37
Ενδιάμεσος στόχος (No4) του ΠΟΥ για το 2021 (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	241400	65300	21	47
Κατευθυντήρια γραμμή για την ποιότητα του αέρα 2021 του ΠΟΥ (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	129400	177300	58	72



Σχήμα 3-2: Κατανομή της έκθεσης του πληθυσμού στα PM_{2,5} για διάφορα σενάρια (15).

Στον Πίνακα 3.3 φαίνεται αναλυτικά ο πληθυσμός, η συγκέντρωση σε PM_{2,5} και οι πρόωροι θάνατοι λόγω των PM_{2,5} για τις χώρες της Ευρώπης με τη χειρότερη επίδοση όσον αφορά τη συγκέντρωση σε PM_{2,5} ενώ στον Πίνακα 3.4 οι χώρες με την καλύτερη επίδοση όσον αφορά τη συγκέντρωση σε PM_{2,5}. Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται οι χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πρόωρων θανάτων λόγω των PM_{2,5}.

Πίνακας 3.3: Συγκέντρωση σε PM_{2,5} και πρόωροι θάνατοι λόγω των PM_{2,5} για τις χώρες της Ευρώπης με τη χειρότερη επίδοση (13).

Κράτος	Πληθυσμός (σε εκατομμύρια κατοίκους)	Συγκέντρωση σε PM _{2.5} (μg/m ³)	Αριθμός Πρόωρων θανάτων (κατά απόλυτη τιμή)	Αριθμός πρόωρων θανάτων (ανά εκατομμύριο πληθυσμού)
Σερβία	6,964	20,8	11400	1637
Σκόπια	2,077	20,6	3400	1637
Μαυροβούνιο	0,622	18,5	900	1447
Κόσσοβο	1,796	20,1	2800	1559
Βοσνία Ερζεγοβίνη	3,492	21,6	5900	1690
Αλβανία	2,862	17,5	4000	1398
Πολωνία	37,973	17,6	39300	1035
Βουλγαρία	7,000	18,0	10600	1514

Πίνακας 3.4: Συγκέντρωση σε PM_{2,5} και πρόωροι θάνατοι λόγω των PM_{2,5} για τις χώρες της Ευρώπης με την καλύτερη επίδοση (13).

Κράτος	Πληθυσμός (σε εκατομμύρια κατοίκους)	Συγκέντρωση σε PM _{2.5} (μg/m ³)	Αριθμός Πρόωρων θανάτων (κατά απόλυτη τιμή)	Αριθμός πρόωρων θανάτων (ανά εκατομμύριο πληθυσμού)
Εσθονία	1,325	5,5	500	377
Φινλανδία	5,518	5,0	1500	272
Σουηδία	10,23	5,4	2800	274
Ισλανδία	0,357	4,0	50	140
Νορβηγία	5,328	5,5	1200	225
Ιρλανδία	4,904	7,7	1300	265
Λουξεμβούργο	0,614	8,1	200	326
Λιχτενστάιν	0,038	8,1	10	263

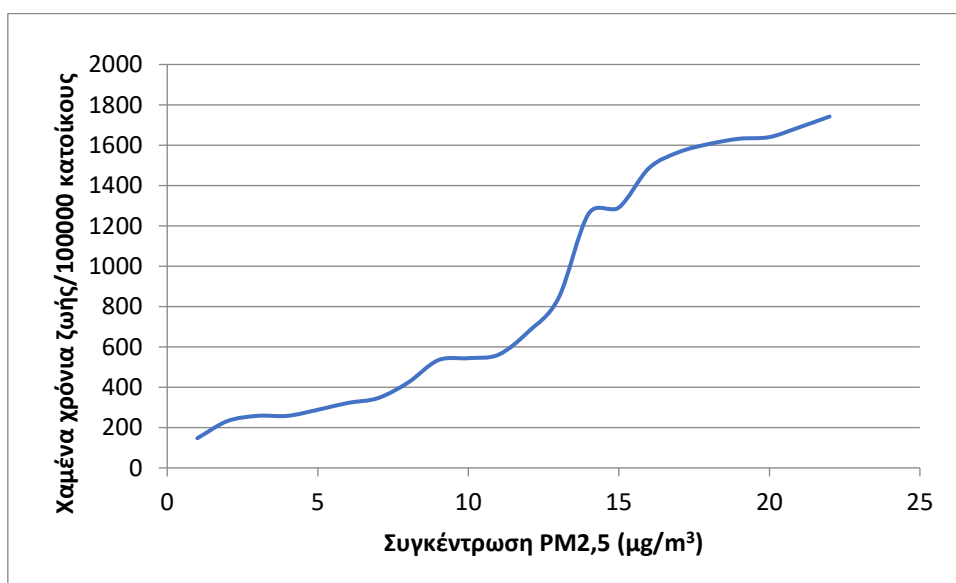
Πίνακας 3.5: Χώρες με το μεγαλύτερο αριθμό πρόωρων θανάτων λόγω των PM_{2,5} (13).

Κράτος	Πληθυσμός (σε εκατομμύρια κατοίκους)	Συγκέντρωση σε PM _{2,5} (μg/m ³)	Αριθμός Πρόωρων Θανάτων (κατά απόλυτη τιμή)	Αριθμός πρόωρων θανάτων (ανά εκατομμύριο πληθυσμού)
Γερμανία	83,019	10,1	53800	648
Ιταλία	59,817	14,5	49900	834
Γαλλία	65,041	9,5	29800	458
Ρουμανία	19,414	15,1	21500	1107
Ισπανία	44,789	10,2	23300	520
Ηνωμένο Βασίλειο	66,671	9,7	33100	496
Πολωνία	37,973	17,6	39300	1035

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι η αυξημένη συγκέντρωση σε PM_{2,5} οδηγεί σε αυξημένο αριθμό πρόωρων θανάτων. Αυτό που επίσης παρατηρείται είναι το γεγονός ότι πολλές χώρες ενώ έχουν χαμηλότερη συγκέντρωση σε PM_{2,5} πάραυτα έχουν μεγαλύτερο αριθμό πρόωρων θανάτων (κατά απόλυτη τιμή) σε σχέση με άλλες με υψηλότερη συγκέντρωση σε PM_{2,5}. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες είναι πολύ μεγαλύτερες πληθυσμιακά σε σχέση με τις δεύτερες με αποτέλεσμα μεγαλύτερα τμήματα του πληθυσμού τους να εκτίθενται σε αυτές τις συγκεντρώσεις οι οποίες αν και μειωμένες είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές που προτείνει ο ΠΟΥ (5 μg/m³). Χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα αποτελούν η Γερμανία, η Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο όπου η τιμή της συγκέντρωσης σε PM_{2,5} είναι η μισή σε σχέση με χώρες όπως η Βουλγαρία και η Σερβία, ο αριθμός όμως των πρόωρων θανάτων κατά απόλυτη τιμή είναι από τρεις έως πέντε φορές μεγαλύτερος. Για το λόγο αυτό προκειμένου να είναι άμεσα συγκρίσιμα τα νούμερα αυτά, γίνεται αναγωγή, στη τελευταία στήλη των Πινάκων 3.3-3.5, σε αριθμό πρόωρων θανάτων ανά εκατομμύριο πληθυσμού για κάθε κράτος. Στον Πίνακα 3.6 φαίνονται τα χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους λόγω των PM_{2,5} των κρατών που περιλαμβάνονται στους Πίνακες 3.3-3.5 ενώ στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η σχέση ανάμεσα στα χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους και στη συγκέντρωση σε PM_{2,5}. Όσον αφορά την Ελλάδα η μέση ετήσια συγκέντρωση σε PM_{2,5} είναι 15,8 μg/m³, ο αριθμός των πρόωρων θανάτων είναι 10400 και τα χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους είναι 1000 (13).

Πίνακας 3.6: Χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους λόγω των PM2,5 (13).

Κράτος	Χαμένα χρόνια ζωής /100000 κατοίκους
Σερβία	1689
Βόρεια Μακεδονία	1632
Μαυροβούνιο	1566
Κόσσοβο	1640
Βοσνία Ερζεγοβίνη	1742
Αλβανία	1486
Πολωνία	1291
Βουλγαρία	1606
Εσθονία	423
Φινλανδία	288
Σουηδία	258
Ισλανδία	147
Νορβηγία	232
Ιρλανδία	322
Λουξεμβούργο	346
Λιχτενστάιν	258
Γερμανία	676
Ιταλία	843
Γαλλία	544
Ρουμανία	1261
Ισπανία	561
Ηνωμένο Βασίλειο	534



Σχήμα 3-3: Σχέση ανάμεσα στα χαμένα χρόνια ζωής ανά 100000 κατοίκους και στη συγκέντρωση σε PM2,5.

Μεταξύ 2000 και 2017, οι εκπομπές της ΕΕ-28 μειώθηκαν κατά 31% για τα PM_{2,5} και 29% για τα PM₁₀ (13). Τα παραπάνω είναι αποτέλεσμα επιτυχημένων πολιτικών ελέγχου των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Αποτέλεσμα της μείωσης των επιπέδων PM_{2,5} στις πόλεις ήταν η μείωση του ετήσιου αριθμού θανάτων που σχετίζεται με τα PM_{2,5} (4,85 θάνατοι λιγότεροι ανά 106 κατοίκους) μεταξύ 2000 και 2017 (13). Ωστόσο, τα τρέχοντα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων στις πόλεις συνεχίζουν να υπερβαίνουν τα πρότυπα της ΕΕ και του ΠΟΥ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας στην Ευρώπη. Την περίοδο 2015–2017, τα ποσοστά του αστικού πληθυσμού της ΕΕ-28 που εκτέθηκε σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τις οριακές τιμές του ΠΟΥ ήταν 74–81% για τα PM_{2,5} και 42–52% για τα PM₁₀.

Οι Barnradimos κ.ά. [16] ανέφεραν θετική συσχέτιση μεταξύ των PM₁₀ και της αύξησης της θερμοκρασίας. Στην Ευρώπη, η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα αυξήθηκε κατά 0,22–0,40 °C ανά δεκαετία από το 1965. Η υψηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στην Ανατολική και Βόρεια Ευρώπη το χειμώνα και στη Νότια Ευρώπη το καλοκαίρι. Η κλιματική αλλαγή επομένως μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων που έχουν παρθεί για τον έλεγχο των εκπομπών των PM.

Τα μέτρα καραντίνας του 2020, λόγω της πανδημίας του COVID-19, αν και οδήγησαν σε μεγάλη μείωση σημαντικών ρύπων (π.χ. μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις NO κατά 63% και NO₂ κατά 52%) στις πόλεις της Νότιας Ευρώπης εξαιτίας του περιορισμού των οδικών και μη οδικών μεταφορών, αντιθέτως δεν μείωσαν σημαντικά τα επίπεδα PM_{2,5} και PM₁₀ (μόλις 8%) κάτι που αποδίδεται στην αύξηση των εκπομπών PM από τις δραστηριότητες στο σπίτι (π.χ. οικιακή θέρμανση, καύση βιομάζας) κατά τη διάρκεια της καραντίνας (13).

3.4 Κοινωνικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και συμπεριφορά

Η αξία των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα μπορούσε να περιγραφεί ως «κοινωνικό κόστος». Σε οικονομικούς όρους, το κοινωνικό κόστος είναι το ιδιωτικό κόστος που βαρύνει τα άτομα που συμμετέχουν άμεσα σε μια συναλλαγή μαζί με το εξωτερικό κόστος που βαρύνει τρίτα μέρη που δεν εμπλέκονται άμεσα στη συναλλαγή (17). Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κοινωνικού κόστους καθώς ο

ρυπαίνων δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος που προκαλεί η ρύπανσή του στην κοινωνία. Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να οδηγήσουν ακόμη και σε πολυδάπανες εισαγωγές ασθενών με συμπτώματα αυτής στα νοσοκομεία, και επιπλέον να έχουν αρνητική επίδραση στην ευημερία.

Οι Giaccherini κ.α. (18) ανέλυσαν το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης των αναπνευστικών νοσηλειών που προκαλούνται από PM10. Διαπιστώθηκε ότι η ρύπανση όχι μόνο προκαλεί πρόσθετο κόστος λόγω περισσότερων νοσηλειών, αλλά και οι νοσηλείες κατά μέσο όρο τείνουν να είναι πιο περίπλοκες και ακριβές. Η αύξηση των PM είναι υπαίτια για περίπου το 0,5% της συνολικής ημερήσιας δαπάνης για την υγεία στην Ιταλία.

Οι παγκόσμιες κρίσεις υγείας τονίζουν περαιτέρω την ανάγκη για συνεχή δράση για την αντιμετώπιση μιας παγκόσμιας και οριζόντιας πρόκλησης όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η παγκόσμια πανδημία του COVID-19, που προκαλείται από τον νέο κορωνοϊό, τονίζει τη σημασία της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω προληπτικών και περιοριστικών μέτρων (19). Τα άτομα που προσβάλλονται από τον COVID-19 και έχουν υποκείμενα ιατρικά προβλήματα όπως καρδιακές παθήσεις, πνευμονολογικές παθήσεις και καρκίνο διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο να αναπτύξουν σοβαρές ασθένειες που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε θάνατο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί αιτία των προαναφερθεισών ασθενειών. Η συνεχιζόμενη έρευνα βρίσκει σχέσεις μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της συχνότητας εμφάνισης ασθενειών και θανάτων λόγω του COVID-19. Τέτοιες έρευνες υποδεικνύουν ότι τα PM_{2,5} παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης COVID-19 και των θανάτων. Μια τέτοια μελέτη ανέφερε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η συγκέντρωση σε PM_{2,5} τόσο περισσότερες ήταν οι εισαγωγές στα νοσοκομεία επιβεβαιωμένων περιπτώσεων COVID-19 (19).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται επίσης με αυξημένα επίπεδα άγχους (20). Για παράδειγμα, σε μια αξιολόγηση ηλικιωμένων γυναικών, διαπιστώθηκε ότι η έκθεση σε PM_{2,5}, ειδικά εάν αυτή είναι πρόσφατη σχετιζόταν με αυξημένα συμπτώματα άγχους (20). Η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους μπορεί να προκαλέσει άγχος αυξάνοντας το οξειδωτικό στρες και τη συστηματική φλεγμονή. Επίσης η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει υπαρξιακό άγχος για την υγεία και το μέλλον του ατόμου (20).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με αυξημένες ψυχικές διαταραχές, όπως η κατάθλιψη, η σχιζοφρένεια και ο αυτισμός. Έχει διαπιστωθεί ότι γίνονται περισσότερες επισκέψεις στο τμήμα επειγόντων περιστατικών για κατάθλιψη σε μέρες με περισσότερη

ρύπανση στον αέρα (20). Ακόμη χειρότερα, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να αποτελέσει παράγοντα για κατάχρηση ουσιών, μη αυτοκτονικό αυτοτραυματισμό και αυτοκτονία (20). Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην αυτοκτονία βρέθηκαν να είναι μεγαλύτερες για τους άνδρες παρά για τις γυναίκες (20). Η ατμοσφαιρική ρύπανση βλάπτει επίσης τη γνωστική λειτουργία σε όλα τα στάδια της ζωής, από την προγεννητική ανάπτυξη έως και σε ηλικιωμένους ενήλικες. Πιο συγκεκριμένα επηρεάζεται η προσοχή, η μνήμη, η ικανότητα κατανόησης μαθηματικών, η ικανότητα ανάγνωσης, η λεκτική νοημοσύνη κ.α. Έχει διαπιστωθεί ότι η έκθεση σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση σε PM_{2,5} μειώνει τις επιδόσεις των μαθητών. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι η διαβίωση σε μέρη με PM_{2,5} που υπερέβαιναν τα πρότυπα της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ αύξησαν τον κίνδυνο για άνοια κατά 92% με τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη γνωστική λειτουργία να είναι χειρότερες για τους άνδρες παρά για τις γυναίκες.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση βλάπτει επίσης την ικανότητα λήψης αποφάσεων (20), (21). Για παράδειγμα, οι επαγγελματίες διαιτητές του μπέιζμπολ ήταν πιο πιθανό να κάνουν λανθασμένες κλήσεις όταν το CO και τα PM_{2,5} του περιβάλλοντος ήταν σε υψηλά επίπεδα (22). Επίσης, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να αλλάξει τις τάσεις λήψης αποφάσεων. Για παράδειγμα, οι Chew κ.α. (23) διαπίστωσαν ότι σε ημέρες με υψηλή ρύπανση, τα άτομα εμφάνιζαν αυξημένη αποστροφή κινδύνου και λάμβαναν βιαστικές αποφάσεις. Σε μια πρόσφατη μελέτη (24) διαπιστώθηκε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση ενίσχυσε την τάση των επενδυτών να πωλούν περιουσιακά στοιχεία που αποφέρουν κέρδη διατηρώντας στη κατοχή τους τα περιουσιακά στοιχεία εκείνα, των οποίων η αξία πέφτει.

Η συμπεριφορά των ανθρώπων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την ατμοσφαιρική ρύπανση με διάφορους τρόπους. Όταν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι έντονο οι άνθρωποι αποφεύγουν τις υπαίθριες δραστηριότητες (π.χ. ποδήλατο, υπαίθρια άσκηση κ.α.). Επιπλέον αυξάνει ατομικές δαπάνες, με τα άτομα να ξοδεύουν περισσότερα για μάσκες προσώπου, συσκευές καθαρισμού αέρα κ.α. [20]. Για παράδειγμα, οι Zhang κ.α. (25) βρήκαν ότι στην Κίνα μια αύξηση 100 μονάδων στο δείκτη ποιότητας αέρα (AQI) αύξησε την κατανάλωση όλων των ειδών μάσκας κατά 54,5% και των масκών αντι-PM_{2,5} κατά 70,6%. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από μια κινεζική ασφαλιστική εταιρεία, οι Chang κ.α. (26) διαπίστωσαν ότι μια αύξηση στην καθημερινή ατμοσφαιρική ρύπανση οδήγησε σε αύξηση 7,2% στον αριθμό των συμβάσεων ασφάλισης υγείας που αγοράστηκαν εκείνη την ημέρα. Επιπροσθέτως οι κάτοικοι σε μολυσμένες περιοχές δείχνουν αυξημένο ενδιαφέρον για

μετανάστευση. Έχει διαπιστωθεί ότι μια αύξηση 100 μονάδων στον AQI οδήγησε σε αύξηση κατά 2,3%-4,8% στις αναζητήσεις στο διαδίκτυο για μετανάστευση.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα της εργασίας με δύο τρόπους. Πρώτον, η ατμοσφαιρική ρύπανση μειώνει την προσφορά εργασίας αυξάνοντας τις απουσίες από την εργασία (20). Για παράδειγμα, έχει διαπιστωθεί ότι η έκθεση σε μέτρια επίπεδα PM_{2,5} μείωσαν τις ώρες εργασίας των ενηλίκων, πιθανότατα λόγω της ανάγκης τους να φροντίζουν ευαίσθητα εξαρτώμενα άτομα (π.χ. μικρά παιδιά και ηλικιωμένους ενήλικες). Δεύτερον, η ατμοσφαιρική ρύπανση μειώνει την παραγωγικότητα στην εργασία. Επιπλέον, ολοένα και περισσότερα στοιχεία δείχνουν επίσης ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει αρνητικά και τα χρηματιστήρια (20).

Ένα εκτεταμένο σύνολο ερευνών καταδεικνύει ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με αυξημένη εγκληματική και παραβατική συμπεριφορά. Οι Lu κ.α (27) διαπίστωσαν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αύξησε τόσο τα βίαια εγκλήματα (δολοφονίες, ληστείες, επιθέσεις) όσο και εγκλήματα ιδιοκτησίας (διάρρηξη, κλοπή αυτοκινήτου). Ομοίως, οι Bondy κ.α. (28) παρείχαν σχεδόν πειραματικά στοιχεία για τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο στα βίαια όσο και στα εγκλήματα που αφορούν την ιδιοκτησία στο Λονδίνο, εκμεταλλευόμενοι την καθημερινή κατεύθυνση του ανέμου ως εξωγενή πηγή τυχαίας διακύμανσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όσον αφορά τον μηχανισμό που προκαλεί αυτή την παραβατική συμπεριφορά, τα στοιχεία δείχνουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί αύξηση του άγχους το οποίο με τη σειρά του περιορίζει τον αυτοέλεγχο των ατόμων με αποτέλεσμα να εστιάζουν στα δικά τους συμφέροντα χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους ηθικές αρχές (20). Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι σε ημέρες υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα άτομα παρουσίαζαν μια πιο εγωιστική συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΠΟΛΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΟΤΙΑΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

4.1 Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε η συγκέντρωση σε PM_{2,5} και σε PM₁₀ σε πόλεις της Νότιας και της Βόρειας Ευρώπης. Τα δεδομένα της ανάλυσης προήλθαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος και αφορούν ολόκληρο το έτος 2021 (29). Για κάθε πόλη υπολογίστηκε ο μέσος όρος από όλους τους σταθμούς μέτρησης που υπάρχουν σε αυτές. Επίσης, για κάθε πόλη γίνεται αναφορά στον σταθμό (στην περιοχή που αυτός βρίσκεται) που παρουσίασε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε PM_{2,5} και σε PM₁₀, καθώς και στο είδος του σταθμού (π.χ. σταθμοί μέτρησης που βρίσκονται σε οδούς οι οποίοι παρουσιάζουν κίνηση, σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται σε βιομηχανικές περιοχές και σταθμοί που βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές). Ο λόγος για τον οποίο έγινε ο παραπάνω διαχωρισμός είναι διότι γνωρίζοντας το είδος του σταθμού είναι δυνατός ο προσδιορισμός των κύριων πηγών και της σύστασης των σωματιδίων. Για παράδειγμα οι συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ που μετρά ένας σταθμός μέτρησης ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος σε μία κεντρική οδική αρτηρία οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην αυξημένη κίνηση των αυτοκινήτων. Από την άλλη πλευρά η πηγή των σωματιδίων που καταγράφει ένας σταθμός που βρίσκεται σε μία βιομηχανία είναι η ίδια βιομηχανία, ενώ οι κυριότερες πηγές PM_{2,5} και PM₁₀ που καταγράφει ένας σταθμός ο οποίος βρίσκεται σε μία κατοικημένη περιοχή είναι τόσο οι οικιακές δραστηριότητες όσο και η κυκλοφοριακή κίνηση. Στις παραπάνω πηγές σωματιδίων μπορούν να προστεθούν η θάλασσά, η μεταφερόμενη σκόνη (π.χ. αφρικανική σκόνη) καθώς και η μεταφερόμενη αέρια ρύπανση από μία περιοχή σε μία άλλη.

Εκτός από το μέσο όρο κατασκευάστηκαν και διαγράμματα τα οποία δείχνουν τη τιμή που παρουσίασαν όλοι οι σταθμοί που βρίσκονται σε μία συγκεκριμένη πόλη και χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, έτσι ώστε να παρουσιαστεί καλύτερα η συνολική εικόνα που αφορά τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων αλλά και την απόκλισή τους από τη μέση τιμή. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από σταθμούς οι οποίοι είχαν υπολογίσει τη μέση ετήσια τιμή στις συγκεντρώσεις των σωματιδίων.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται η ταξινόμηση της ποιότητας του αέρα σύμφωνα με τα όρια που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση με στόχο την αξιολόγηση των δεδομένων που θα προκύψουν από την ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση της ποιότητας του αέρα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (30).

Ποιότητα αέρα						
	Καλή	Ικανοποιητική	Μέτρια	Φτωχή	Πολύ φτωχή	Πάρα πολύ φτωχή
PM _{2,5} (μg/m ³)	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
PM ₁₀ (μg/m ³)	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200

4.2 Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ σε πόλεις της Νότιας Ευρώπης

Στην παρούσα ενότητα γίνεται ανάλυση της συγκέντρωσης των ρύπων σε πόλεις της Νότιας Ευρώπης.

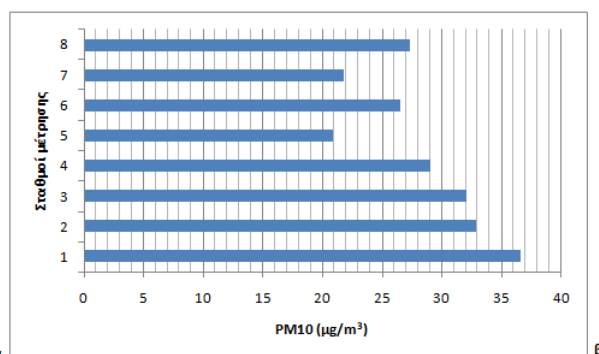
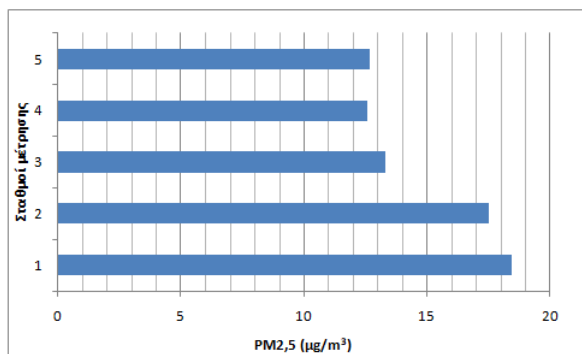
ΕΛΛΑΔΑ

Για την Ελλάδα οι πόλεις οι οποίες εξετάστηκαν ήταν η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.2-4.4 και στα Σχήματα 4.1-4.2.

Πίνακας 4.2: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Αθήνας.

Αθήνα				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για την Αθήνα
Αριστοτέλους	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	18,42	14,9
Λυκόβρυση	Προάστειο	PM _{2,5}	17,53	

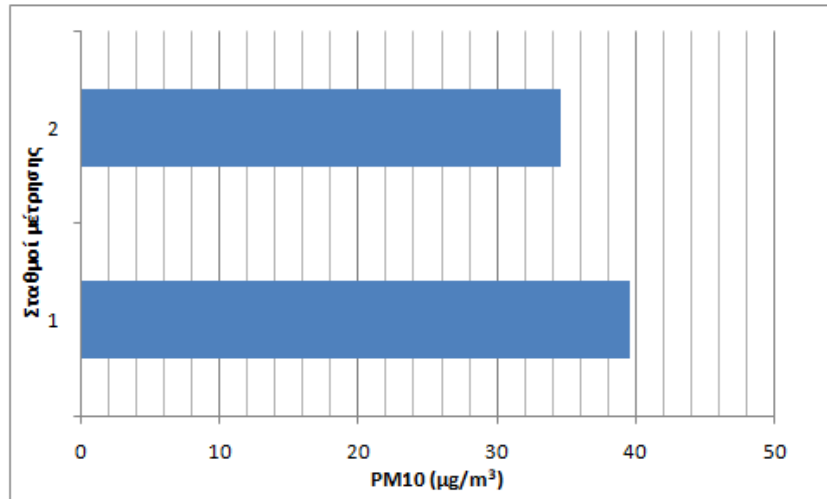
Πειραιάς -1	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	36,57	28,35
Περιστέρι	Αστική/	PM10	32,09	



Σχήμα 4-1: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης των Αθηνών που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.

Πίνακας 4.3: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM2,5 και PM10 για το έτος 2021 για την πόλη της Θεσσαλονίκης.

Θεσσαλονίκη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για τη Θεσσαλονίκη
Αγία Σοφία	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM2,5	20,56	20,56
Αγία Σοφία	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	39,50	36,99
Κορδελιό	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM10	34,48	



Σχήμα 4-2: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης της Θεσσαλονίκης που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.

Πίνακας 4.4: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM2,5 και PM10 για το έτος 2021 για την πόλη της Πάτρας.

Πάτρα				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για την Πάτρα
Πάτρα -2	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM2,5	15,45	15,45
Πάτρα -2	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	30,6	30,6

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι και οι τρεις πόλεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε PM10 σε σχέση με PM2,5 με τη Θεσσαλονίκη να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές και την Πάτρα να ακολουθεί. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι σταθμοί που εξετάστηκαν στη Θεσσαλονίκη ήταν αποκλειστικά βιομηχανικοί και σταθμοί που βρίσκονταν σε οδικές αρτηρίες δηλαδή περιοχές με αυξημένη ρύπανση. Όσον αφορά την Πάτρα η αυξημένη συγκέντρωση σε PM10 μπορεί να οφείλεται και σε μικροσωματίδια που προέρχονται από τη θάλασσα. Όσον αφορά τα PM2,5 και εδώ η Θεσσαλονίκη παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις άλλες δύο πόλεις. Τέλος ένας

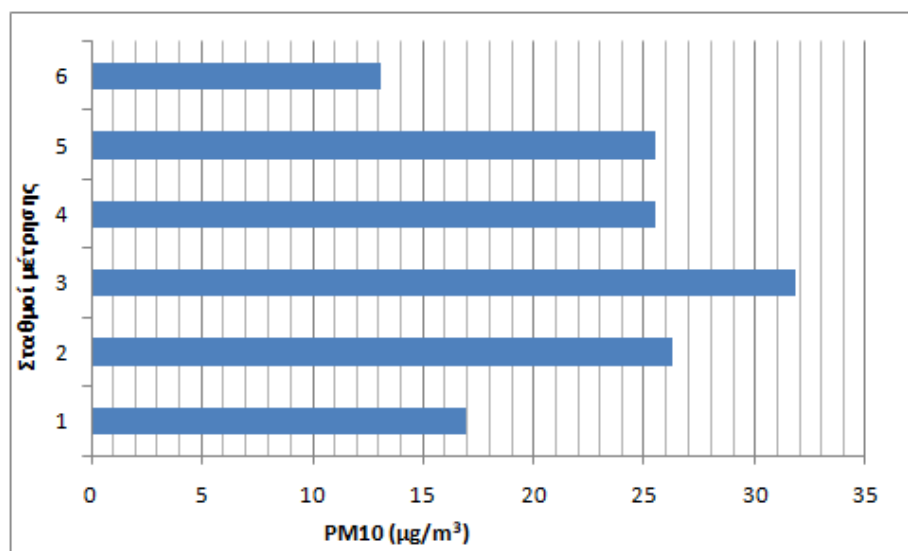
άλλος παράγοντας ο οποίος μπορεί να επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης σχετικά με τη συγκέντρωση των PM_{2,5} και των PM₁₀ είναι και ο αριθμός των σταθμών που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση κάθε ρύπου.

ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ

Για τη Βουλγαρία οι πόλεις οι οποίες εξετάστηκαν ήταν η Σόφια, και η Φιλιππούπολη, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.5-4.6 και στα Σχήματα 4.3-4.4.

Πίνακας 4.5: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το έτος 2021 για τη Σόφια.

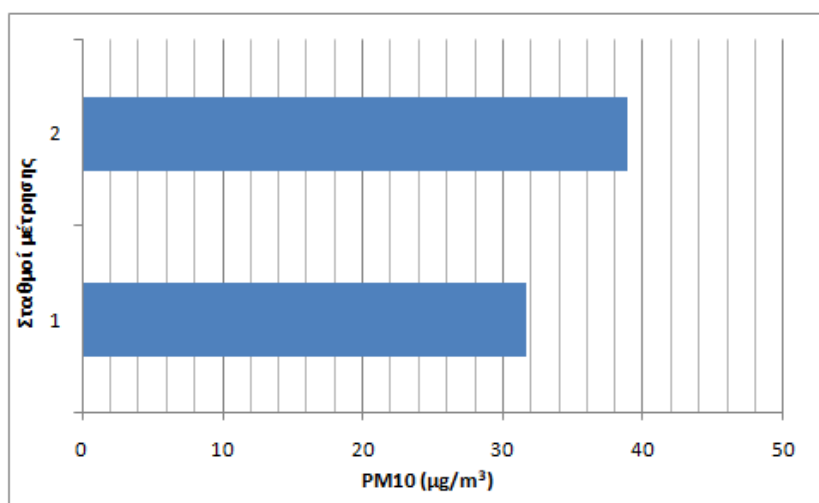
Σόφια				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Σόφια
AMS Hipodruma-Sofia	Αστική	PM _{2,5}	8,93	8,93
AMS Nadezhda-Sofia	Αστική	PM ₁₀	31,81	23,19
AMS Mladost-Sofia	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	25,5	



Σχήμα 4-3: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης στη Σόφια που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.

Πίνακας 4.6: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το έτος 2021 για τη Φιλιππούπολη.

Φιλιππούπολη (Plovdiv)				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Φιλιππούπολη
AMS Kamenitsa-Plovdiv	Αστική	PM _{2,5}	17	17
AMS Kamenitsa-Plovdiv	Αστική	PM ₁₀	31,6	35,23
AMS Trakia - Plovdiv	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	38,85	



Σχήμα 4-4: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης για τη Φιλιππούπολη που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανάλυση.

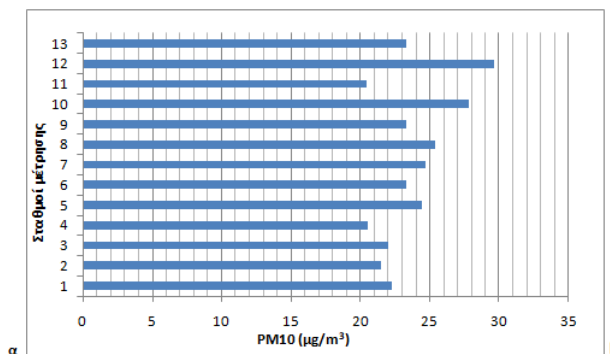
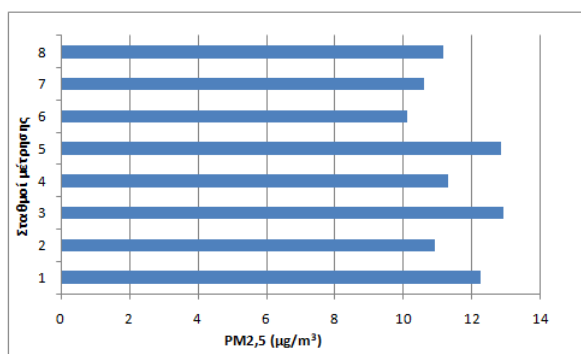
Από την ανάλυση προκύπτει ότι τόσο η Σόφια όσο και η Φιλιππούπολη παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε PM₁₀ σε σχέση με PM_{2,5}. Η Φιλιππούπολη μάλιστα παρουσιάζει χειρότερες επιδόσεις τόσο σε PM₁₀ όσο και σε PM_{2,5}. Από το Σχήμα 4.3 προκύπτει ότι για τη Σόφια υπάρχουν τιμές για τα PM₁₀ που κυμαίνονται από περίπου 13 μg/m³ και φτάνουν μέχρι και τα 32 μg/m³.

ΙΤΑΛΙΑ

Οι πόλεις της Ιταλίας στις οποίες εστιάστηκε η ανάλυση ήταν η Ρώμη, το Μιλάνο, η Νάπολη, το Τορίνο και το Παλέρμο τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.7-4.11 και στα Σχήματα 4.5-4.9.

Πίνακας 4.7: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το έτος 2021 για την πόλη της Ρώμης.

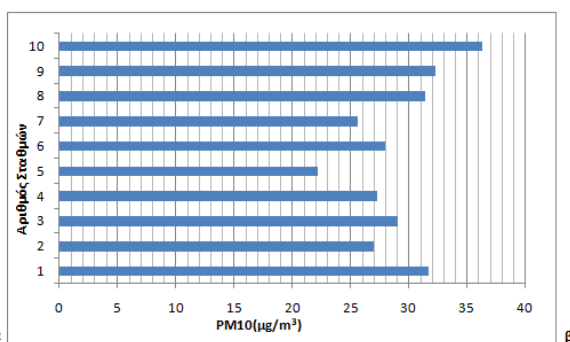
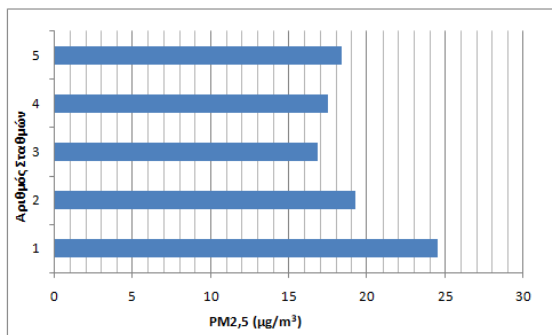
Ρώμη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Ρώμη
C.SO FRANCIA	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	10,58	11,5
MALAGROTTA	Προάστειο/	PM _{2,5}	12,9	
TIBURTINA	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	29,91	23,74
BUFALOTTA	Αστική	PM ₁₀	25,44	



Σχήμα 4-5: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Ρώμης.

Πίνακας 4.8: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το Μιλάνο.

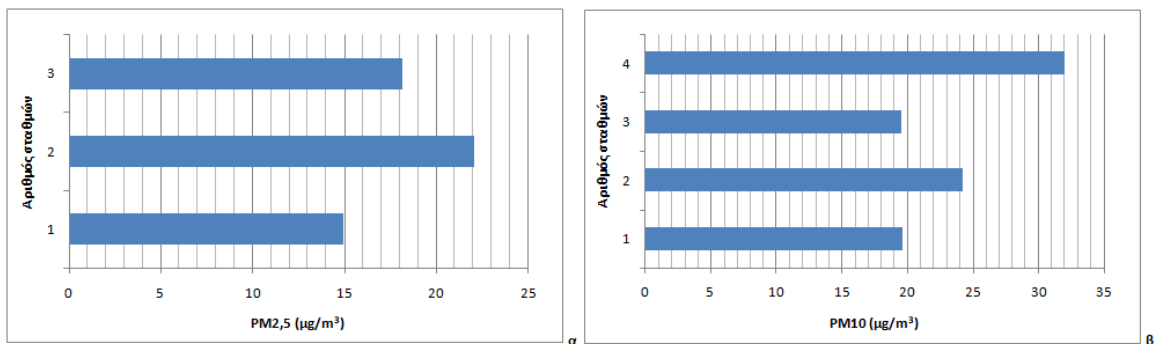
Μιλάνο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Μιλάνο
MILANO PASCAL	Αστική	PM _{2,5}	19,24	19,29
MILANO - SENATO	Αστική / Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	24,51	
MILANO - SENATO	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	36,2	29,14
LIMITO	Αστική	PM ₁₀	31,79	



Σχήμα 4-6: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για τους σταθμούς μέτρησης της πόλης του Μιλάνο.

Πίνακας 4.9: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το Τορίνο.

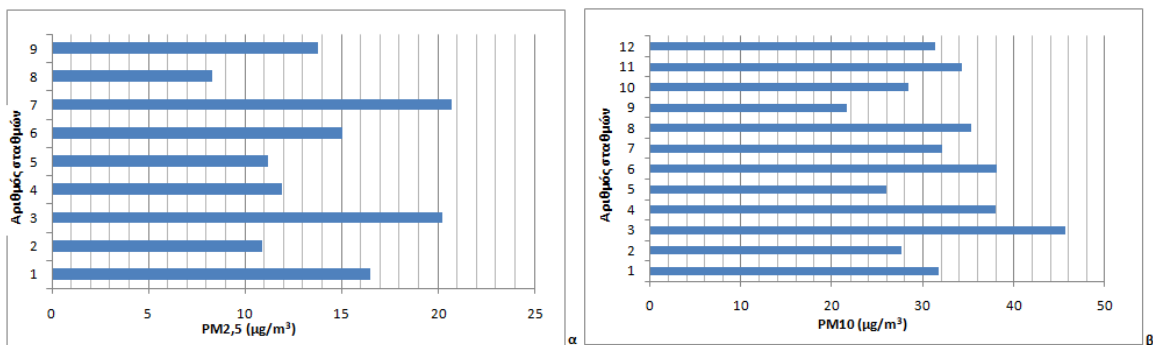
Τορίνο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Τορίνο
Torino - Rubino	Αστική	PM _{2,5}	18,16	18,37
Torino - Rebaudengo	Αστική / Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	22,03	
Torino - Rebaudengo	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	31,96	23,84
Torino - Rubino	Αστική	PM ₁₀	24,22	



Σχήμα 4-7: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Τορίνο.

Πίνακας 4.10: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για τη Νάπολη.

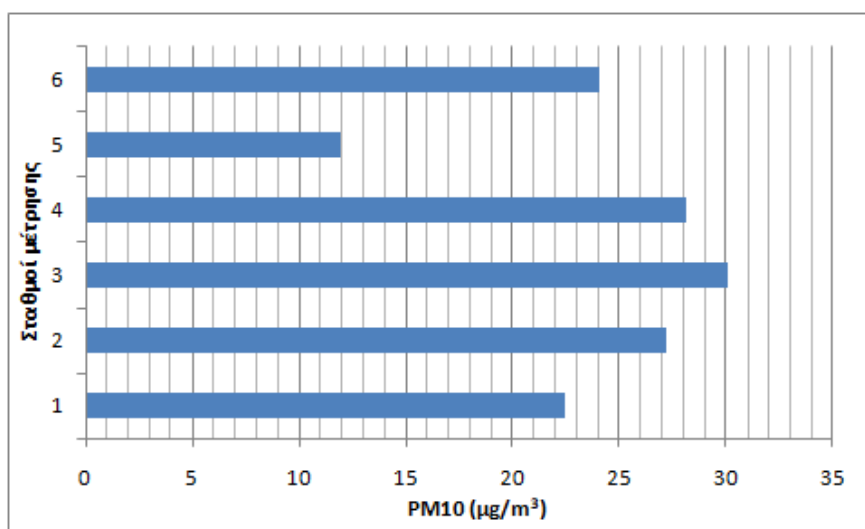
Νάπολη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Νάπολη
Portici parco reggia	Αστική	PM _{2,5}	11,93	14,25
Pomigliano d'Arco Area ASI	Προάστειο/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM _{2,5}	20,67	
NA09 I.T.I.S. ARGINE	Προάστειο / Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	20,16	
Nocera Inferiore scuola Solimene	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	35,35	32,49
San Vitaliano Scuola Elementare Marconi	Αστική	PM ₁₀	45,69	
Pomigliano d'Arco Area ASI	Προάστειο/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	38,05	



Σχήμα 4-8: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για το σύνολο των σταθμών μέτρησης της Νάπολη.

Πίνακας 4.11: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για το Παλέρμο.

Παλέρμο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Παλέρμο
PA - UNIPA	Αστική	PM _{2,5}	12,28	12,28
PA - Di Blasi	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	30,12	24
PA - UNIPA	Αστική	PM ₁₀	24,08	



Σχήμα 4-9: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της πόλης του Παλέρμο.

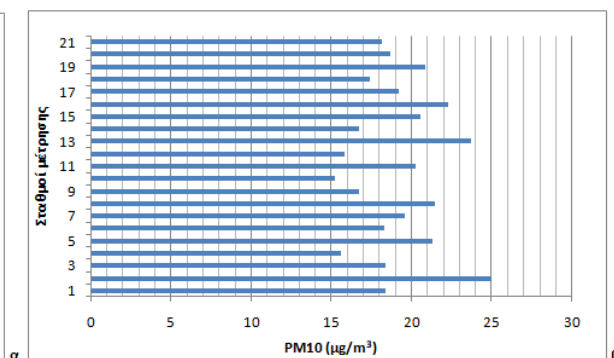
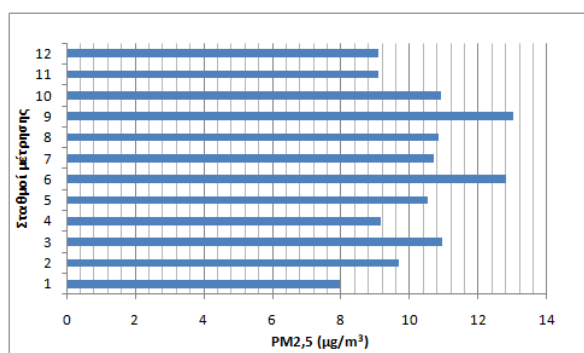
Από την ανάλυση προκύπτει ότι και στη περίπτωση της Ιταλίας όλες οι πόλεις που μελετήθηκαν παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε PM₁₀ σε σχέση με PM_{2,5}. Το Μιλάνο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές σε PM_{2,5} ενώ η Νάπολη σε PM₁₀. Η Ρώμη είναι αυτή που παρουσιάζει τις καλύτερες επιδόσεις.

ΙΣΠΑΝΙΑ

Οι πόλεις της Ισπανίας που μελετήθηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι η Μαδρίτη, η Βαρκελώνη, η Βαλένθια, η Σεβίλλη και η Τενερίφη. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.12-4.16 και στα Σχήματα 4.10-4.14.

Πίνακας 4.12:Ανάλυση της συγκέντρωσης PM_{2,5} και PM₁₀ για τη Μαδρίτη.

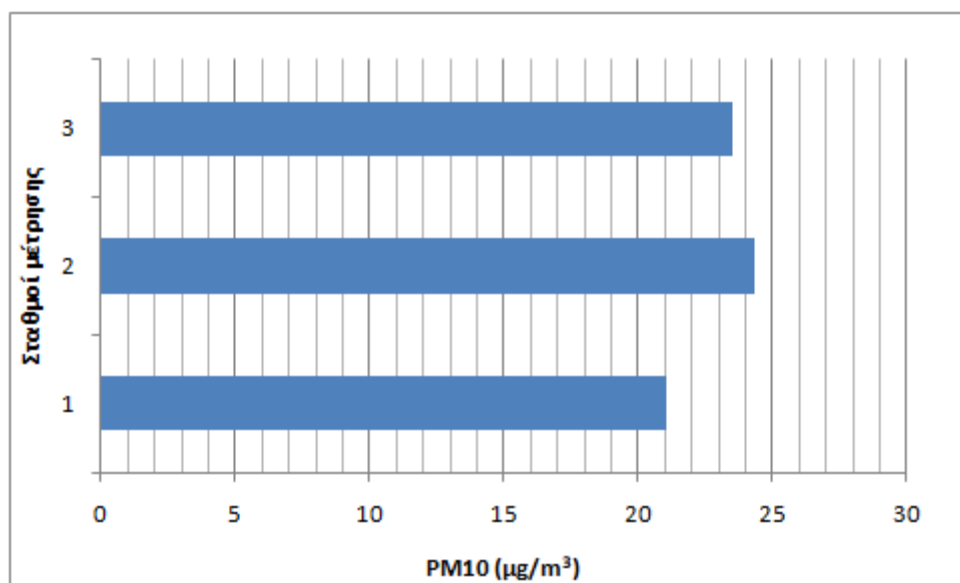
Μαδρίτη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Μαδρίτη
COSLADA	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	13,03	10,38
MENDEZ ALVARO	Αστική/	PM _{2,5}	10,93	
LEGANES	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	23,69	19,18
EMBAJADA	Αστική/	PM ₁₀	24,96	
FUENLABRADA	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	20,19	



Σχήμα 4-10: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Μαδρίτης.

Πίνακας 4.13: Ανάλυση της συγκέντρωσης PM10 για τη Βαρκελώνη.

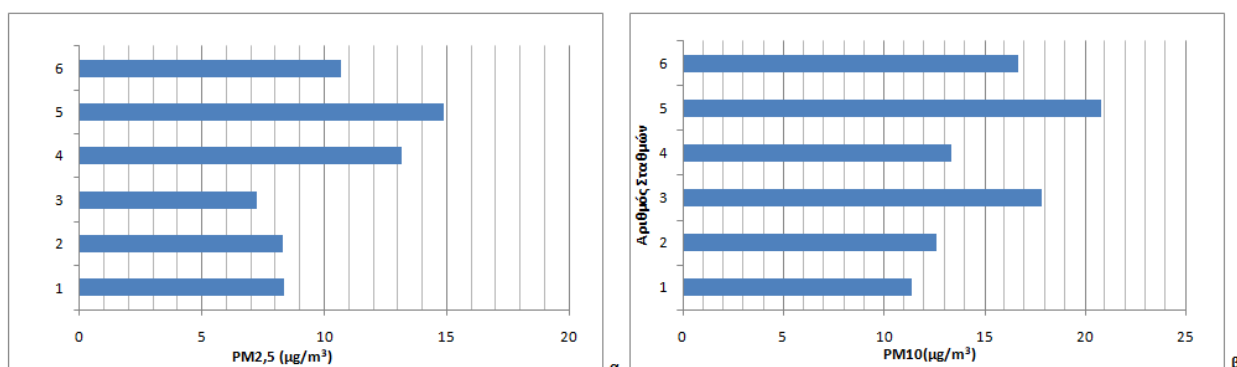
Βαρκελώνη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) για τη Βαρκελώνη
Sant Adrià de Besòs	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	23,5	22,97
l'Hospitalet de Llobregat (av. del Torrent Gornal)	Αστική	PM10	24,34	



Σχήμα 4-11: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Βαρκελώνης.

Πίνακας 4.14: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για τη Βαλένθια.

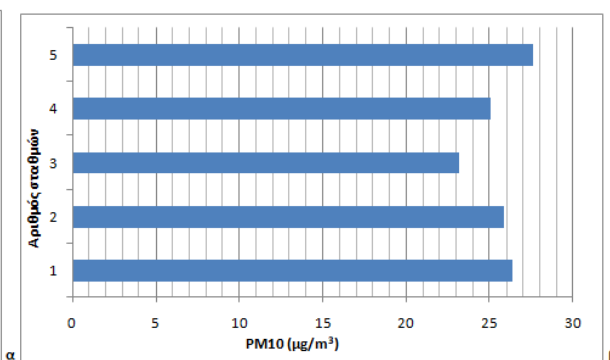
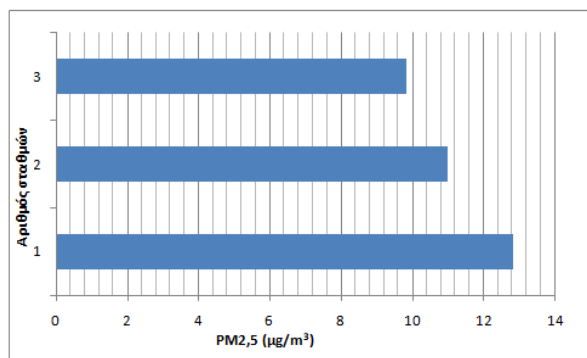
Βαλένθια				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου μg/m ³) για τη Βαλένθια
VALENCIA – VALLE DEL SOL	Προάστειο/ Οδική αρτηρία	PM2,5	14,88	10,44
Universitat Politècnica de València	Προάστειο	PM2,5	8,34	
VALENCIA-CENTRE	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	20,82	15,45
Universitat Politècnica de València	Προάστειο	PM10	11,41	



Σχήμα 4-12: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Βαλένθιας.

Πίνακας 4.15: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για την πόλη της Σεβίλλης.

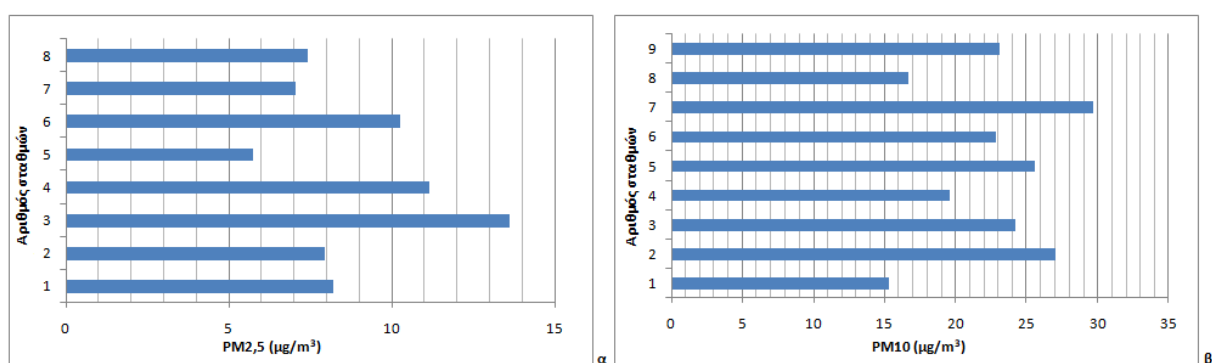
Σεβίλλη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου μg/m ³ για τη Σεβίλλη
SANTA CLARA	Προάστειο	PM2,5	9,82	11,21
TORNEO	Αστική / Οδική αρτηρία	PM2,5	12,82	
TORNEO	Αστική / Οδική αρτηρία	PM10	26,36	25,62
PRINCIPES	Αστική	PM10	27,6	



Σχήμα 4-13: Καταγραφή συγκέντρωσης PM2,5 και PM10 για τους σταθμούς μέτρησης της Σεβίλλης.

Πίνακας 4.16: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για την Τενερίφη.

Τενερίφη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για την Τενερίφη
TENA ARTIGAS- STA CRUZ DE TENERIFE	Αστική	PM _{2,5}	10,28	8,9
PISCINA MUNICIPAL-STA CRUZ DE TF	Αστική / Βιομηχανικό περιβάλλον	PM _{2,5}	13,63	
PARQUE LA GRANJA-STA CRUZ DE TF	Αστική / Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	29,66	22,67
SANTA CRUZ DE TENERIFE	Αστική	PM ₁₀	22,87	



Σχήμα 4-14: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Τενερίφης.

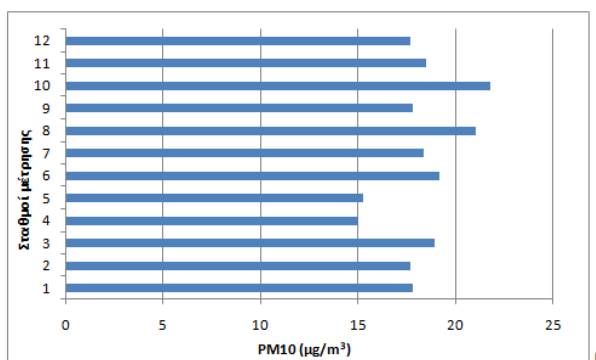
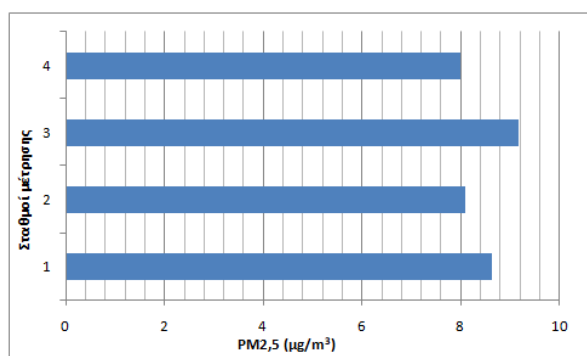
Από τις πέντε πόλεις που εξετάστηκαν, οι συγκεντρώσεις σε PM_{2,5} κυμαίνονται κατά μέσο όρο από περίπου 8 έως 11 μg/m³. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις σε PM₁₀ αυτές είναι αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες σε PM_{2,5} με τη Σεβίλλη να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές.

ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ

Οι πόλεις της Πορτογαλίας που μελετήθηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι η Λισαβόνα και το Πόρτο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.17-4.18 και στα Σχήματα 4.15-4.16.

Πίνακας 4.17: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για τη Λισαβόνα.

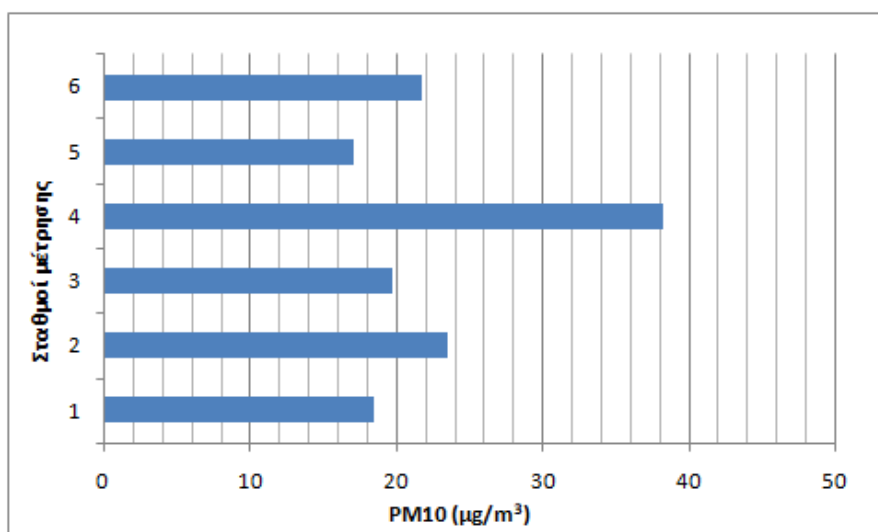
Λισαβόνα				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Λισαβόνα
Entrecampos	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	8,63	8,47
Raio Pires	Προάστειο/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM _{2,5}	9,18	
Olivais	Αστική/	PM _{2,5}	8,08	
Avenida da Liberdade	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	21,78	18,24
Escavadeira	Αστική/	PM ₁₀	19,18	
Raio Pires	Προάστειο/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	21,02	



Σχήμα 4-15: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Λισαβόνας.

Πίνακας 4.18: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για την πόλη του Πόρτο.

Πόρτο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Πόρτο
Sobreiras-Lordelo do Ouro	Αστική	PM _{2,5}	6,03	6,03
Francisco Carneiro-Campanha	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	21,73	23,15
Avintes	Αστική	PM ₁₀	23,52	
Seara-Matosinhos	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	38,23	



Σχήμα 4-16: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Πόρτο.

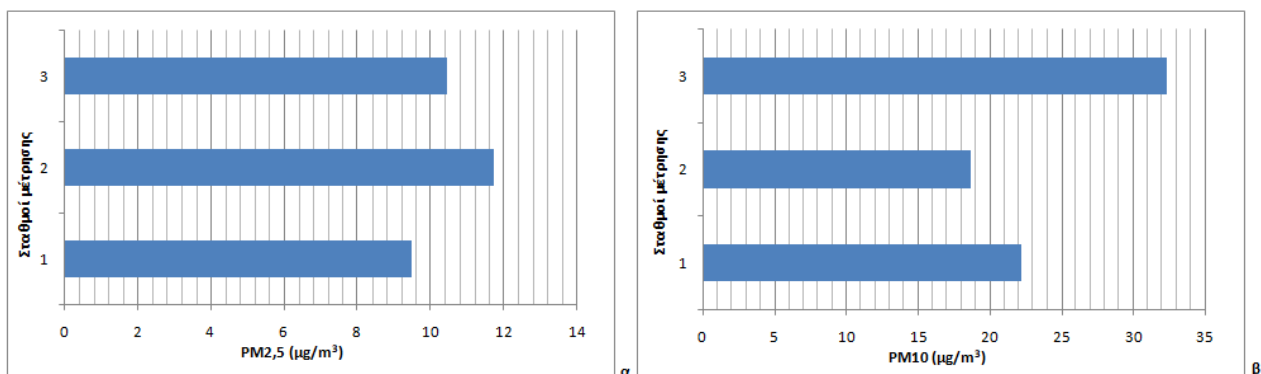
Η Λισαβόνα παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε PM10 και υψηλότερες τιμές σε PM2,5 σε σχέση με το Πόρτο. Επίσης όσον αφορά την κατανομή της συγκέντρωσης σε PM10 όπως φαίνεται από το Σχήμα 4-16 η τιμή ενός σταθμού είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τους άλλους με αποτέλεσμα να ανεβάζει τη μέση τιμή της συγκέντρωσης για το Πόρτο.

ΓΑΛΛΙΑ

Για τη Γαλλία μελετήθηκαν δύο μεγάλες πόλεις οι οποίες βρίσκονται στη Νότια περιοχή της κοντά στη Μεσόγειο οι οποίες είναι η Μασσαλία και η Τουλούζη. Τα αποτελέσματα για αυτές τις δύο πόλεις παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.19-4.20 και στα Σχήματα 4.17-4.18.

Πίνακας 4.19: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για τη Μασσαλία.

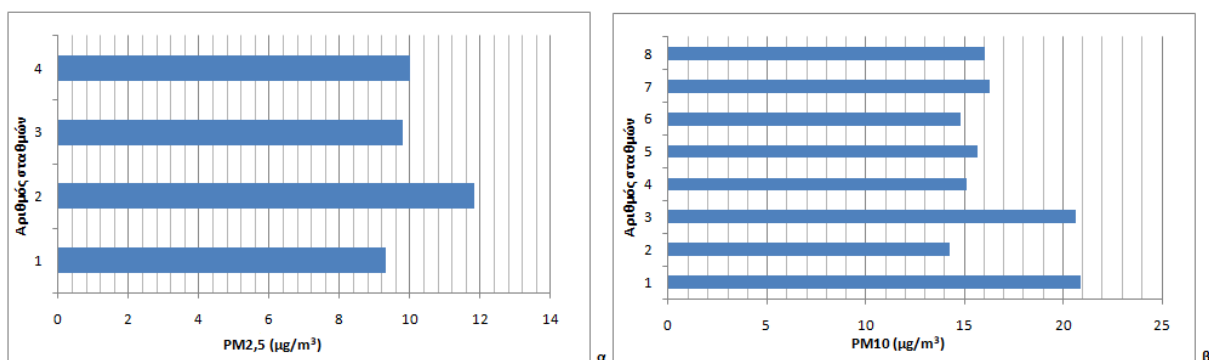
Μασσαλία				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Μασσαλία
MARSEILLE RABATAU	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM2,5	11,71	10,53
MARSEILLE ST LOUIS	Αστική/	PM2,5	10,43	
MARSEILLE RABATAU	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	32,67	24,4
MARSEILLE ST LOUIS	Αστική/	PM10	22,2	



Σχήμα 4-17: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Μασσαλίας.

Πίνακας 4.20: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για την πόλη της Τουλούζης.

Τουλούζη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για την Τουλούζη
Toulouse Mazades	Αστική /	PM2,5	9,8	10,24
Toulouse Port de l'Embouchure	Αστική / Οδική αρτηρία	PM2,5	11,83	
Toulouse Port de l'Embouchure	Αστική / Οδική αρτηρία	PM10	20,86	16,71
Toulouse Berthelot	Αστική /	PM10	15,67	
EISENHOWER SETMI	Βιομηχανικό περιβάλλον/ Αστική	PM10	16,23	



Σχήμα 4-18: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Τουλούζης.

Ενώ στις συγκεντρώσεις σε PM2,5 Μασσαλία και Τουλούζη παρουσιάζουν ίδιες τιμές, τα επίπεδα των PM10 της Μασσαλίας είναι περίπου 8 µg/m³ υψηλότερα. Επίσης τα επίπεδα των PM2,5 και στις δύο πόλεις δεν παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά σε σχέση με τα επίπεδα των PM10 για τα οποία κάποιοι σταθμοί παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τους υπολοίπους.

4.3 Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 σε πόλεις της Βόρειας Ευρώπης

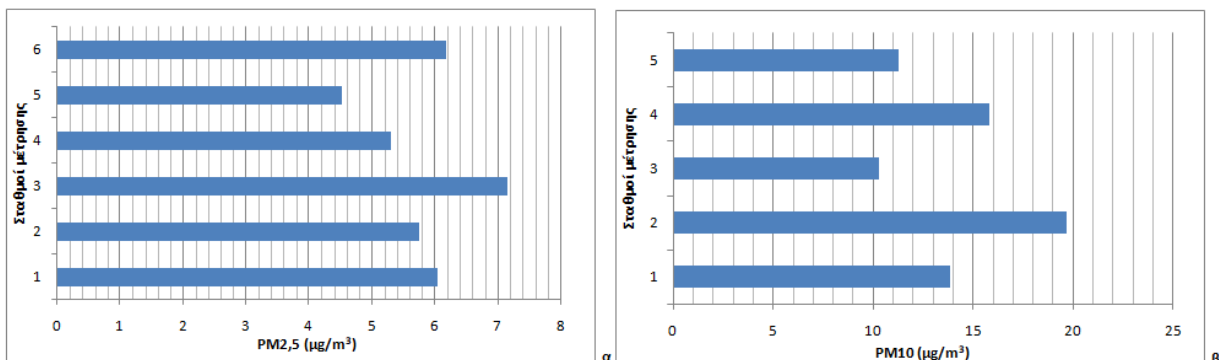
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ

Για τη Φινλανδία η πόλη η οποία εξετάστηκε ήταν η πρωτεύουσα της, Ελσίνκι και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21 και στο Σχήμα 4.19.

Πίνακας 4.21: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για το Ελσίνκι.

Ελσίνκι				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το Ελσίνκι

Mannerheimintie	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM2,5	7,14	5,82
Kallio 2	Αστική/	PM2,5	5,7	
Mannerheimintie	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	19,7	14,18
Kallio 2	Αστική/	PM10	10,3	



Σχήμα 4-19: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Ελσίνκι.

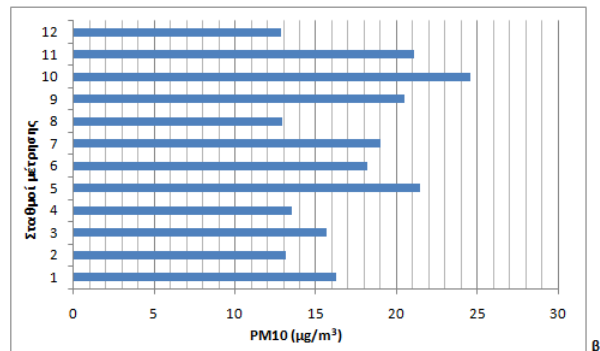
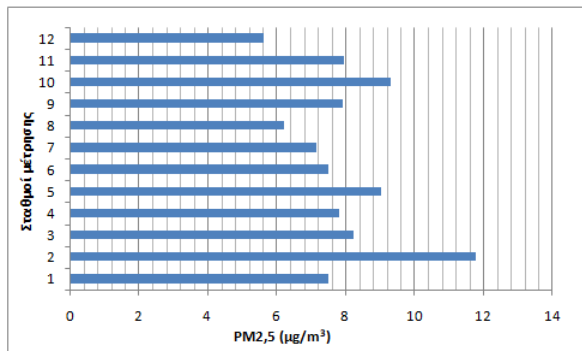
Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η συγκέντρωση σε PM2,5 είναι αρκετά χαμηλή, σχεδόν στα ίδια επίπεδα που προτείνει ο ΠΟΥ (5 µg/m³) ενώ και η συγκέντρωση σε PM10 είναι σε χαμηλά επίπεδα (14,18 µg/m³). Επομένως, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 η ποιότητα του αέρα και για τις δύο κατηγορίες κρίνεται ως καλή. Ωστόσο, οι παραπάνω τιμές είναι ο μέσος όρος. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπήρχαν χρονικές στιγμές όπου η συγκέντρωση σε σωματίδια να είναι αρκετά υψηλότερη ή κάποια συγκεκριμένη περιοχή να παρουσιάζει αρκετά χειρότερες τιμές. Στο Σχήμα 4.19 από την κατανομή φαίνεται πώς όλοι οι σταθμοί που συμπεριελήφθησαν στη μελέτη παρουσιάζουν μετρήσεις οι οποίες είναι κάτω από τα όρια του Πίνακα 4.1.

ΝΟΡΒΗΓΙΑ

Για τη Νορβηγία η πόλη η οποία εξετάστηκε ήταν το Όσλο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.22 και στο Σχήμα 4.20.

Πίνακας 4.22: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για το Όσλο.

Όσλο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Όσλο
bygdøy allé (λεωφόρος)	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	9,30	7,99
Spikersuppa	Αστική	PM _{2,5}	11,77	
Hjortnes	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	24,55	17,43
Skien	Αστική	PM ₁₀	16,29	



Σχήμα 4-20: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Όσλο.

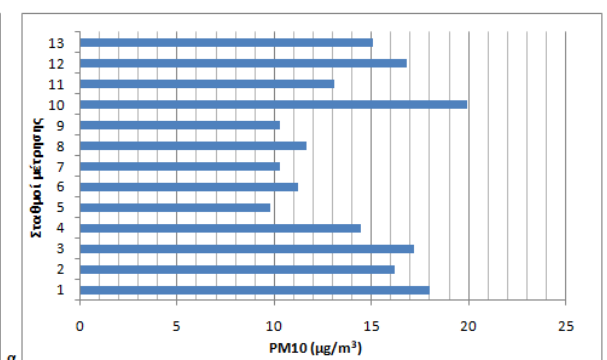
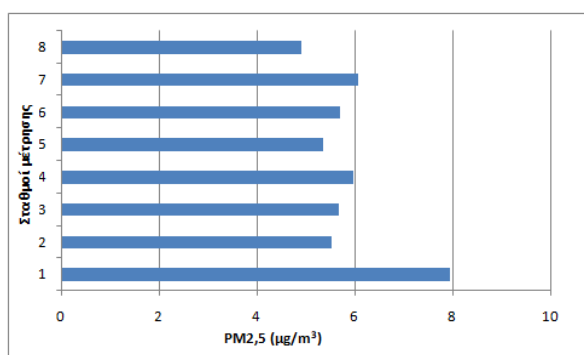
Στην πόλη του Όσλο η ποιότητα του αέρα τόσο για τα σωματίδια PM_{2,5} όσο και για τα PM₁₀ κυμαίνεται από καλή έως ικανοποιητική σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά όρια.

ΣΟΥΗΔΙΑ

Οι δύο μεγαλύτερες πόλεις, η πρωτεύουσα Στοκχόλμη και το Γκέτεμποργκ εξετάστηκαν για τη περίπτωση της Σουηδίας. Οι συγκεντρώσεις μεμονωμένων σταθμών μέτρησης καθώς και οι μέσες συγκεντρώσεις αυτών των πόλεων φαίνονται στους Πίνακες 4.23-4.24 και στα Σχήματα 4.21-4.22.

Πίνακας 4.23: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για τη Στοκχόλμη.

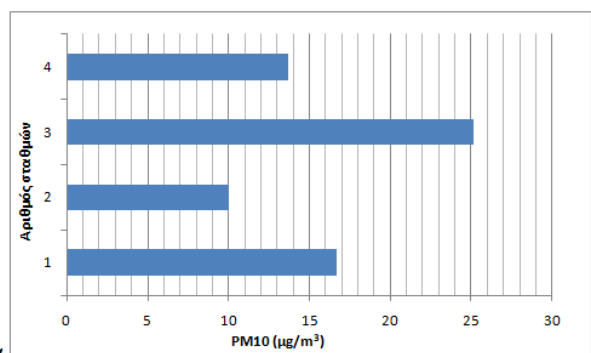
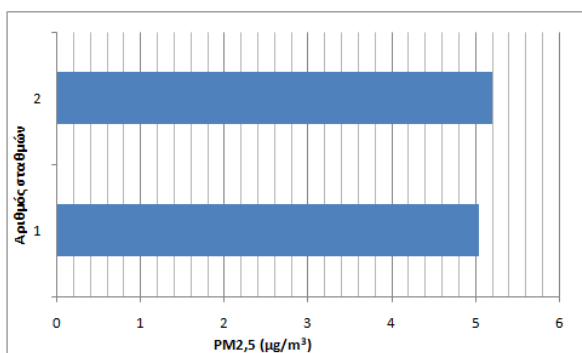
Στοκχόλμη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Στοκχόλμη
Sundbyberg Tulegatan 9	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	7,94	5,9
Stockholm E4/E20 Lilla Essingen	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	19,89	14,13
Stockholm Torkel Knutssongatan	Αστική/	PM ₁₀	10,29	



Σχήμα 4-21: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης της Στοκχόλμης.

Πίνακας 4.24: Συγκεντρώσεις PM2,5 και PM10 για το Γκέτεμποργκ.

Γκέτεμποργκ				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) για το Γκέτεμποργκ
Göteborg Haga	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM2,5	5,19	5,11
Göteborg Femman	Αστική	PM2,5	5,03	
Göteborg Femman	Αστική	PM10	10,02	16,38
Göteborg Grinda	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	25,17	



Σχήμα 4-22: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Γκέτεμποργκ.

Η μέση συγκέντρωση σε PM2,5 τόσο για τη Στοκχόλμη όσο και για το Γκέτεμποργκ είναι πολύ κοντά στα όρια του ΠΟΥ. Επίσης, καλή είναι η εικόνα και για τις δύο πόλεις όσον αφορά τη συγκέντρωση σε PM10. Και για τις δύο κατηγορίες ρύπων το Γκέτεμποργκ παρουσιάζει ελαφρώς χειρότερη επίδοση.

ΔΑΝΙΑ

Για τη Δανία, η πόλη η οποία εξετάστηκε, ήταν η Κοπεγχάγη και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.25.

Πίνακας 4.25: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για τη Κοπεγχάγη.

Κοπεγχάγη				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για τη Κοπεγχάγη
"Copenhagen/1103"	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	8,39	8,39
"Copenhagen/1103"	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM ₁₀	23,4	23,4

Η ποιότητα του αέρα της Κοπεγχάγης σχετικά με τη μέση συγκέντρωση σε PM_{2,5} κρίνεται ως καλή ενώ σχετικά με την αντίστοιχη σε PM₁₀ ως ικανοποιητική.

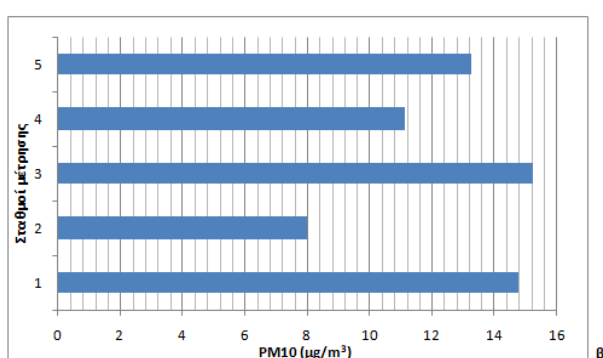
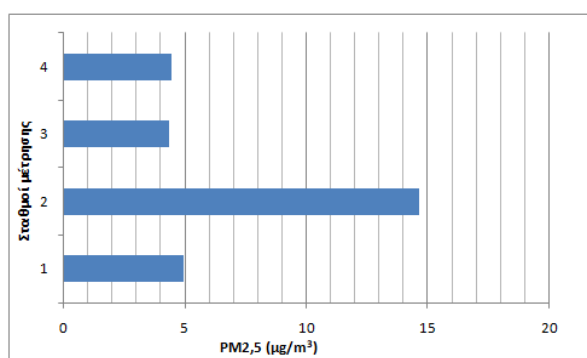
ΙΣΛΑΝΔΙΑ

Η πρωτεύουσα Ρέικιαβικ της Ισλανδίας ήταν αυτή που μελετήθηκε για τις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων (Πίνακας 4.26, Σχήμα 4.23).

Πίνακας 4.26: Συγκεντρώσεις PM_{2,5} και PM₁₀ για το Ρέικιαβικ.

Ρέικιαβικ				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Ρέικιαβικ
Reykjavik Grensas	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	14,64	

Hafnarfjörður Hvaleyrarholt	Προάστειο/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM2,5	4,35	7,08
koravogur Dalsm	Προάστειο	PM2,5	4,91	
Reykjavik Grensas	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM10	15,23	12,48
Reykjavik Husdyragardurinn	Αστική	PM10	14,78	
Hafnarfjörður Norurhella	Βιομηχανικό περιβάλλον Προάστειο	PM10	13,26	



Σχήμα 4-23: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για τους σταθμούς μέτρησης του Ρέικιαβικ.

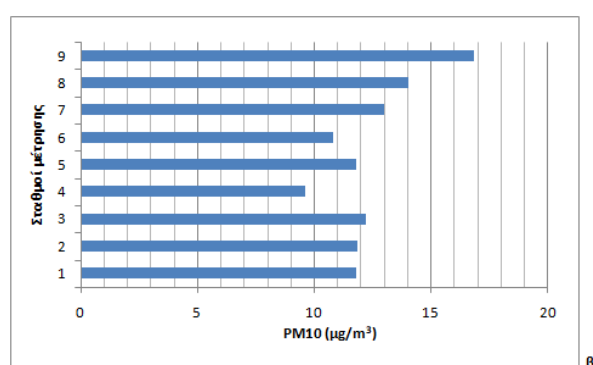
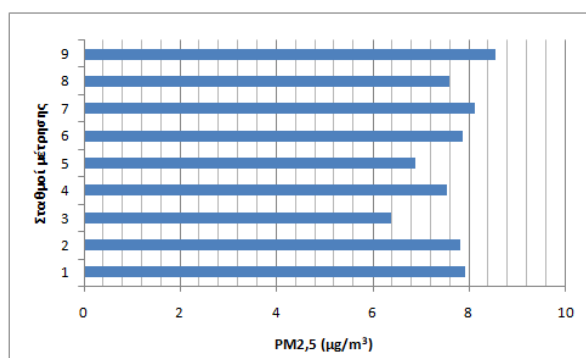
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ποιότητα του αέρα στο Ρέικιαβικ είναι καλή τόσο για τις συγκεντρώσεις σε PM2,5 όσο και για τις συγκεντρώσεις σε PM10. Από το Σχήμα 4.23α προκύπτει ότι τρεις από τους τέσσερις σταθμούς έχουν χαμηλότερες ή ίσες τιμές με τα όρια που έχει θέσει ο ΠΟΥ.

ΙΡΛΑΝΔΙΑ

Όσον αφορά την Ιρλανδία η πόλη που εξετάστηκε ήταν η πρωτεύουσα της το Δουβλίνο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στον Πίνακα 4.27 και στο Σχήμα 4.24.

Πίνακας 4.27: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για το Δουβλίνο.

Δουβλίνο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Δουβλίνο
Dublin Inchicore Davitt Road	Προάστειο/ Οδική αρτηρία	PM2,5	8,54	7,62
Dublin Rathmines Wynnefield Road	Αστική /	PM2,5	7,9	
Dublin Ringsend Recycling Centre	Προάστειο / Οδική αρτηρία	PM10	16,81	12,43
Dublin Marino Brian Road	Προάστειο /	PM10	12,2	



Σχήμα 4-24: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Δουβλίνου.

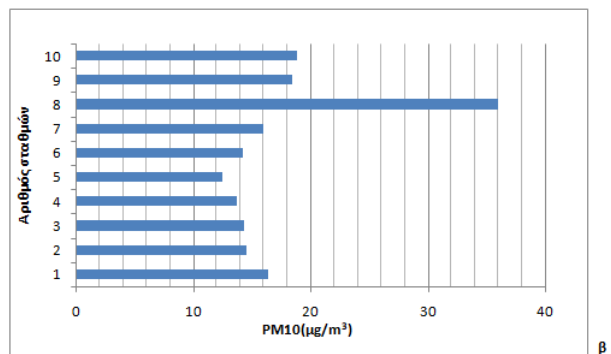
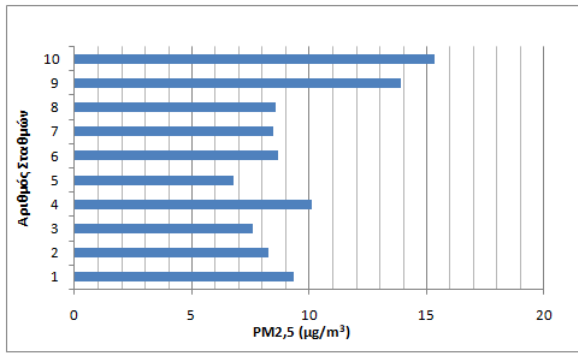
Η ποιότητα του αέρα προέκυψε πως ήταν καλή, τόσο σε σχέση με τη συγκέντρωση σε PM2,5 όσο και σε σχέση με τη συγκέντρωση σε PM10, από όλους τους σταθμούς που εξετάστηκαν.

ΑΓΓΛΙΑ

Για την Αγγλία αντικείμενο παρατήρησης έγιναν, η πρωτεύουσα της, το Λονδίνο και η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της, το Μάντσεστερ. (Πίνακες 4.28-4.29 και Σχήματα 4.25- 4.26).

Πίνακας 4.28: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για το Λονδίνο.

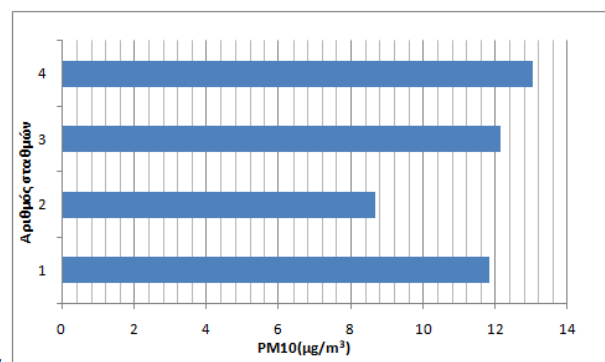
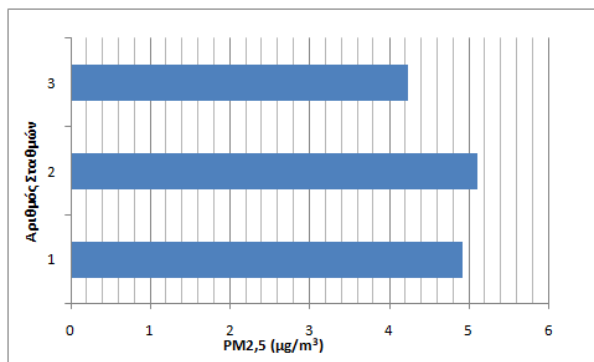
Λονδίνο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Λονδίνο
London Marylebone Road	Αστική/ Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	15,312	9,7
London Harlington	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM _{2,5}	8,57	
London Westminster -	Αστική	PM _{2,5}	10,08	
Ealing Horn Lane	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	35,96	17,51
London Harlington	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	14,24	
London Bloomsbury	Αστική	PM ₁₀	16,45	



Σχήμα 4-25: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για τους σταθμούς μέτρησης του Λονδίνου.

Πίνακας 4.29: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για το Μάντσεστερ.

Μάντσεστερ				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Μάντσεστερ
Salford Eccles	Αστική	PM2,5	5,09	4,5
Bury Whitefield Roadside	Αστική / Οδική αρτηρία	PM10	13,03	11,41
Salford Eccles	Αστική	PM10	12,13	



Σχήμα 4-26: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Μάντσεστερ.

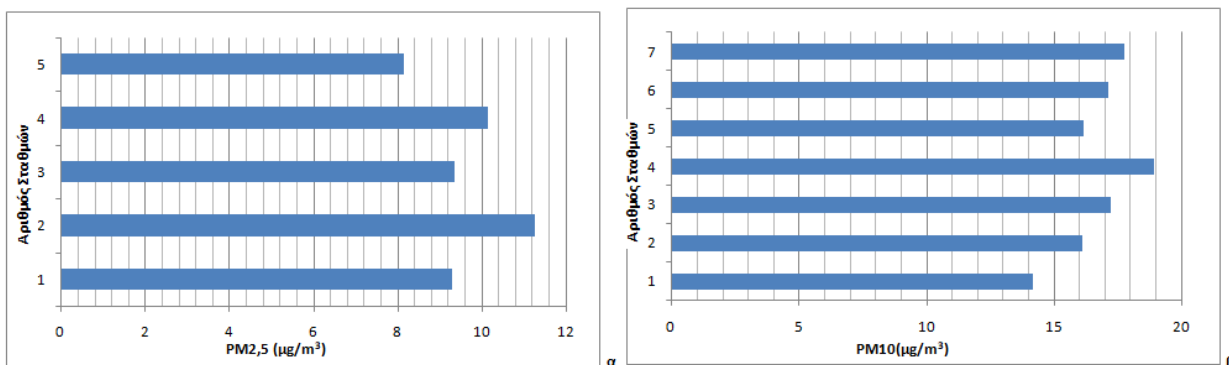
Από την ανάλυση προέκυψε ότι το Λονδίνο παρουσιάζει χειρότερη επίδοση και σε σχέση με τα PM_{2,5} και σε σχέση με τα PM₁₀ συγκριτικά με το Μάντσεστερ. Επίσης από το Σχήμα 4.25β προκύπτει ότι ένας σταθμός μέτρησης του Λονδίνου ο οποίος βρίσκεται σε οδική αρτηρία καταγράφει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε PM₁₀ σε σχέση με τους υπόλοιπους οι οποίοι καταγράφουν παρόμοιες τιμές.

ΟΛΛΑΝΔΙΑ

Για την Ολλανδία οι πόλεις οι οποίες εξετάστηκαν ήταν το Άμστερνταμ και το Ρότερνταμ. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στους Πίνακες 4.30-4.31 και στα Σχήματα 4.27-4.28.

Πίνακας 4.30: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για το Άμστερνταμ.

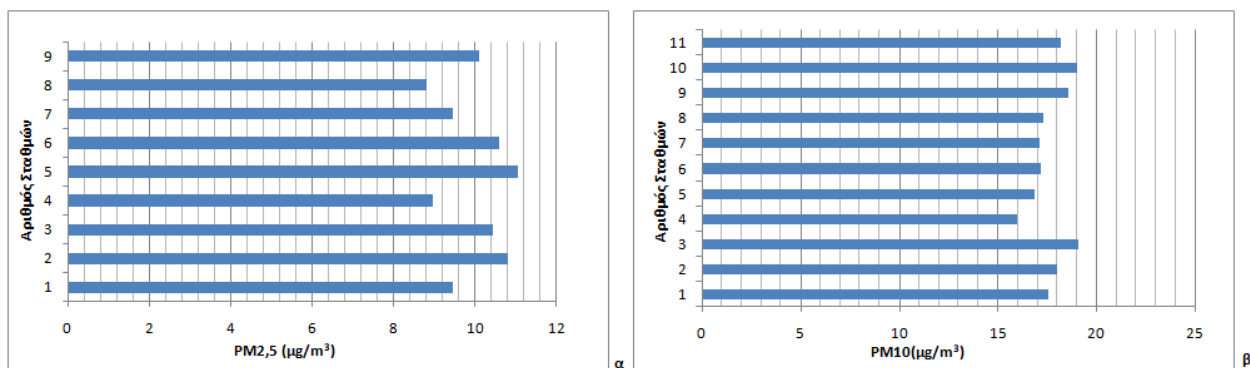
Άμστερνταμ				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Άμστερνταμ
Amsterdam-Vondelpark	Αστική /	PM _{2,5}	9,36	9,65
Amsterdam-Stadhouderskade	Αστική / Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	11,28	
Amsterdam-Westerpark	Αστική /	PM ₁₀	16,12	16,79
Amsterdam-Jan van Galenstraat	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	18,93	
Zaanstad-Hemkade	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM ₁₀	17,25	



Σχήμα 4-27: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Άμστερνταμ.

Πίνακας 4.31: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για το Ρότερνταμ.

Ρότερνταμ				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το Ρότερνταμ
Schiedam-Alphons Arienstraat	Αστική /	PM2,5	10,8	9,96
Hoek v. Holland-Berghaven	Βιομηχανικό περιβάλλον/ Αγροτική	PM2,5	8,95	
Rotterdam Zuid-Pleinweg	Αστική / Οδική αρτηρία	PM2,5	11,06	
Vlaardingen-Riouwlaan	Αστική / Οδική αρτηρία	PM10	19,04	17,73
Rotterdam-Schiedamsevest	Αστική /	PM10	19,1	
Hoek v. Holland-Berghaven	Βιομηχανικό περιβάλλον/ Αγροτική	PM10	17,18	



Σχήμα 4-28: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Ρότερνταμ.

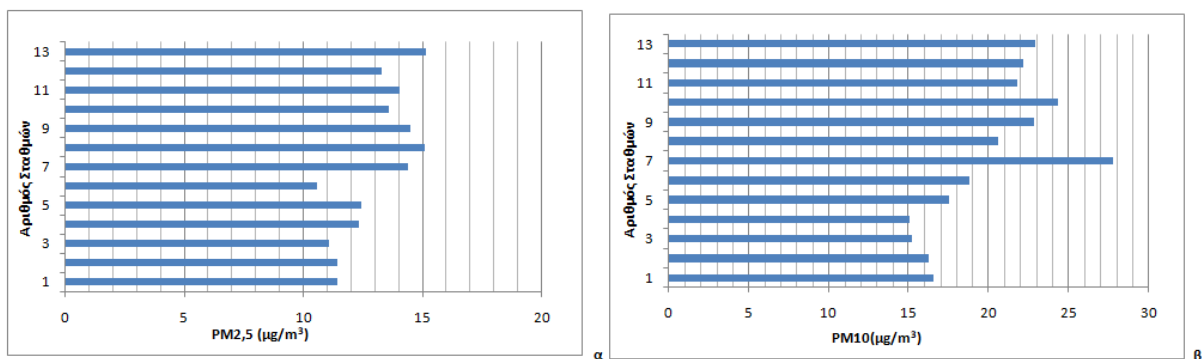
Από τους Πίνακες 4.30-4.31 και τα Σχήματα 4.27-4.28 προκύπτει ότι Άμστερνταμ και Ρότερνταμ έχουν καλή ποιότητα αέρα και εμφανίζουν σχεδόν ίδιες συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων.

ΓΕΡΜΑΝΙΑ

Για τη Γερμανία οι πόλεις οι οποίες εξετάστηκαν ανήκουν στο βόρειο τμήμα της και είναι το Βερολίνο και το Αμβούργο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στους Πίνακες 4.32-4.33 και στα Σχήματα 4.29-4.30.

Πίνακας 4.32: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM_{2,5} και PM₁₀ για το Βερολίνο.

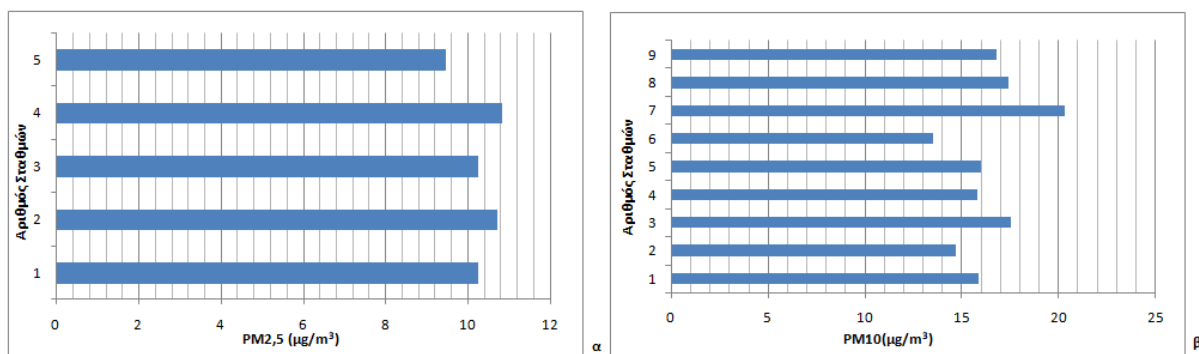
Βερολίνο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (μg/m ³) για το Βερολίνο
Berlin Mitte	Αστική	PM _{2,5}	12,41	13,02
Berlin Karl-Marx-StraSse II	Αστική / Οδική αρτηρία	PM _{2,5}	15,13	
Berlin Silbersteinstraße	Αστική / Οδική αρτηρία	PM ₁₀	27,76	20,11
Berlin Mitte	Αστική	PM ₁₀	18,75	



Σχήμα 4-29: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Βερολίνου.

Πίνακας 4.33: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για το Αμβούργο.

Αμβούργο				
Σταθμός μέτρησης	Περιοχή/ Τοποθεσία	Ρύπος που μετρήθηκε	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το συγκεκριμένο σταθμό	Συγκέντρωση ρύπου (µg/m ³) για το Αμβούργο
Hamburg Wilhelmsburg	Αστική	PM2,5	10,83	10,31
Hamburg Veddel	Βιομηχανικό περιβάλλον/ Αστική	PM2,5	9,48	
Hamburg Habichtstraße	Αστική / Οδική αρτηρία	PM2,5	10,71	
Hamburg Habichtstraße	Αστική / Οδική αρτηρία	PM10	20,3	16,43
Hamburg Hafen	Αστική	PM10	17,53	
Hamburg Veddel	Αστική/ Βιομηχανικό περιβάλλον	PM10	15,96	



Σχήμα 4-30: Συγκεντρώσεις σωματιδίων PM2,5 και PM10 για όλους τους σταθμούς μέτρησης του Αμβούργου.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που προέκυψαν για αυτές τις δύο γερμανικές πόλεις έδειξαν ότι το Αμβούργο παρουσιάζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις τόσο σε PM2,5 όσο και σε PM10 σε σχέση με το Βερολίνο ενώ όσον αφορά την ποιότητα του αέρα σχετικά με τα PM2,5 αυτή είναι ικανοποιητική και για τις δύο πόλεις.

4.4 Σύγκριση συγκεντρώσεων σωματιδίων PM2,5 και PM10 ανάμεσα στις πόλεις της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης

Η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των πόλεων της Νότιας Ευρώπης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των πόλεων της Βόρειας Ευρώπης τόσο σε PM2,5 όσο και σε PM10 για το έτος 2021. Η μέση συγκέντρωση σε PM2,5 για τις πόλεις της Νότιας Ευρώπης υπολογίστηκε σε 12,7 µg/m³ ενώ για τις πόλεις της Βόρειας Ευρώπης σε 8,08 µg/m³. Αντίστοιχα, η μέση συγκέντρωση σε PM10 για τις πόλεις της Νότιας Ευρώπης υπολογίστηκε σε 25,05 µg/m³ ενώ για τις πόλεις της Βόρειας Ευρώπης σε 16,20 µg/m³. Σύμφωνα με τα όρια που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Πίνακας 4.1) η ποιότητα του αέρα είναι καλή για τις πόλεις της Βόρειας Ευρώπης τόσο σε σχέση με τη μέση συγκέντρωση σε PM2,5 όσο και σε σχέση με τη συγκέντρωση σε PM10. Για τις πόλεις της Νότιας Ευρώπης η ποιότητα του αέρα κρίνεται ως ικανοποιητική.

Οι κυριότερες πηγές PM2,5 και PM10 είναι οι εξής (31):

- Οι εκπομπές των οχημάτων
- Η βιομηχανία
- Η οικιακή θέρμανση (π.χ. καύση ξύλου, πετρελαίου)

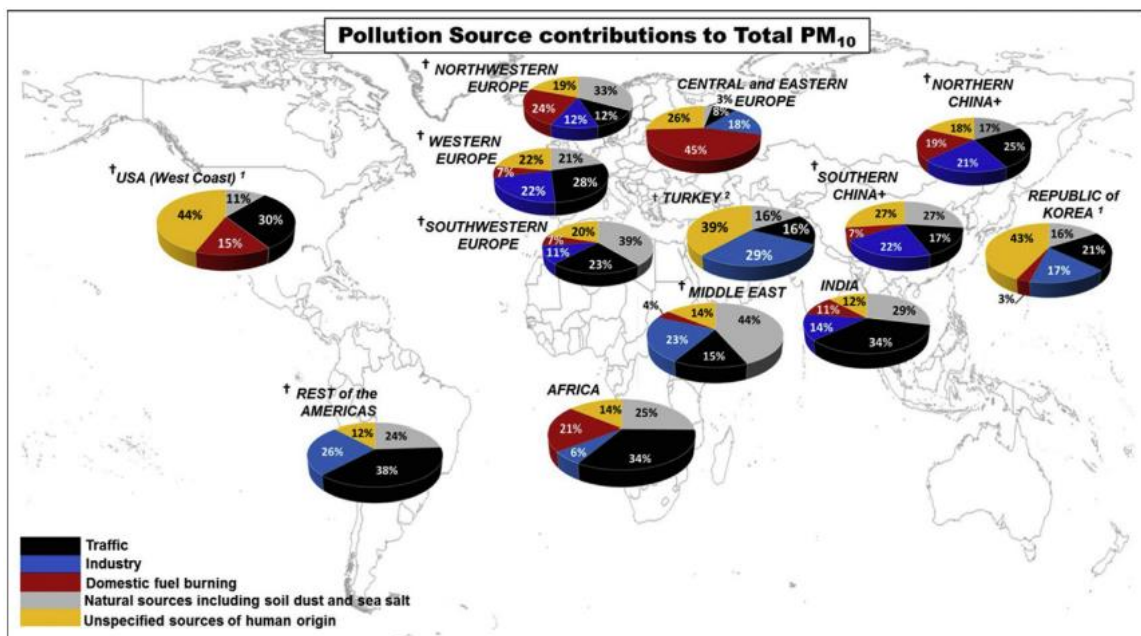
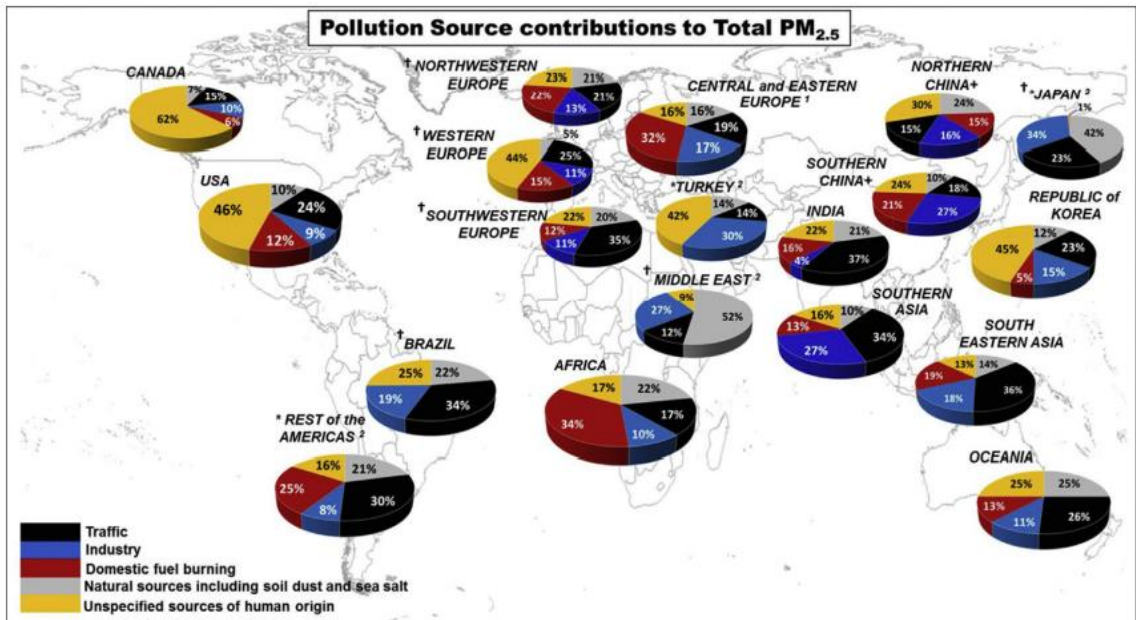
- Φυσικές πηγές, όπως η σκόνη του εδάφους και το θαλασσινό αλάτι
- Οι μη καθορισμένες πηγές ανθρώπινης προέλευσης. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως δευτερογενή σωματίδια που σχηματίζονται από μη καθορισμένες πηγές ρύπανσης ανθρώπινης προέλευσης. Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω αντιδράσεων πρωτογενών αερίων ρύπων (διοξείδιο του αζώτου NO_2 , αμμωνία NH_3 , διοξείδιο του θείου SO_2 , πτητικές οργανικές ενώσεις μη μεθανίου NMVOCs)

Επομένως, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται ο σταθμός μέτρησης αλλά και η ίδια η πόλη παίζουν καθοριστικό ρόλο για το είδος, την πηγή και τη συγκέντρωση των σωματιδίων στις πόλεις που μελετήθηκαν. Για παράδειγμα στην Πάτρα και τη Μασσαλία, οι οποίες είναι παραθαλάσσιες περιοχές, ένα μέρος των σωματιδίων θα ανήκει στην κατηγορία των φυσικών πηγών. Παρ' όλ' αυτά διαφοροποίηση των πηγών των σωματιδίων υπάρχει και σε διαφορετικές περιοχές της ίδιας της πόλης. Για παράδειγμα, στο Αμβούργο που εξετάστηκε, τα σωματίδια που καταγράφει ένας σταθμός που βρίσκεται σε μία οδική αρτηρία, οφείλονται κυρίως στην οδική κυκλοφορία. Αντιθέτως, σε έναν σταθμό που βρίσκεται σε μία βιομηχανική περιοχή, η κυριότερη πηγή των σωματιδίων μπορεί να είναι κάποια βιομηχανική μονάδα.

Όσον αφορά τη σύγκριση στο σύνολο των πόλεων που μελετήθηκαν, η αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στις πόλεις της Νότιας Ευρώπης μπορεί να οφείλεται στο κλίμα καθώς οι χώρες της Νότιας Ευρώπης έχουν πιο ζεστό και ξηρό κλίμα ενώ παράλληλα κάποιες χώρες δέχονται και σκόνη από την Αφρική. Επίσης ένας άλλος λόγος είναι ότι οι πόλεις της Βόρειας Ευρώπης χρησιμοποιούν σε μεγαλύτερο ποσοστό ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. για μεταφορές, για θέρμανση κλπ.) σε σχέση με τη Νότια Ευρώπη (32). Για παράδειγμα η Σουηδία και η Φινλανδία είναι δύο χώρες που αυτό το ποσοστό αγγίζει το 60,1% και το 43% αντίστοιχα. Επίσης σύμφωνα με την Ένωση Ευρωπαϊών Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (33) ο στόλος των οχημάτων πολλών κρατών της Νότιας Ευρώπης είναι γηραιότερος.

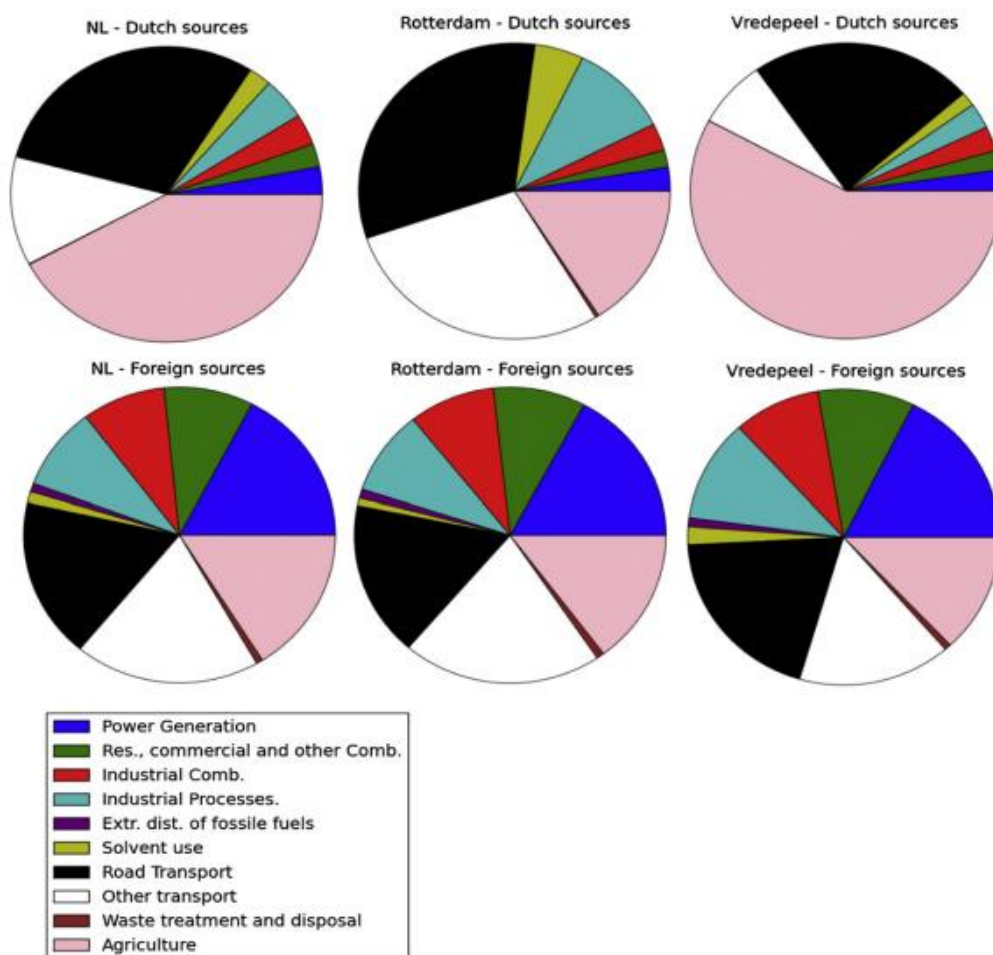
Επιπρόσθετα στοιχεία σχετικά με την πηγή προέλευσης των σωματιδίων μας δίνουν και οι μελέτες (31), (34) και (35). Οι Karagulian κ.α. (31) μέσω εντατικής βιβλιογραφικής έρευνας ασχολήθηκαν με τον προσδιορισμό των πηγών προέλευσης των σωματιδίων $\text{PM}_{2,5}$ και PM_{10} στις μεγάλες πόλεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε παγκόσμιο επίπεδο, το 25% της ρύπανσης του αστικού περιβάλλοντος από τα $\text{PM}_{2,5}$ προέρχεται από την κυκλοφορία, το 15% από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, το 20% από την καύση καυσίμων στις

οικίες, το 22% από μη καθορισμένες πηγές ανθρώπινης προέλευσης και το 18% από τη σκόνη και το (θαλασινό) αλάτι. Το Σχήμα 4.31 δίνει την πηγή προέλευσης των σωματιδίων για διάφορες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο, τα οποία αποτελούν ευρήματα της παραπάνω μελέτης.



Σχήμα 4-31: Πηγές προέλευσης των PM_{2,5} και PM₁₀ για διάφορες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι Hendrics κ.α. (34) μοντελοποιώντας με τη χρήση του προγράμματος LOTOS- EUROS προσπάθησαν να προσδιορίσουν τις πηγές των PM_{2,5} και PM₁₀ στην Ολλανδία για το χρονικό διάστημα από το 2007-2009. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 70%-80% των PM₁₀ και το 80%-95% των PM_{2,5} στην Ολλανδία είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Περίπου το 1/3 των PM₁₀ ανθρωπογενούς προέλευσης εκπέμπεται από την ίδια τη χώρα ενώ τα υπόλοιπα 2/3 προέρχονται από ξένες χώρες. Όσον αφορά τα PM₁₀ που εκπέμπονται εντός Ολλανδίας οι τομείς της γεωργίας και των μεταφορών είναι αυτοί με τη μεγαλύτερη συμβολή. Οι ίδιοι τομείς είναι υπεύθυνοι και για τα PM_{2,5}. Επίσης οι πυκνοκατοικημένες περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων. Στο Σχήμα 4.32 φαίνεται ποιοι τομείς συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή PM₁₀ για την Ολλανδία συνολικά καθώς και για τις πόλεις Rotterdam και Vredepeel.



Σχήμα 4-32: Τομείς που συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή PM₁₀ για την Ολλανδία συνολικά καθώς και για τις πόλεις Rotterdam και Vredepeel.

Οι Pültz κ.α. (35) χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα LOTOS-EUROS με στόχο να εντοπίσουν την πηγή προέλευσης των μικροσωματιδίων στο Βερολίνο για το διάστημα από το 2016-2018 υπολόγισαν ότι η μέση συγκέντρωση PM_{2,5} στο Βερολίνο για το παραπάνω χρονικό διάστημα ήταν 10,4 μg/m³. Τα νοικοκυριά ήταν υπεύθυνα για τα 3,2 μg/m³, ο τομέας της βιομηχανίας και της ενέργειας για τα 2 μg/m³ ενώ οι υπόλοιποι τομείς ήταν υπεύθυνοι για το υπόλοιπο μισό. Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η συγκέντρωση σε PM₁₀. Από γεωγραφική άποψη, η κύρια πηγή για τα PM_{2,5} στο Βερολίνο είναι η ίδια η Γερμανία με συγκεντρώσεις που αγγίζουν τα 5,1 μg/m³, με τις διασυνοριακές μεταφορές να είναι υπεύθυνες για τα 3,4 μg/m³. Οι γερμανικές πηγές θα μπορούσαν να χωριστούν περαιτέρω σε Βερολίνο (2,6 μg/m³), Βραδεμβούργο (0,7 μg/m³) και στις υπόλοιπες πολιτείες της Γερμανίας (1,8 μg/m³). Περίπου το ένα τρίτο των PM_{2,5} που προέρχονται από άλλα κράτη έχουν πηγή την Πολωνία και την Τσεχία.

Κεφάλαιο 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά μελετήθηκαν τα προβλήματα που προκαλούν τα σωματίδια PM_{2,5} και PM₁₀ στην ανθρώπινη σωματική και ψυχική υγεία καθώς και στην οικονομία της Ευρώπης. Επίσης έγινε αναφορά στον εκτιμώμενο αριθμό των πρόωρων θανάτων λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των παραπάνω μικροσωματιδίων καθώς και τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από τη μείωσή τους. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση ετήσια συγκέντρωση για πόλεις της Βόρειας και της Νότιας Ευρώπης καθώς και η κατανομή των συγκεντρώσεων από όλους τους σταθμούς μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πόλεις της Νότιας Ευρώπης που εξετάστηκαν παρουσιάζουν χειρότερες τιμές σε σχέση με αυτές της Βόρειας Ευρώπης. Ωστόσο η ποιότητα του αέρα κρίνεται ικανοποιητική. Παρ' όλ' αυτά τόσο οι πόλεις της Νότιας όσο και της Βόρειας Ευρώπης παρουσιάζουν συγκεντρώσεις σε PM_{2,5} οι οποίες είναι μεγαλύτερες από τα 5 μg/m³ που προτείνει ο ΠΟΥ. Οι κυριότεροι λόγοι της αυξημένης συγκέντρωσης σωματιδίων στη Νότια Ευρώπη είναι το κλίμα (ξηρό και θερμό), η μικρότερη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ορισμένες χώρες της Βόρειας Ευρώπης όπως η Σουηδία και η Φινλανδία είναι πρωταθλήτριες στη χρήση ανανεώσιμων πηγών) και ο γηραιότερος στόλος των οχημάτων, ορισμένων χωρών του νότου, όπως των Βαλκανικών.

Οι συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν βασίστηκαν στις μέσες ετήσιες τιμές των σταθμών μέτρησης. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπήρξαν περίοδοι όπου η ποιότητα του αέρα ήταν χαμηλή λόγω μεγαλύτερης συγκέντρωσης σωματιδίων. Επομένως, ένα αντικείμενο μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει ο προσδιορισμός αυτών των ακραίων τιμών συγκεντρώσεων καθώς και η χρονική περίοδος και η διάρκεια που αυτές παρουσιάζονται. Ένα άλλο αντικείμενο μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει η καταγραφή και άλλων αέριων ρύπων (π.χ. CO, NO_x) οι πηγές τους, οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία καθώς και τρόποι μείωσής τους. Τέλος, θα μπορούσε η παραπάνω έρευνα να επεκταθεί και για μη αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία καθώς και τρόποι μείωσής τους. Από τα παραπάνω κάποια θέματα διπλωματικών εργασιών που θα μπορούσαν να εκπονηθούν είναι: <<Προσδιορισμός των ακραίων συγκεντρώσεων PM_{2,5} και καταγραφή των χρονικών στιγμών που παρουσιάζονται>>, <<Επιπτώσεις PM_{2,5} στην ανθρώπινη υγεία και τρόποι μείωσής τους>>.

<< Επιπτώσεις αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία και μέτρα μείωσής τους>> και <<Επιπτώσεις μη αέριων ρύπων στον άνθρωπο και στο περιβάλλον και τρόποι αντιμετώπισης>>.

Βιβλιογραφία

- [1] Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, (1996), ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0061&from=EL> (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [2] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Τι είναι η ρύπανση; :<https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2020/grafikes-plirofories/ti-einai-i-ryransi/view> (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [3] National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, A Brief History of Pollution: https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_pollution/02history.html (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [4] Jarrige F., Le Roux T. Βιομηχανικό περιβάλλον pollution in Europe, Digital Encyclopedia Of European History: https://ehne.fr/en/encyclopedia/themes/ecology-and-environment-in-europe/environmental-risks/Βιομηχανικό_περιβάλλον-pollution-in-europe (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [5] European Parliament, (2019), Environmental protection: https://what-europe-does-for-me.eu/data/pdf/focus/focus07_en.pdf (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [6] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, (2020), Η κατάσταση του περιβάλλοντος στην Ευρώπη το 2020: <https://www.eea.europa.eu/el/highlights/i-katastasi-toy-periballontostin> (ανακτήθηκε στις 27/2/2022).
- [7] Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, (2020), Air Quality in Europe, <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/36559.pdf>
- [8] Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο, (2013), Air Pollution and Cancer
- [9] World Health Organization, (2015), World Health Statistics
- [10] California Air Sources Board, Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10), <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>
- [11] World Health Organization, (2013), Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia, https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
- [12] European Environment Agency, (2021), Health impacts of air pollution in Europe, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/health-impacts-of-air-pollution>
- [13] Sicard, P., Agathokleous, E., De Marco, A., Paoletti, E., & Calatayud, V., (2021). Population exposure to air pollution in Europe over the last decades, Environmental sciences Europe, Vol. 33, 28, <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00450-2>
- [14] World Health Organization, (2021), Global air quality guidelines, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] European commission, (2015), report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions the second clean air outlook, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0003&from=EN>
- [16] Barmpadimos I, Hueglin C, Keller J, Henne S, Prévôt ASH (2011) Influence of meteorology on PM₁₀ trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008, Atmos Chem Phys, Vol.11, pp.1813–1835. doi: 10.5194/acp-11-1813-2011.

- [17] CE Delft, (2020), Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport, https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_190272_Health_costs_of_air_pollution_in_European_cities_and_the_linkage_with_transport_Delf.pdf.
- [18] Giaccherini, M, Kopinska, J., Palma, A., (2021), When particulate matter strikes cities: Social disparities and health costs of air pollution, *Journal of Health Economics*, Vol. 78, 102478, <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2021.102478>.
- [19] World Bank Group, (2021), The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution A Case for Action Beyond 2021, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/36501/9781464818165.pdf?sequence=4>.
- [20] Jackson G Lu, (2020), Air pollution: A systematic review of its psychological, economic, and social effects, *Current Opinion in Psychology*, Vol.32, pp. 52-65, <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.024>.
- [21] Dong R, Fisman R, Wang Y, Xu N, (2019): Air pollution, affect, and forecasting bias: evidence from Chinese financial analysts, *Journal of Financial Economics*, Vol. 139, pp. 971-984, <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.12.004>.
- [22] J. Archsmith, A. Heyes, S. Saberian, (2018), Air quality and error quantity: pollution and performance in a high-skilled, quality-focused occupation, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, Vol. 5, pp. 827-863.
- [23] Chew SH, Huang W, Li X, (2021) Does haze cloud decision making? A natural laboratory experiment, *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol.182, pp. 132-161, <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2020.12.007>.
- [24] Huang J, Xu N, Yu H, (2019), Pollution and performance: Do investors make worse trades on hazy days? *Management Science*, INFORMS, Vol. 66, pp. 4455-4476, doi: 10.1287/mnsc.2019.3402.
- [25] J. Zhang, Q. Mu, (2018), Air pollution and defensive expenditures: evidence from particulate-filtering facemasks, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 92, pp. 517-536, 10.1016/j.jeem.2017.07.006.
- [26] T.Y. Chang, W. Huang, Y. Wang, (2018), Something in the air: pollution and the demand for health insurance *Rev Econ Stud*, 85, pp. 1609-1634, 10.1093/restud/rdy016.
- [27] J.G. Lu, J.J. Lee, F. Gino, Galinsky A.D., (2018), Polluted morality: air pollution predicts criminal activity and unethical behavior, *Psychological Science*, Vol.29, pp. 340-355, 10.1177/0956797617735807.
- [28] Bondy M, Roth S, Sager L, (2020), Crime is in the air: the contemporaneous relationship between air pollution and crime, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, Vol.7, pp.555-585.
- [29] European Environment Agency, (2022), Discover Map Services, <https://discomap.eea.europa.eu/App/AirQualityStatistics/index.html#>.
- [30] European Environmental Agency, (2022), Up-to-date air quality data, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/explore-interactive-maps/up-to-date-air-quality-data>.
- [31] Karagulian F., Belis C. A., Carlos Francisco C. D., Prüss-Ustün A. M., Bonjour S., Adair-Rohani H., Amann M., (2015), Contributions to cities ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level, *Atmospheric Environment*, Vol.120, pp. 475-483, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>.
- [32] Eurostat, (2020), Renewable energy statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2020.

- [33] Association of European Automobile Manufacturers (ACEA), (2018), what is the average age of cars in Europe?, Ανακτήθηκε από: <https://avtotachki.com/en/kakoy-sredniy-vozrast-avtomobiley-v-evrope/>.
- [34] Hendriks C, Kranenburg R, Kuenen J, Van Gijlswijk R., Wichink Kruit R, Segers A, Denier van der Gon H, Schaap M., (2013), The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands, Atmospheric Environment, Vol. 69, pp. 289-303, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.12.017>
- [35] Pültz J. , Banzhaf S., Thürkow M , Kranenburg R., Schaap M., (2023), Source attribution of particulate matter in Berlin, Atmospheric Environment, Vol. 292, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119416>.