



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ
ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ
ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ**

ΖΑΠΑΝΤΙΩΤΗΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Α΄: ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ
ΑΝΔΡΕΑΣ**
**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Β΄: ΚΑΡΑΠΑΝΑΓΙΩΤΗ
ΧΡΥΣΗ ΚΑΣΣΙΑΝΗ**

ΠΑΤΡΑ 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στη Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου (Ε.Α.Π.), στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Αποβλήτων».

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, στον (Α' επιβλέποντα) καθηγητή μου κύριο Ανδρέα Καζαντζίδη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, την βοήθεια του και την εξαιρετική συνεργασία, τα οποία οδήγησαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ εξίσου θερμά την (Β' επιβλέπουσα) κύρια Χρυσή Κασσιανή Καραπαναγιώτη για τη συμβολής της στη διπλωματική μου.

Τέλος, την παρούσα διπλωματική θα ήθελα να την αφιερώσω στην οικογένειά μου για την αγάπη και την διαρκή παρότρυνση προς τη γνώση αλλά και στον φίλο μου Λάμπρο Δαρδαμάνη του οποίου το μικρόβιο για τη μάθηση συνέβαλε τα μέγιστα.

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
1.ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	13
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ	13
1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ	13
1.3 ΣΥΝΘΕΣΗ	14
1.4 ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	19
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	19
2.2 ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	19
2.3 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	20
2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	21
2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	27
3. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	27
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ/ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	27
3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	27
3.2.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ	28
3.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΡΟΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	29
3.2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ.....	31
3.2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	32
3.3 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	34
3.3.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ.....	34
3.3.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	34
3.3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	35
3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ	36
3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	38

3.6 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	39
3.6.1 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ	39
3.6.2 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΤΟΜΕΑ.....	40
3.6.3 ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	40
3.6.4 ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ	41
3.6.5 ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	43
4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ.....	43
4.1 ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ	43
4.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	45
4.2.1 ΜΕΣΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΗΝΩΝ	45
4.2.2 ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΗΝΩΝ	48
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ PM _{2.5} – ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ.....	49
4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	49
4.3.2 ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING.....	52
4.3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING ΣΕ ΡΥΤΗΘΝ	53
4.3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING ΣΕ ΡΥΤΗΘΝ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ Z.....	58
4.3.5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING ΣΕ ΡΥΤΗΘΝ – ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΟΙΝΟ ΕΥΡΟΣ Ζ (MAX=42μg/m ³ , MIN=12 μg/m ³)	71
4.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	124

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «Τριών Ναυάρχων», «64ο Δημοτικό Πάτρας», «Κρητικά» και «Πειραματικό Λάγγουρα» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Διάγραμμα 4.2: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «19ο Γυμνάσιο Πάτρας», «Λεύκα», «Δεμένικα», «Κουκούλι», «Παραλία» και «Κυψέλη» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Διάγραμμα 4.3: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «Πανεπιστήμιο Πατρών», «Πλατάνι», «Αγυιά», «Καστελόκαμπος» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Διάγραμμα 4.4: Μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «Λεύκα», «Τριών Ναυάρχων», «Καστελόκαμπος» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση PM_{2.5} στις περιοχές των σταθμών για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Πίνακας 4.3.1: Γεωγραφικά πλάτη (Latitude) και μήκη (Longitude) των σταθμών συλλογής συγκεντρώσεων PM_{2.5} στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας

Πίνακες 1-5: Μέση ωριαία τιμή αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες Δεκέμβριος 2022 – Φεβρουάριος 2023

Πίνακες 6-19: Μέση ημερήσια τιμή αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες Δεκέμβριος 2022 – Φεβρουάριος 2023 των 14 σταθμών μέτρησης

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα1: PM_{2.5} of all areas – Time [0:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα2: PM_{2.5} of all areas – Time [1:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα3: PM_{2.5} of all areas – Time [2:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα4: PM_{2.5} of all areas – Time [3:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα5: PM_{2.5} of all areas – Time [4:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα6: PM_{2.5} of all areas – Time [5:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα7: PM_{2.5} of all areas – Time [6:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα8: PM_{2.5} of all areas – Time [7:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα9: PM_{2.5} of all areas – Time [8:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα10: PM_{2.5} of all areas – Time [9:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα11: PM_{2.5} of all areas – Time [10:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα12: PM_{2.5} of all areas – Time [11:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα13: PM_{2.5} of all areas – Time [12:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα14: PM_{2.5} of all areas – Time [13:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα15: PM_{2.5} of all areas – Time [14:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα16: PM_{2.5} of all areas – Time [15:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα17: PM_{2.5} of all areas – Time [16:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα18: PM_{2.5} of all areas – Time [17:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα19: PM_{2.5} of all areas – Time [18:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα20: PM_{2.5} of all areas – Time [19:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα21: PM_{2.5} of all areas – Time [20:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα22: PM_{2.5} of all areas – Time [21:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα23: PM_{2.5} of all areas – Time [22:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα24: PM_{2.5} of all areas – Time [23:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with variable z

Γράφημα25: PM_{2.5} of all areas – Time [0:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα26: PM_{2.5} of all areas – Time [1:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα27: PM_{2.5} of all areas – Time [2:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα28: PM_{2.5} of all areas – Time [3:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα29: PM_{2.5} of all areas – Time [4:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα30: PM_{2.5} of all areas – Time [5:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα31: PM_{2.5} of all areas – Time [6:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα32: PM_{2.5} of all areas – Time [7:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα33: PM_{2.5} of all areas – Time [8:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα34: PM_{2.5} of all areas – Time [9:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα35: PM_{2.5} of all areas – Time [10:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα36: PM_{2.5} of all areas – Time [11:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα37: PM_{2.5} of all areas – Time [12:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα38: PM_{2.5} of all areas – Time [13:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα39: PM_{2.5} of all areas – Time [14:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα40: PM_{2.5} of all areas – Time [15:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα41: PM_{2.5} of all areas – Time [16:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα42: PM_{2.5} of all areas – Time [17:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα43: PM_{2.5} of all areas – Time [18:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα44: PM_{2.5} of all areas – Time [19:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα45: PM_{2.5} of all areas – Time [20:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα46: PM_{2.5} of all areas – Time [21:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα47: PM_{2.5} of all areas – Time [22:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

Γράφημα48: PM_{2.5} of all areas – Time [23:00] Yearly Average (December 2022-February 2023) with constant range of z (max=42 µg/m³, min=12 µg/m³)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι ένα μείζων παγκόσμιο περιβαλλοντικό ζήτημα που εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα αλλά και τη συνολική ευημερία του πλανήτη μας. Με την ταχεία εκβιομηχάνιση, την αστικοποίηση και την αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες, τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν φτάσει σε ανησυχητικά επίπεδα σε πολλές περιοχές παγκοσμίως. Στις μέρες μας, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει γίνει ένα πανταχού πρόβλημα που επηρεάζει τόσο τις ανεπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η εκπομπή επιβλαβών ρύπων στην ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων, των οξειδίων του αζώτου, του διοξειδίου του θείου, των πτητικών οργανικών ενώσεων και των αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλει στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα. Αυτοί οι ρύποι απελευθερώνονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, των μεταφορών, της παραγωγής ενέργειας και των γεωργικών πρακτικών. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια (PM ή Α.Σ.), η ρύπανση από αυτά έχει αναδειχθεί ως σημαντική ανησυχία για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία τα τελευταία χρόνια. Αυτά τα μικροσκοπικά σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα, που κυμαίνονται σε μεγέθη από χονδροειδή έως λεπτά, έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και την ποιότητα του αέρα. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωστατιστική χωροχρονική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων στο αστικό περιβάλλον και συγκεκριμένα στην περιοχή της Πάτρας έπειτα από τη συλλογή μετρήσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια ενός έτους έτσι ώστε να βγουν συμπεράσματα όσον αφορά την ποιότητα αέρα στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά και εγκυκλοπαιδική ανάλυση της ατμόσφαιρας της Γης. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται το ζήτημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και πιο συγκεκριμένα οι πηγές της, οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι αλλά και οι επιπτώσεις της στην υγεία και το περιβάλλον. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς τα αιωρούμενα σωματίδια και πιο συγκεκριμένα γίνεται ταξινόμηση τους με βάση του μεγέθους τους, του τρόπου σχηματισμού τους, της χημικής τους σύστασης και των επιπτώσεων τους στην υγεία του ανθρώπου. Επιπρόσθετα αναλύεται η επίδρασή τους στο περιβάλλον, το κλίμα της Γης αλλά και περιγράφονται μέτρα αντιμετώπισης τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα δεδομένα των μετρήσεων από τους σταθμούς συλλογής της Πάτρας έτσι ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα αέρα της περιοχής και επίσης θα παρουσιαστούν γραφήματα τα οποία έχοντας εφαρμόσει τη μέθοδο του Ordinary Kriging (γεωστατιστική παρεμβολή) χρησιμοποιώντας το exponential model, θα απεικονίζουν τις συγκέντρωση των PM_{2.5} συναρτήσει της περιοχής και της περιόδου του χρόνου.

Λέξεις – Κλειδιά: Αιωρούμενα σωματίδια, ατμόσφαιρα, αέρια ρύπανση, γεωστατιστική παρεμβολή

ABSTRACT

Air pollution is a major global environmental issue that poses significant risks to human health, ecosystems and the overall well-being of our planet. With rapid industrialization, urbanization and increasing energy consumption in recent decades, air pollution levels have reached alarming levels in many regions of the world. Nowadays, air pollution has become a ubiquitous problem affecting both developed and developing countries. The emission of harmful pollutants into the atmosphere, including particulate matter, nitrogen oxides, sulfur dioxide, volatile organic compounds and greenhouse gases, contributes to the degradation of air quality. These pollutants are released from a variety of sources, including industrial activities, transportation, energy production, and agricultural practices. More specifically, with regard to suspended particles (PM) their pollution has emerged as a major concern for the environment and human health in recent years. These tiny airborne particles, ranging in size from coarse to fine, have far-reaching effects on human health, ecosystems and air quality. The purpose of this thesis is the geostatic spatiotemporal analysis of suspended particles in the urban environment and specifically in the area of Patras after collecting measurements of the concentrations of suspended particles during a year so that conclusions can be drawn regarding the air quality in the wider area of Patras. In the first chapter of the paper, there is a reference and an encyclopedic analysis of the Earth's atmosphere. In the second chapter, the issue of atmospheric pollution is developed and more specifically its sources, the main atmospheric pollutants as well as its effects on health and the environment. In the third chapter, suspended particles are extensively analyzed and more specifically, they are classified based on their size, the way they are formed, their chemical composition and their effects on human health. In addition, their impact on the environment, the Earth's climate is analyzed and countermeasures are described. In the fourth chapter of the work, the measurement data from the collection stations of Patras will be presented and analyzed in order to draw conclusions about the air quality of the area and graphs will be presented which will be produced by using the Ordinary Kriging method (exponential model) that will illustrate the concentration of PM depending on the area but also the period of time.

Keywords: Particulate matter, $PM_{2.5}$, PM_{10} , atmosphere, air pollution, geostatistical interpolation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ

Η ατμόσφαιρα είναι ένα μείγμα αερίων που περιβάλλει τη Γη και συγκρατείται στη θέση της λόγω της βαρύτητας. Αποτελείται κυρίως από άζωτο (78%) και οξυγόνο (21%), με ίχνη άλλων αερίων όπως διοξείδιο του άνθρακα. Η ατμόσφαιρα επίσης περιέχει υδρατμούς, κατά μέσο όρο περίπου στο 1%. Επίσης υπάρχουν μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια τα οποία ονομάζονται αερολύματα, τα οποία αποτελούνται από σκόνη, γύρη, άλατα από τη θάλασσα, ηφαιστειακή τέφρα, καπνός και ρύπους προερχόμενους από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η ύπαρξη της καθιστά δυνατή τη ζωή, παρέχοντάς μας αέρα για να αναπνέουμε, προστατεύοντάς μας από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία (UV) που προέρχεται από τον Ήλιο, παγιδεύοντας θερμότητα η οποία συνεισφέρει στη θέρμανση του πλανήτη και αποτρέπει τις ακραίες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της ημέρας και της νύχτας. Καθένας από τους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος έχει μια ατμόσφαιρα, αλλά καμία από αυτές δεν έχει την ίδια αναλογία αερίων ή δομή στρωμάτων με την ατμόσφαιρα της Γης (Holland H. D., 2006).

1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Η πρωταρχική ατμόσφαιρα της Γης πρέπει να πρωτοεμφανίστηκε, κατά πάσα πιθανότητα, λίγο αργότερα από τη δημιουργία της Γης, όταν άρχισε να δημιουργείται σαν λεπτή μορφή κρούστας ο στερεός φλοιός της, δηλαδή πριν από 4 έως 6 δισεκατομμύρια χρόνια. Η δε σύσταση της ήταν πολύ διαφορετική από τη σημερινή. Κατά την περίοδο αυτή άρχισαν να εκλύονται από το διάπυρο μίγμα από το οποίο αποτελούνταν μέχρι τότε η Γη, αέρια, όπως CO₂ και N₂, και υδρατμοί που υπήρχαν διαλυμένοι σε αυτό. Παρόμοια σύσταση έχουν σήμερα τα αέρια που προέρχονται από τις ηφαιστειακές εκρήξεις.

Στο αρχικό στάδιο της δημιουργίας της η Γη ήταν μια διάπυρη σφαιροειδής μάζα με επιφανειακή θερμοκρασία 8.000° C, που περιβαλλόταν από μια πυκνή και θερμή μάζα αερίων. Τα αέρια αυτά ήταν το υδρογόνο και το ήλιο, καθώς επίσης και ενώσεις του υδρογόνου, όπως το μεθάνιο και η αμμωνία. Λόγω της μεγάλης τους θερμοκρασίας και της μικρής μοριακής τους μάζας, τα αέρια αυτά διέφυγαν, σε μεγάλο ποσοστό, στο Διάστημα.

Καθώς η Γη ψυχόταν, σχηματίστηκε ένας στερεός φλοιός και τα αέρια που ήταν διαλυμένα στην πυρακτωμένη μάζα άρχισαν να εκλύονται από την επιφάνεια της. Έτσι σχηματίστηκε μια δεύτερη ατμόσφαιρα από αέρια που και σήμερα εκλύονται από τα ηφαιστεια, κυρίως υδρατμούς (περίπου 85%), διοξείδιο του άνθρακα (περίπου 10%) και άζωτο. Καθώς η Γη συνέχιζε να ψύχεται, σχηματίστηκαν σύννεφα και υπήρξαν ραγδαίες βροχοπτώσεις για χιλιάδες χρόνια, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ποταμών, λιμνών και θαλασσών. Το γεγονός αυτό ελάττωσε τη συγκέντρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, ενώ μεγάλο ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα μεταφέρθηκε στην επιφάνεια της Γης, παραμένοντας σε διάλυση στις υδάτινες μάζες, όπου σε μεγάλο ποσοστό δεσμεύθηκε σε ανθρακικά ιζήματα. Έτσι, το χημικά αδρανές άζωτο έγινε το κυρίαρχο αέριο στην ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά το οξυγόνο, αρχικά δημιουργήθηκε από τη φωτοδιάσπαση μορίων νερού από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία στα αρχικά στάδια της δημιουργίας του ηλιακού συστήματος ήταν πολλές φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή. Το συγχρόνως παραγόμενο υδρογόνο, λόγω του μικρού μοριακού του βάρους, ανήλθε στις ανώτερες περιοχές της ατμόσφαιρας και σε μεγάλο ποσοστό διέφυγε στο Διάστημα. Το οξυγόνο παρέμενε στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας συνεχώς τη συγκέντρωσή του, ώστε αυτή πριν από 2 έως 3 δισεκατομμύρια χρόνια να είναι ικανή να επιτρέψει την ανάπτυξη των πρώτων φυτικών μορφών. Εν συνεχεία αυτές μέσω της φωτοσύνθεσης, αύξησαν τη συγκέντρωση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα ικανά να συντηρήσουν ανώτερες φυτικές μορφές, οι οποίες συνέτειναν στην περαιτέρω αύξηση του οξυγόνου.

Τα ευγενή αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα είναι προϊόντα ραδιενεργών διασπάσεων. Ενώ τα υπόλοιπα αέρια προέρχονται από ηφαιστειακές εκλύσεις, βιολογικές διεργασίες και φωτοχημικές αντιδράσεις.

Η ατμόσφαιρα απέκτησε τη σημερινή της χημική σύσταση πριν από δύο περίπου δισεκατομμύρια χρόνια. Κατά την τελευταία αυτή περίοδο η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας πρέπει να έχει παρουσιάσει ασημαντες μόνο μεταβολές.

Αρχικά η πολύ υψηλή θερμοκρασία του στερεού φλοιού της Γης, ο οποίος βρισκόταν σε διάπυρη σχεδόν κατάσταση, προκαλούσε εξάτμιση της βροχής πολύ πριν φτάσει στο έδαφος. Τα τελευταία 40.000 χρόνια η θερμοκρασία της επιφάνειας του στερεού φλοιού είχε υποχωρήσει αρκετά, ώστε η βροχή να φτάνει στο έδαφος. Η βροχή αυτή διέλυσε και απομάκρυνε προς το έδαφος το μεγαλύτερο τμήμα του CO₂ της ατμόσφαιρας, σχηματίζοντας μεγάλες μάζες ανθρακούχων βράχων.

Η δημιουργία του O₂ πραγματοποιήθηκε αργότερα. Κατά μία θεωρία προήλθε από τη διάσπαση σε άτομα υδρογόνου και οξυγόνου των υδρατμών, οι οποίοι είχαν μεταφερθεί από ανοδικά ρεύματα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, λόγω της επίδρασης των υπεριωδών ακτινών του Ήλιου. Το υδρογόνο διαχύθηκε προς την εξωτερική στοιβάδα της ατμόσφαιρας και διέφυγε προς τον αστρικό χώρο, ενώ τα άτομα του οξυγόνου συνενώθηκαν και δημιούργησαν το μοριακό οξυγόνο. Ένα τμήμα του οξυγόνου που υπάρχει σήμερα στην ατμόσφαιρα εικάζεται ότι προήλθε και από τη φωτοσύνθεση των φυτών (Britannica, Evolution of the atmosphere).

1.3 ΣΥΝΘΕΣΗ

Η ατμόσφαιρα γίνεται όλο και πιο αραιή (μικρότερη πυκνότητα και χαμηλότερη πίεση αέρα) όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης και σταδιακά φτάνουμε στο κενό του διαστήματος. Δεν υπάρχει ακριβές σημείο για την κορυφή της ατμόσφαιρας, αλλά η περιοχή ανάμεσα στα 100 με 120 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης θεωρείται το όριο μεταξύ της ατμόσφαιρας και του διαστήματος επειδή η πυκνότητα του αέρα είναι πολύ χαμηλή. Παρόλα αυτά, ακόμα και πάνω από αυτό το όριο, υπάρχουν ανιχνεύσιμα αέρια τα οποία τα συναντάμε για πολλά εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από την επιφάνεια της Γης.

Πιο συγκεκριμένα, η σύνθεση της ατμόσφαιρας μπορεί να χωριστεί σε τρεις μεγάλες κατηγορίες οι οποίες είναι τα κύρια αέρια, τα ιχνοαέρια και τα μεταβλητά αέρια:

ΚΥΡΙΑ ΑΕΡΙΑ

1. Αζωτο (N₂): Το άζωτο είναι το αέριο το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα της Γης, αποτελώντας περίπου το 78% του συνολικού της όγκου.

Είναι ένα μη αντιδραστικό αέριο που παίζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και άλλων οργανισμών.

2. Οξυγόνο (O_2): Το οξυγόνο αποτελεί περίπου το 21% του όγκου της ατμόσφαιρας. Είναι απαραίτητο για την αναπνοή των περισσότερων ζωντανών οργανισμών, υποστηρίζοντας την καύση καυσίμων και διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στο σχηματισμό του στρώματος του όζοντος.
3. Αργό (Ar): Το αργό αποτελεί περίπου το 0,93% της ατμόσφαιρας. Είναι αδρανές αέριο και δεν συμμετέχει ενεργά σε χημικές αντιδράσεις.

ΙΧΝΟΑΕΡΙΑ

1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): Το διοξείδιο του άνθρακα αντιπροσωπεύει περίπου το 0,04% της ατμόσφαιρας. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο κλιματικό σύστημα της Γης ως αέριο του θερμοκηπίου, παγιδεύοντας τη θερμότητα και συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
2. Μεθάνιο (CH_4): Το μεθάνιο υπάρχει σε ίχνη, περίπου στο 0,00018% της ατμόσφαιρας. Είναι ένα άλλο ισχυρό αέριο θερμοκηπίου που εκπέμπεται από διάφορες φυσικές και ανθρώπινες δραστηριότητες.
3. Όζον (O_3): Το όζον υπάρχει σε μικρές ποσότητες, περίπου το 0,000004% της ατμόσφαιρας. Παίζει ζωτικό ρόλο στη στρατόσφαιρα απορροφώντας και φιλτράροντας την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία (UV) από τον Ήλιο.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΑΕΡΙΑ

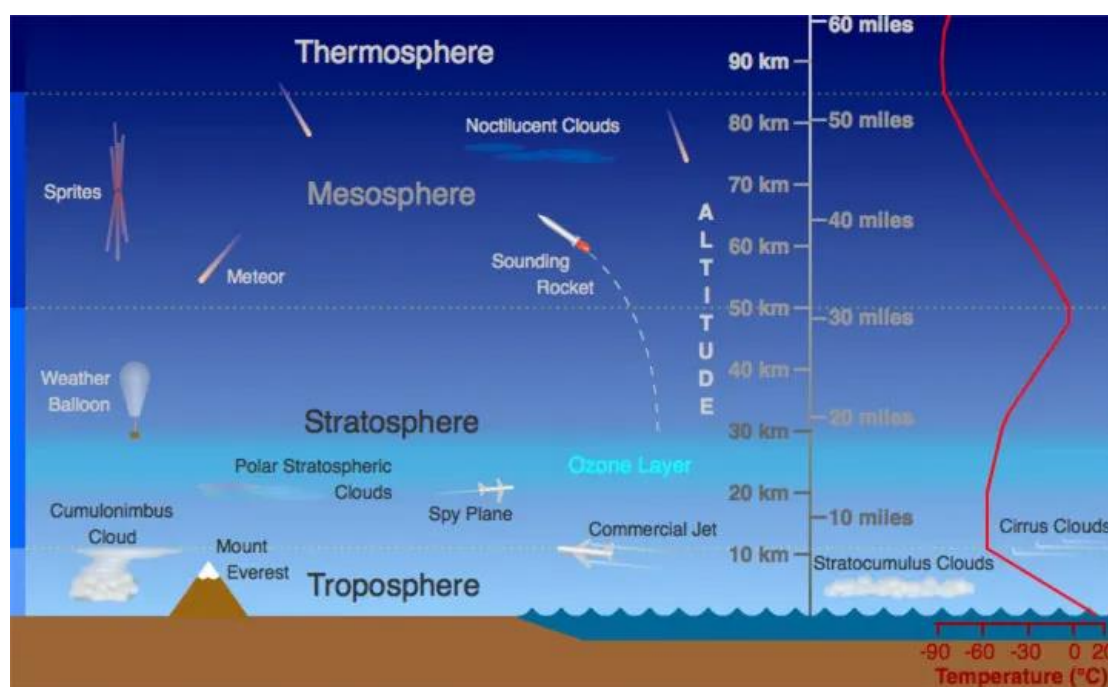
1. Υδρατμοί (H_2O): Οι υδρατμοί είναι ένα μεταβλητό συστατικό της ατμόσφαιρας και η συγκέντρωσή του μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία και τις καιρικές συνθήκες. Λειτουργεί ως φυσικό αέριο του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στο κλιματικό σύστημα της Γης και διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στα καιρικά μοτίβα. Η πλειοψηφία των υδρατμών δηλαδή περίπου το 90% συμπυκνώνονται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας των πέντε χιλιομέτρων και πάνω από το 99% βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Η συγκέντρωση των υδρατμών εξαρτάται από την θερμοκρασία, δηλαδή όσο πιο μεγάλες είναι τιμές της θερμοκρασίας τόσο πιο μεγάλες είναι οι ποσότητες υδρατμών που μπορούν να παραμείνουν χωρίς συμπύκνωση.
2. Αερολύματα: Τα αερολύματα είναι μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Περιλαμβάνουν σκόνη, ρύπους, ηφαιστειακή τέφρα και άλλα σωματίδια. Τα αερολύματα έχουν φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές και μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα, την ποιότητα του αέρα και το σχηματισμό νεφών.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η σύσταση της ατμόσφαιρας μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το υψόμετρο και την τοποθεσία. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται σημαντικά και η συγκέντρωση των φθίνει αναλογικά.

1.4 ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η ατμόσφαιρα της Γης έχει μια σειρά από στρώματα, το καθένα με τα δικά του συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Προχωρώντας προς τα πάνω από το επίπεδο του εδάφους, αυτά τα στρώματα ονομάζονται τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα,

θερμόσφαιρα και εξώσφαιρα. Η εξώσφαιρα σταδιακά εξαφανίζεται στο βασίλειο του διαπλανητικού χώρου (Lagzi I., et al., 2013)..



Εικόνα 1: Ζώνες της ατμόσφαιρας (UCAR, Center for Science Education)

ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

Η τροπόσφαιρα είναι το χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιράς μας. Ξεκινώντας από το επίπεδο του εδάφους, εκτείνεται προς τα πάνω σε περίπου 10 χιλιόμετρα (6,2 μίλια ή περίπου 33.000 πόδια) πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Εμείς οι άνθρωποι ζούμε στην τροπόσφαιρα και σχεδόν όλες οι καιρικές συνθήκες εμφανίζονται σε αυτό το χαμηλότερο στρώμα. Τα περισσότερα σύννεφα εμφανίζονται μέσα σε αυτή τη ζώνη, κυρίως επειδή το 99% των υδρατμών στην ατμόσφαιρα βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Η πίεση του αέρα πέφτει και οι θερμοκρασίες γίνονται πιο χαμηλές, καθώς ανεβαίνουμε ψηλότερα στην τροπόσφαιρα (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ

Το επόμενο στρώμα πάνω από την τροπόσφαιρα ονομάζεται στρατόσφαιρα. Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από την κορυφή της τροπόσφαιρας για περίπου 50 χιλιόμετρα (31 μίλια) πάνω από το έδαφος. Το γνωστό σε όλους μας, στρώμα του όζοντος βρίσκεται μέσα στη στρατόσφαιρα. Τα μόρια του όζοντος σε αυτό το στρώμα απορροφούν το υπεριώδες φως (UV) υψηλής ενέργειας από τον Ήλιο, μετατρέποντας την ενέργεια UV σε θερμότητα. Σε αντίθεση με την τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα στην πραγματικότητα θερμαίνεται όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο. Αυτή η τάση αύξησης της θερμοκρασίας με το υψόμετρο σημαίνει ότι ο αέρας στη στρατόσφαιρα δεν έχει τις αναταράξεις και τα ανοδικά ρεύματα της τροπόσφαιρας από κάτω. Τα εμπορικά επιβατικά αεροσκάφη πετούν στην κάτω στρατόσφαιρα, εν μέρει επειδή αυτό το λιγότερο τυρβώδες στρώμα παρέχει πιο ομαλή διαδρομή. Το ρεύμα πίδακα

ρέει κοντά στα σύνορα μεταξύ της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΜΕΣΟΣΦΑΙΡΑ

Πάνω από τη στρατόσφαιρα βρίσκεται η μεσόσφαιρα. Εκτείνεται προς τα πάνω σε ύψος περίπου 85 χιλιόμετρα (53 μίλια) πάνω από τον πλανήτη μας. Οι περισσότεροι μετεωρίτες καίγονται στη μεσόσφαιρα. Σε αντίθεση με τη στρατόσφαιρα, οι θερμοκρασίες γίνονται για άλλη μια φορά πιο χαμηλές καθώς ανεβαίνεις μέσα από τη μεσόσφαιρα. Οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες στην ατμόσφαιρα της Γης, περίπου -90°C , βρίσκονται κοντά στην κορυφή αυτού του στρώματος. Ο αέρας στη μεσόσφαιρα είναι πολύ λεπτός για να αναπνεύσει (η πίεση του αέρα στο κάτω μέρος του στρώματος είναι πολύ κάτω από το 1% της πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας και συνεχίζει να πέφτει όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα) (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΘΕΡΜΟΣΦΑΙΡΑ

Το στρώμα στο οποίο συναντάται πολύ σπάνια ο αέρας πάνω από τη μεσόσφαιρα ονομάζεται θερμόσφαιρα. Οι ακτίνες X υψηλής ενέργειας και η υπεριώδης ακτινοβολία από τον Ήλιο απορροφώνται στη θερμόσφαιρα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της σε εκατοντάδες ή μερικές φορές χιλιάδες βαθμούς. Ωστόσο, ο αέρας σε αυτό το στρώμα είναι τόσο λεπτός που η αίσθηση που θα είχαμε είναι του παγωμένου. Από πολλές απόψεις, η θερμόσφαιρα μοιάζει περισσότερο με το διάστημα παρά με ένα μέρος της ατμόσφαιρας. Πολλοί δορυφόροι πραγματικά περιφέρονται γύρω από τη Γη μέσα στη θερμόσφαιρα. Οι διακυμάνσεις στην ποσότητα ενέργειας που προέρχεται από τον Ήλιο ασκούν ισχυρή επίδραση τόσο στο ύψος της κορυφής αυτού του στρώματος όσο και στη θερμοκρασία μέσα σε αυτό. Εξαιτίας αυτού, η κορυφή της θερμόσφαιρας μπορεί να βρεθεί οπουδήποτε μεταξύ 500 και 1.000 χιλιομέτρων (311 έως 621 μίλια) πάνω από το έδαφος. Οι θερμοκρασίες στην ανώτερη θερμόσφαιρα μπορεί να κυμαίνονται από περίπου 500°C έως 2.000°C ή υψηλότερες. Μία ενδιαφέρουσα πληροφορία όσον αφορά τη θερμόσφαιρα είναι ότι το Σέλας, το Βόρειο Σέλας και το Νότιο Σέλας, εμφανίζονται στη θερμόσφαιρα (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΕΞΩΣΦΑΙΡΑ

Αν και ορισμένοι ειδικοί θεωρούν ότι η θερμόσφαιρα είναι το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιράς μας, πολλοί θεωρούν ότι η εξώσφαιρα είναι το πραγματικό «τελικό σύνορο» του αέριου περιβλήματος της Γης. Όπως μπορείτε να φανταστείτε, ο «αέρας» στην εξώσφαιρα είναι πολύ, πολύ, πολύ λεπτός, καθιστώντας αυτό το στρώμα ακόμα πιο διαστημικό από τη θερμόσφαιρα. Στην πραγματικότητα, ο αέρας στην εξώσφαιρα συνεχώς - αν και πολύ σταδιακά - "διαρρέει" από την ατμόσφαιρα της Γης προς το διάστημα. Δεν υπάρχει ξεκάθαρο ανώτερο όριο όπου η εξώσφαιρα τελικά εξαφανίζεται στο διάστημα. Διαφορετικοί ορισμοί τοποθετούν την κορυφή της εξώσφαιρας κάπου μεταξύ 100.000 km (62.000 μίλια) και 190.000 km (120.000 μίλια) πάνω από την επιφάνεια της Γης. Η τελευταία τιμή είναι περίπου στα μισά του δρόμου προς τη Σελήνη (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ

Η ιονόσφαιρα δεν είναι ένα ξεχωριστό στρώμα όπως τα άλλα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Αντίθετα, η ιονόσφαιρα είναι μια σειρά περιοχών σε μέρη της μεσόσφαιρας και της θερμόσφαιρας όπου η ακτινοβολία υψηλής ενέργειας από τον Ήλιο έχει ρίξει τα ηλεκτρόνια από τα μητρικά άτομα και τα μόριά τους. Τα ηλεκτρικά φορτισμένα άτομα και μόρια που σχηματίζονται με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται ιόντα, δίνοντας στην ιονόσφαιρα το όνομά της και προσδίδοντας σε αυτήν την περιοχή ορισμένες ειδικές ιδιότητες (John M.Wallace & Peter Hobbs, 1977).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναφέρεται στην παρουσία επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα της Γης, οι οποίες μπορούν να θέτουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και το περιβάλλον συνολικά. Αυτοί οι ρύποι μπορεί να είναι είτε φυσικής είτε ανθρωπογενούς προέλευσης. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν ηφαιστειακές εκρήξεις, καταιγίδες σκόνης και πυρκαγιές, ενώ οι ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνουν ανθρώπινες δραστηριότητες όπως βιομηχανικές διαδικασίες, μεταφορές, παραγωγή ενέργειας και γεωργικές πρακτικές (Jacobson Z.M. , 2002).

Η σημασία της αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έγκειται στις εκτεταμένες επιπτώσεις της. Κατά κύριο λόγο, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η έκθεση σε ρύπους στον αέρα μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικά προβλήματα, όπως άσθμα, βρογχίτιδα και καρκίνο του πνεύμονα. Συμβάλλει επίσης σε καρδιαγγειακές παθήσεις, συμπεριλαμβανομένων των καρδιακών προσβολών και των εγκεφαλικών. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει νευρολογικές επιπτώσεις και σχετίζεται με γνωστική εξασθένηση, αναπτυξιακές διαταραχές στα παιδιά και αυξημένο κίνδυνο νευροεκφυλιστικών ασθενειών.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση θέτει επίσης περιβαλλοντικές προκλήσεις. Μπορεί να βλάψει τα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε απώλεια βιοποικιλότητας, βλάβη στη ζωή των φυτών και διαταραχή των οικολογικών διαδικασιών. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλει στην όξινη βροχή, η οποία επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του εδάφους, μολύνει τα υδάτινα σώματα και επηρεάζει την υδρόβια ζωή. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση παίζει σημαντικό ρόλο στην κλιματική αλλαγή συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, οδηγώντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη, στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και σε ακραία καιρικά φαινόμενα (Καραθανάσης Σ., 2006).

2.2 ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκύπτει από διάφορες πηγές, τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς. Η κατανόηση αυτών των πηγών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών μετριασμού. Ακολουθούν ορισμένες βασικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης:

- 1. Βιομηχανικές εκπομπές:** Οι βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, των εργοστασίων και των дуλιστηρίων, εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες ρύπων στον αέρα κατά τη διάρκεια των διαδικασιών παραγωγής και της καύσης ορυκτών καυσίμων.

2. **Μεταφορές:** Τα οχήματα, ειδικά αυτά που κινούνται με ορυκτά καύσιμα, συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η καύση της βενζίνης και του ντίζελ απελευθερώνει ρύπους όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα σωματίδια (PM) στην ατμόσφαιρα.
3. **Παραγωγή ενέργειας:** Η παραγωγή ενέργειας από πηγές που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα, όπως σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες ρύπων, όπως διοξείδιο του θείου (SO_2), οξείδια του αζώτου (NO_x) και σωματίδια.
4. **Οικιακές Δραστηριότητες:** Οι οικιακές δραστηριότητες όπως το μαγείρεμα, η θέρμανση και η χρήση στερεών καυσίμων για ενέργεια μπορούν να συμβάλουν στη ρύπανση του αέρα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Η ατμοσφαιρική ρύπανση των εσωτερικών χώρων αποτελεί σημαντική ανησυχία σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες.
5. **Γεωργικές πρακτικές:** Οι γεωργικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της κτηνοτροφίας, της χρήσης χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και της καύσης βιομάζας, συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι εκπομπές από γεωργικές πηγές περιλαμβάνουν αμμωνία (NH_3) και πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs).
6. **Φυσικές πηγές:** Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι καταιγίδες σκόνης και οι πυρκαγιές απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ρύπων στον αέρα. Ενώ η συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι διακοπτόμενη και εντοπισμένη, αυτά τα γεγονότα μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα σε μεγάλες περιοχές (Καραθανάσης Σ., 2006).

2.3 ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελείται από διάφορους ρύπους, ο καθένας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και πηγές. Ακολουθούν οι σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι που προκαλούν ανησυχία:

1. **Αιωρούμενα Σωματίδια (PM):** Τα σωματίδια αναφέρονται σε μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα. Κατηγοριοποιείται με βάση το μέγεθος, με τα PM_{10} (σωματίδια με διάμετρο 10 μικρόμετρα ή μικρότερη) και $\text{PM}_{2.5}$ (σωματίδια με διάμετρο 2.5 μικρόμετρα ή μικρότερη) να είναι τα πιο συχνά μετρούμενα. Τα PM προέρχονται από διαδικασίες καύσης, βιομηχανικές εκπομπές, καυσαέρια οχημάτων και φυσικές πηγές όπως η σκόνη και η γύρη.
2. **Οξείδια του αζώτου (NO_x):** Τα οξείδια του αζώτου είναι αέρια που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια διεργασιών καύσης σε υψηλή θερμοκρασία, κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων σε οχήματα, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανικές διεργασίες. Συμβάλλουν στο σχηματισμό αιθαλομίχλης και όξινης βροχής και επίσης παίζουν ρόλο στο σχηματισμό δευτερογενών ρύπων όπως το όζον.

3. **Διοξείδιο του θείου (SO₂):** Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο, όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Συμβάλλει σημαντικά στην όξινη βροχή και μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, ιδιαίτερα στο αναπνευστικό σύστημα. Οι βιομηχανικές διεργασίες, όπως η τήξη και η διύλιση μετάλλων, αποτελούν επίσης σημαντικές πηγές εκπομπών SO₂.
4. **Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):** Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι οργανικές χημικές ουσίες που εξατμίζονται εύκολα σε θερμοκρασία δωματίου. Εκπέμπονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων βιομηχανικών διεργασιών, εκπομπών οχημάτων, διαλυτών, χρωμάτων και καταναλωτικών προϊόντων. Οι πτητικές οργανικές ενώσεις εμπλέκονται στο σχηματισμό του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους και συμβάλλουν στο σχηματισμό δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων.
5. **Όζον (O₃):** Το όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος που σχηματίζεται μέσω πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων μεταξύ οξειδίων του αζώτου (NO_x) και πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) παρουσία ηλιακού φωτός. Το όζον είναι βασικό συστατικό της αιθαλομίγλης και έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, ιδιαίτερα στο αναπνευστικό σύστημα. Μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιά σε καλλιέργειες, βλάστηση και υλικά.
6. **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO):** Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο που παράγεται από ατελή καύση ορυκτών καυσίμων. Εκπέμπεται από οχήματα, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και βιομηχανικές διεργασίες. Τα υψηλά επίπεδα CO μπορεί να είναι τοξικά και να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα στο καρδιαγγειακό σύστημα (Βερύκιος Ξ., 2003).

2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα, οδηγώντας σε διάφορα προβλήματα υγείας. Η έκθεση σε ρύπους μπορεί να προκαλέσει φλεγμονή των αεραγωγών, ερεθισμό της αναπνευστικής οδού και αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις του αναπνευστικού. Μερικές βασικές επιδράσεις του αναπνευστικού συστήματος περιλαμβάνουν (Brunekreef B, 2002) :

1. **Αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα:** Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επιδεινώσει τα αναπνευστικά συμπτώματα όπως βήχα, συριγμό, δύσπνοια και σφίξιμο στο στήθος.
2. **Επιδείνωση του άσθματος:** Τα άτομα με άσθμα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η έκθεση σε ρύπους μπορεί να

προκαλέσει κρίσεις άσθματος, οδηγώντας σε αυξημένες νοσηλείες και επισκέψεις στα επείγοντα.

3. Χρόνια βρογχίτιδα: Η παρατεταμένη έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας, που χαρακτηρίζεται από επίμονο βήχα και παραγωγή βλέννας.
4. Μειωμένη πνευμονική λειτουργία: Η μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, ιδιαίτερα σε λεπτά σωματίδια (PM_{2.5}), έχει συσχετιστεί με μειωμένη πνευμονική λειτουργία, μειωμένη ανάπτυξη των πνευμόνων στα παιδιά και επιταχυνόμενη μείωση της πνευμονικής λειτουργίας στους ενήλικες.

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι επίσης γνωστό ότι έχει σοβαρές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα, αυξάνοντας τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Ακολουθούν ορισμένες βασικές επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση (Brunekreef B,2002):

1. **Αυξημένος κίνδυνος καρδιακών προσβολών και εγκεφαλικών:** Η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα στα λεπτά σωματίδια (PM_{2.5}) και σε αέριους ρύπους όπως το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιακών προσβολών, εγκεφαλικών επεισοδίων και άλλων καρδιαγγειακών συμβάντων.
2. **Φλεγμονή και οξειδωτικό στρες:** Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να προκαλέσουν συστηματική φλεγμονή και οξειδωτικό στρες, οδηγώντας σε ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, διαταραχή της λειτουργίας των αιμοφόρων αγγείων και σχηματισμό αθηρωματικών πλάκων.
3. **Αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό:** Η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση έχει συσχετιστεί με αλλαγές στον καρδιακό ρυθμό, συμπεριλαμβανομένου του αυξημένου κινδύνου αρρυθμιών και της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού.
4. **Αυξημένη αρτηριακή πίεση:** Η μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα σε ρύπους που σχετίζονται με την κυκλοφορία, έχει συνδεθεί με αυξημένη αρτηριακή πίεση και υπέρταση.

ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο νευρολογικό σύστημα, ιδιαίτερα στην υγεία και την ανάπτυξη του εγκεφάλου. Ακολουθούν ορισμένες βασικές νευρολογικές και αναπτυξιακές επιπτώσεις που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση (Brunekreef B,2002) :

1. **Γνωστική εξασθένηση:** Η μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ειδικά στα λεπτά σωματίδια (PM_{2.5}), έχει συνδεθεί με γνωστική έκπτωση,

συμπεριλαμβανομένης της μειωμένης μνήμης, της προσοχής και των εκτελεστικών λειτουργιών.

- 2. Νευροσυμπεριφορικές διαταραχές:** Υπάρχουν στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα κατά την πρώιμη ζωή, σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο νευροσυμπεριφορικών διαταραχών όπως η διαταραχή του φάσματος του αυτισμού (ASD) και η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής και υπερκινητικότητας (ADHD).
- 3. Νευροεκφυλιστικές ασθένειες:** Η μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο νευροεκφυλιστικών ασθενειών όπως η νόσος του Αλτσχάιμερ και η νόσος του Πάρκινσον. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, συμπεριλαμβανομένων των λεπτών σωματιδίων (PM_{2.5}) και ορισμένων μετάλλων, μπορούν να διεισδύσουν στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και να συσσωρευτούν στον εγκέφαλο, προκαλώντας οξειδωτικό στρες, νευροφλεγμονή και σχηματισμό πρωτεϊνικών συσσωματωμάτων χαρακτηριστικών αυτών των ασθενειών.

ΚΑΡΚΙΝΟΣ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση ταξινομείται ως καρκινογόνος και η μακροχρόνια έκθεση σε ορισμένους ρύπους έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει συσχετιστεί με διάφορες άλλες μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία. Μερικά βασικά σημεία περιλαμβάνουν (Brunekreef B,2002) :

- 1. Καρκίνος του πνεύμονα:** Η εισπνοή καρκινογόνων ρύπων όπως τα λεπτά σωματίδια (PM_{2.5}), οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) και ορισμένα μέταλλα αυξάνει τον κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα.
- 2. Καρκίνος της ουροδόχου κύστης:** Η έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και ορισμένων υποπροϊόντων της καύσης, έχει συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου της ουροδόχου κύστης.
- 3. Καρδιαγγειακές παθήσεις:** Η χρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων, συμπεριλαμβανομένων των καρδιακών προσβολών, των εγκεφαλικών επεισοδίων και της αθηροσκλήρωσης.
- 4. Αναπνευστικές παθήσεις:** Η παρατεταμένη έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ή επιδείνωση αναπνευστικών ασθενειών όπως η χρόνια βρογχίτιδα, το άσθμα και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ).

ΕΥΠΑΘΕΙΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ

Ορισμένοι πληθυσμοί είναι πιο ευάλωτοι στις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία λόγω διαφόρων παραγόντων όπως η ηλικία, οι προϋπάρχουσες

συνθήκες υγείας, η κοινωνικοοικονομική κατάσταση και η γενετική ευαισθησία. Ορισμένοι ευάλωτοι πληθυσμοί περιλαμβάνουν:

- 1. Παιδιά:** Τα παιδιά είναι πιο ευαίσθητα στις δυσμενείς επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία λόγω του αναπτυσσόμενου αναπνευστικού και ανοσοποιητικού τους συστήματος. Η έκθεση σε ρύπους μπορεί να οδηγήσει σε εξασθενημένη ανάπτυξη των πνευμόνων, αναπνευστικές λοιμώξεις και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία.
- 2. Ηλικιωμένα άτομα:** Οι ηλικιωμένοι μπορεί να είναι πιο ευαίσθητοι στις καρδιαγγειακές και αναπνευστικές επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω φυσιολογικών αλλαγών που σχετίζονται με την ηλικία και υποκείμενων καταστάσεων υγείας.
- 3. Άτομα με προϋπάρχουσες παθήσεις υγείας:** Άτομα με προϋπάρχουσες αναπνευστικές παθήσεις (π.χ. άσθμα, ΧΑΠ), καρδιαγγειακές παθήσεις και άλλες χρόνιες παθήσεις είναι πιο ευάλωτα στην επιδείνωση των καταστάσεων τους από την ατμοσφαιρική ρύπανση.
- 4. Κοινωνικοοικονομικά μειονεκτούσες κοινότητες:** Οι περιθωριοποιημένες κοινότητες αντιμετωπίζουν συχνά υψηλότερο βάρος ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της διαβίωσης σε περιοχές με υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης, ανεπαρκούς πρόσβασης στην υγειονομική περίθαλψη και περιορισμένων πόρων για τον μετριασμό της έκθεσης.

2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Εκτός από τις επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει πολύ σημαντικές συνέπειες και στο περιβάλλον και συγκεκριμένα στους παρακάτω τομείς (Μαραζιώτης Ε., 2009) :

ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα. Τα βασικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν:

- 1. Άμεσες επιπτώσεις στα φυτά:** Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το όζον (O₃) μπορούν να βλάψουν τους ιστούς των φυτών, να μειώσουν τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης, να εμποδίσουν την ανάπτυξη των φυτών και να βλάψουν την αναπαραγωγή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη σύνθεση των φυτικών ειδών και σε μείωση της βιοποικιλότητας.
- 2. Έμμεσες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα:** Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να αλλάξει τη χημεία του εδάφους και τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών, οδηγώντας σε αλλαγές στις μικροβιακές κοινότητες και επηρεάζοντας τη

συνολική λειτουργία του οικοσυστήματος. Μπορεί επίσης να διαταράξει τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις όπως η επικονίαση και η διασπορά των σπόρων, επηρεάζοντας την αφθονία και την κατανομή των διαφόρων οργανισμών.

- 3. Επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα:** Οι ρύποι που εκπέμπονται στον αέρα μπορούν να εναποτεθούν σε υδάτινα σώματα, οδηγώντας σε μείωση του pH και ευτροφισμό. Η όξινη εναπόθεση μπορεί να βλάψει τους υδρόβιους οργανισμούς, ενώ η υπερβολική πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από την ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό και εξάντληση οξυγόνου, επηρεάζοντας αρνητικά την υδάτινη βιοποικιλότητα.

ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και ιδιαίτερα οι ενώσεις θείου και αζώτου που εκπέμπονται από τις βιομηχανικές δραστηριότητες και την καύση ορυκτών καυσίμων, μπορεί να προκαλέσει όξινη βροχή και υποβάθμιση του εδάφους. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι (Μαραζιώτης Ε. , 2009) :

- 1. Σχηματισμός όξινης βροχής:** Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) συνδυάζονται με την ατμοσφαιρική υγρασία για να σχηματίσουν θειικό οξύ και νιτρικό οξύ, τα οποία μπορούν να εναποτεθούν σε επιφάνειες γης και νερού.
- 2. Μείωση του pH του εδάφους:** Η εναπόθεση οξέος μειώνει το pH του εδάφους, επηρεάζοντας τη χημεία του και τη διαθεσιμότητα σε θρεπτικές ουσίες. Τα όξινα εδάφη μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένη ανάπτυξη των φυτών, μειωμένη μικροβιακή δραστηριότητα και έκπλυση βασικών θρεπτικών συστατικών.
- 3. Ανισορροπίες θρεπτικών στοιχείων του εδάφους:** Η όξινη εναπόθεση μπορεί να εξαντλήσει ορισμένα θρεπτικά συστατικά (όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο) ενώ αυξάνει τη διαθεσιμότητα τοξικών στοιχείων (όπως το αλουμίνιο και τα βαρέα μέταλλα), επηρεάζοντας περαιτέρω την υγεία και τη γονιμότητα του εδάφους.
- 4. Επιπτώσεις στη βλάστηση:** Η όξινη βροχή μπορεί να βλάψει άμεσα τους φυτικούς ιστούς και να αναστείλει την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγικότητα των φυτών και αλλαγές στη σύνθεση των φυτικών ειδών.

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η καταστροφή του όζοντος αφορά τη σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα, η οποία προκαλείται κυρίως από την απελευθέρωση ανθρωπογενών χημικών ουσιών που είναι γνωστές ως ουσίες που καταστρέφουν το όζον (ODS). Τα βασικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι τα παρακάτω:

- 1. Λειτουργία του στρώματος του όζοντος:** Το στρώμα του όζοντος στη στρατόσφαιρα λειτουργεί ως ασπίδα, απορροφώντας ένα σημαντικό μέρος της

υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) του Ήλιου, ιδιαίτερα τις επιβλαβείς ακτίνες UV-B και UV-C.

2. Ουσίες που καταστρέφουν το όζον: Οι κοινές ODS περιλαμβάνουν χλωροφθοράνθρακες (CFC), αλόνες, τετραχλωράνθρακα και μεθυλοχλωροφόρμιο, που κάποτε χρησιμοποιούνταν ευρέως σε προωθητικά αεροζόλ, ψύξη, παράγοντες διόγκωσης αφρού και συστήματα πυρόσβεσης.
3. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία: Η καταστροφή του στρώματος του όζοντος αυξάνει την έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, οδηγώντας σε υψηλότερους κινδύνους καρκίνου του δέρματος, καταρράκτη, εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα και βλάβη στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα.
4. Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ: Το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, μια διεθνής περιβαλλοντική συμφωνία, θεσπίστηκε το 1987 για να καταργήσει σταδιακά την παραγωγή και την κατανάλωση ODS, οδηγώντας σε σταδιακή ανάκτηση της στιβάδας του όζοντος.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και ιδιαίτερα η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (GHG), είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι οι παρακάτω (Μαραζιώτης Ε. , 2009):

1. **Φαινόμενο του θερμοκηπίου:** Τα GHG, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης, οδηγώντας σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.
2. **Πηγές εκπομπών GHG:** Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της καύσης ορυκτών καυσίμων, της αποψίλωσης των δασών, των βιομηχανικών διεργασιών και της γεωργίας, συμβάλλουν στην απελευθέρωση GHG στην ατμόσφαιρα.
3. **Κλιματικές επιπτώσεις:** Η κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα μια σειρά επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της θερμοκρασίας, της τήξης των παγετώνων και των πολικών πάγων, της άνοδος της στάθμης της θάλασσας, των ακραίων καιρικών φαινομένων, των αλλαγών στα πρότυπα βροχόπτωσης και των διαταραχών στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.
4. **Μετρίαση και προσαρμογή:** Οι προσπάθειες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν τόσο την μετρίαση όπως η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου όσο και η προσαρμογή και κυρίως η προσαρμογή στις αλλαγές οι οποίες ήδη συμβαίνουν. Αυτό περιλαμβάνει τη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την προώθηση πρακτικών βιώσιμης χρήσης γης και την εφαρμογή μέτρων ανθεκτικότητας στο κλίμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

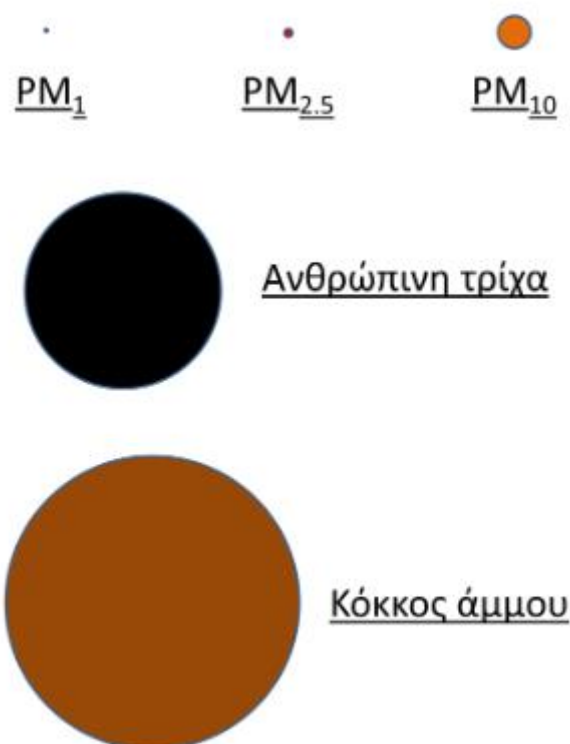
3. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ/ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αναφέρονται σε ένα σύνθετο μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα. Αυτά τα σωματίδια μπορεί να ποικίλλουν σε μέγεθος, σύνθεση και προέλευση. Μπορούν να εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα (πρωτογενή σωματίδια) ή να σχηματιστούν μέσω χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα (δευτερεύοντα σωματίδια). Τα PM μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ουσιών όπως σκόνη, αιθάλη, γύρη, μέταλλα, οργανικές ενώσεις και άλλα, ενώ κάποια αιωρούμενα σωματίδια είναι τόσο μικρά που η ανίχνευση τους απαιτεί την χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το μέγεθος και η σύνθεση των PM διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς, της μεταφοράς και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία και το περιβάλλον (Harrison R.M. , 2020).

3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια ταξινομούνται με βάση διαφορετικά κριτήρια. Οι κυριότερες ταξινομήσεις βασίζονται στο μέγεθος, τον τρόπο σχηματισμού τους, της χημικής σύστασή τους, των πηγών προέλευσής τους και τέλος του βαθμού διεισδυτικότητάς τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Στην εικόνα 2 απεικονίζονται τα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων συγκριτικά με άλλα γνωστά σώματα έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η διαφορά μεγέθους.

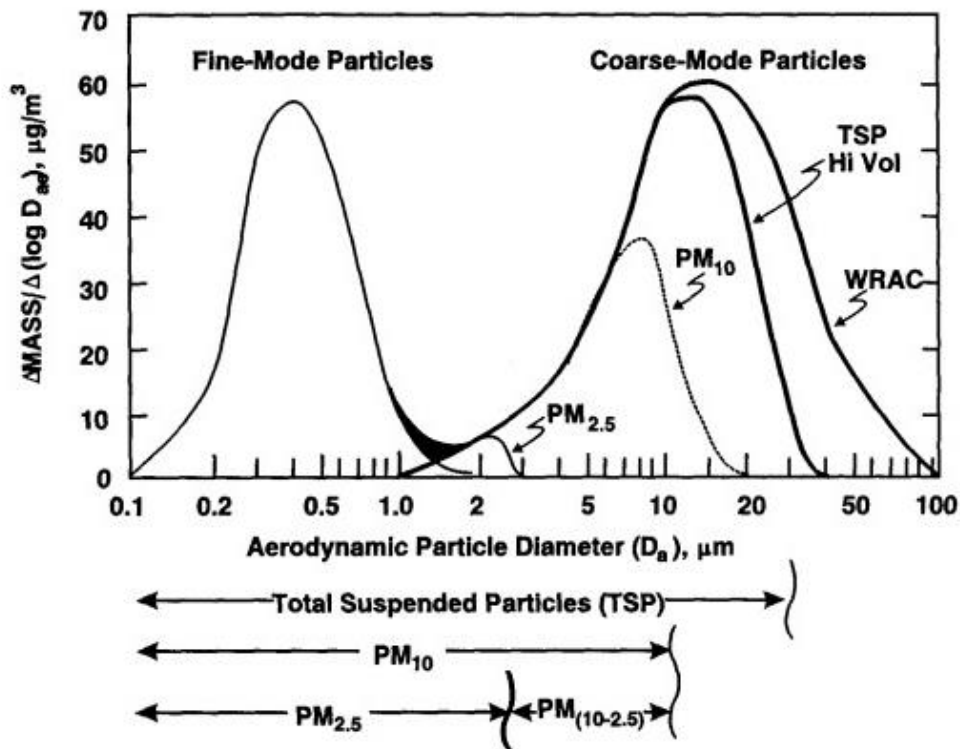


Εικόνα 2: Απεικόνιση μεγεθών προς σύγκριση (ThermiAir)

3.2.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ

Η αεροδυναμική διάμετρος αναφέρεται στο μέγεθος του σωματιδίου και παίζει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του στην ατμόσφαιρα και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία.

Η κατηγοριοποίηση των αιωρούμενων σωματιδίων με βάση το μέγεθος είναι αρκετά σημαντική γιατί βάσει αυτής καθορίζεται η διεισδυτικότητα τους στο αναπνευστικό σύστημα και κατ'επέκταση του βαθμού βλάβης στον ανθρώπινο οργανισμό με τα πιο γνωστά από αυτά να είναι τα PM_{10} , $PM_{2.5}$ και τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια (ultra-fine). Η ταξινόμηση μεγέθους των σωματιδίων βασίζεται στην αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων. Η αεροδυναμική διάμετρος αναφέρεται στο μέγεθος του σωματιδίου και παίζει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του στην ατμόσφαιρα και των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα κλάσματα μεγέθους είναι τα PM_{10} , $PM_{2.5}$ και τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η συγκέντρωση των PM σε συνάρτηση του μεγέθους τους.



Εικόνα 3: Συγκέντρωση PM συναρτήσει της διαμέτρου (Public lab, Particle sensing)

PM_{10} : Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 10 μικρομέτρων (μm) ή μικρότερη. Αυτά τα σωματίδια μπορούν να εισπνευστούν στο αναπνευστικό σύστημα, αλλά γενικά παγιδεύονται στους ανώτερους αεραγωγούς ή εναποτίθενται στο λαιμό ή τις ρινικές οδούς.

$PM_{2.5}$: Σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο 2.5 μm ή μικρότερη. Αυτά τα σωματίδια είναι αρκετά μικρά ώστε να φτάσουν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των βρόγχων και των πνευμόνων. Τα σωματίδια

PM_{2.5} μπορούν να έχουν πιο σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία καθώς μπορούν να διεισδύσουν βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα.

Εξαιρετικά λεπτά σωματίδια (ultra-fine): Γνωστά και ως νανοσωματίδια, είναι σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 0,1 μm. Τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια έχουν μεγάλη επιφάνεια σε σχέση με τη μάζα τους, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετικά αντιδραστικά. Μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα και ακόμη και να περάσουν στην κυκλοφορία του αίματος, θέτοντας πιθανούς κινδύνους για την υγεία (Harrison R.M. , 2020).

3.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΡΟΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Με βάση τη σύνθεση τους τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε **πρωτογενή** και **δευτερογενή** σωματίδια. Τα πρωτογενή σωματίδια εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από διάφορες πηγές, όπως διεργασίες καύσης (π.χ. καυσαέρια οχημάτων, βιομηχανικές εκπομπές), μηχανικές διεργασίες (π.χ. καταιγίδες σκόνης), οργανικό αεροζόλ (πτητικές οργανικές ενώσεις - VOC) αλλά και από φυσικές πηγές όπως η μεταφορά σωματιδίων μέσω της θάλασσας ή η ηφαιστειακή τέφρα. Τα πρωτογενή σωματίδια συνήθως διατηρούν τις αρχικές χημικές και φυσικές τους ιδιότητες από την πηγή και το μέγεθος τους βρίσκεται στο εύρος των 0.1 μm - 10 μm.

Η δευτερογενής παραγωγή σωματιδίων (PM) αναφέρεται στο σχηματισμό σωματιδίων μέσω χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα σωματίδια δεν εκπέμπονται άμεσα, αλλά σχηματίζονται ως αποτέλεσμα διαφόρων ατμοσφαιρικών διεργασιών που περιλαμβάνουν αέριους ρύπους. Τα δευτερογενή PM μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, στην κλιματική αλλαγή και στην ανθρώπινη υγεία. Ας εξερευνήσουμε τη διαδικασία του δευτερογενούς σχηματισμού PM και τους παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή (Harrison R.M. , 2020) :

ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΑΕΡΙΑ

Ο δευτερογενής σχηματισμός PM περιλαμβάνει τη μετατροπή των πρωτογενών αερίων σε σωματιδιακή μορφή. Τα πρωτογενή αέρια περιλαμβάνουν κυρίως τα παρακάτω:

1. Διοξείδιο του θείου (SO₂): SO₂ εκπέμπεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, τις βιομηχανικές διεργασίες και τις ηφαιστειακές εκπομπές. Στην ατμόσφαιρα, μπορεί να οξειδωθεί σε θειικά αερολύματα μέσω χημικών αντιδράσεων, οδηγώντας στο σχηματισμό δευτερογενών PM.
2. Οξείδια του αζώτου (NO_x): Τα αέρια NO_x εκπέμπονται από τα καυσαέρια των οχημάτων, τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και τις βιομηχανικές πηγές. Αντιδρούν με ατμοσφαιρικές ενώσεις για να σχηματίσουν νιτρικά αερολύματα, συμβάλλοντας στην παραγωγή δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων.
3. Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs): Οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκπέμπονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών οχημάτων, των βιομηχανικών διεργασιών και των διαλυτών. Παρουσία ηλιακού φωτός και άλλων ατμοσφαιρικών οξειδωτικών, οι πτητικές οργανικές ενώσεις μπορούν να υποστούν πολύπλοκες αντιδράσεις, οδηγώντας στο σχηματισμό δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων (SOAs).

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

Ο σχηματισμός δευτερογενών PM περιλαμβάνει μια σειρά από πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα. Οι πιο βασικές χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι παρακάτω:

- 1. Αντιδράσεις οξείδωσης:** Πρωτογενή αέρια, όπως SO_2 , NO_x και VOCs, υφίστανται αντιδράσεις οξείδωσης με ατμοσφαιρικά οξειδωτικά όπως το όζον (O_3), τις ρίζες υδροξυλίου (OH) και άλλα δραστικά είδη. Αυτές οι αντιδράσεις μετατρέπουν τα αέρια σε σωματιδιακή μορφή, οδηγώντας στο σχηματισμό θεικών, νιτρικών και οργανικών αερολυμάτων.
- 2. Πυρηνοποίηση:** Η πυρηνοποίηση αναφέρεται στη διαδικασία σχηματισμού νέων σωματιδίων από μόρια αέριας φάσης. Στην ατμόσφαιρα, η πυρηνοποίηση συμβαίνει όταν ορισμένα αέρια συμπυκνώνονται ή συγκεντρώνονται για να σχηματίσουν σωματίδια μεγέθους νανομέτρων. Αυτά τα νεοσχηματισμένα σωματίδια μπορούν να αναπτυχθούν μέσω διαδικασιών συμπύκνωσης και πήξης, συμβάλλοντας στη δευτερογενή PM.
- 3. Φωτοχημικές αντιδράσεις:** Οι ακτίνες του ήλιου παίζουν καθοριστικό ρόλο στην έναρξη φωτοχημικών αντιδράσεων που συμβάλλουν στο σχηματισμό δευτερογενών PM. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις που περιλαμβάνουν πτητικές οργανικές ενώσεις οδηγούν στην παραγωγή SOAs, τα οποία μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στο οργανικό κλάσμα των PM.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ PM

- 1. Εκπομπές πρωτογενών αερίων:** Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τον σχηματισμό δευτερογενών PM. Οι ρυθμοί εκπομπής SO_2 , NO_x και VOCs από διάφορες ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα πρωτογενών αερίων για δευτερογενή σχηματισμό PM. Οι μειώσεις στις εκπομπές πρόδρομων αερίων μπορούν να συμβάλουν στον μετριασμό του δευτερογενούς σχηματισμού PM.
- 2. Ατμοσφαιρικές Συνθήκες:** Η θερμοκρασία, η υγρασία, το ηλιακό φως και η ατμοσφαιρική σταθερότητα επηρεάζουν τους ρυθμούς και τις οδούς των χημικών αντιδράσεων που οδηγούν σε δευτερογενή σχηματισμό PM. Οι ευνοϊκές ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως η υψηλή υγρασία και το ηλιακό φως, μπορούν να ενισχύσουν το σχηματισμό δευτερογενών PM.
- 3. Παρουσία Καταλυτών:** Ορισμένα αέρια και αερολύματα, γνωστά ως καταλύτες, μπορούν να διευκολύνουν τις χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στον δευτερογενή σχηματισμό PM. Για παράδειγμα, αερολύματα που περιέχουν θεικό οξύ μπορούν να δράσουν ως καταλύτης για το σχηματισμό θεικών αερολυμάτων.
- 4. Ατμοσφαιρική μεταφορά:** Τα δευτερεύοντα PM μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις, επηρεάζοντας όχι μόνο την περιοχή σχηματισμού τους αλλά και περιοχές μακριά από τις αρχικές πηγές. Οι μεταφορές μεγάλης

εμβέλειας μπορούν να συμβάλουν στην περιφερειακή και ακόμα και στην παγκόσμια κατανομή των δευτερογενών PM.

3.2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από ένα πολύπλοκο μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων και η σύνθεσή του μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις πηγές εκπομπών, τις ατμοσφαιρικές διεργασίες και τις γεωγραφικές τοποθεσίες. Η χημική σύνθεση του PM διαχωρίζεται στις δύο κύριες κατηγορίες χημικών ενώσεων, τις οργανικές και τις ανόργανες (Jacobson Z.M. ,2002) :

ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

1. **Υδρογονάνθρακες:** Πρόκειται για οργανικές ενώσεις που αποτελούνται από άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Μπορούν να προέρχονται από διαδικασίες καύσης, όπως καυσαέρια οχημάτων, βιομηχανικές εκπομπές και καύση βιομάζας. Παραδείγματα υδρογονανθράκων σε PM περιλαμβάνουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH), οι οποίοι σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της ατελούς καύσης και είναι γνωστό ότι έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.
2. **Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):** Οι πτητικές οργανικές ενώσεις είναι οργανικές ενώσεις που εξατμίζονται εύκολα στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου. Μπορούν να προέρχονται από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών διεργασιών, των εκπομπών οχημάτων, των διαλυτών και της βλάστησης. Παραδείγματα πτητικών οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στα PM περιλαμβάνουν το βενζόλιο, το τολουόλιο και τη φορμαλδεΐδη.
3. **Δευτερογενή οργανικά αερολύματα (SOA):** Τα SOA σχηματίζονται μέσω πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα που περιλαμβάνουν την οξείδωση πρωτογενών αερίων, όπως οι VOCs. Αυτές οι αντιδράσεις μπορούν να συμβούν μέσω φωτοχημικών διεργασιών και να οδηγήσουν στο σχηματισμό οργανικών αερολυμάτων. Τα SOA μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στο οργανικό κλάσμα των PM και έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και το κλίμα.

ΑΝΟΡΓΑΝΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

1. **Θειικά:** Τα θειικά άλατα σχηματίζονται μέσω της οξείδωσης του διοξειδίου του θείου (SO₂), το οποίο εκπέμπεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, τις βιομηχανικές διεργασίες και την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα θειικά άλατα συμβάλλουν στο κλάσμα λεπτών σωματιδίων των PM και μπορούν να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα περιβαλλοντικά συστήματα.
2. **Νιτρικά:** Τα νιτρικά άλατα σχηματίζονται μέσω της αντίδρασης των οξειδίων του αζώτου (NO_x) με τα οξειδωτικά της ατμόσφαιρας. Οι εκπομπές NO_x προέρχονται κυρίως από διαδικασίες καύσης, όπως καυσαέρια οχημάτων και

βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα νιτρικά σωματίδια μπορούν να συνεισφέρουν τόσο στα λεπτά όσο και στα χονδροειδή κλάσματα σωματιδίων του PM.

- 3. Αμμώνιο:** Οι ενώσεις αμμωνίου στα PM προέρχονται κυρίως από την αντίδραση της αμμωνίας (NH₃) με όξινα είδη στην ατμόσφαιρα, όπως το θειικό οξύ (H₂SO₄) και το νιτρικό οξύ (HNO₃). Οι ενώσεις του αμμωνίου συμβάλλουν στο σχηματισμό λεπτών σωματιδίων και συναντώνται συνήθως σε αστικές και γεωργικές περιοχές.
- 4. Μέταλλα και μεταλλοειδή:** Τα σωματίδια μπορεί να περιέχουν διάφορα μέταλλα και μεταλλοειδή, όπως μόλυβδο (Pb), αρσενικό (As), κάδμιο (Cd), νικέλιο (Ni) και άλλα. Αυτά τα μέταλλα μπορούν να προέρχονται τόσο από φυσικές πηγές, όπως το έδαφος και τη σκόνη, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών εκπομπών και των καυσαερίων των οχημάτων. Τα μέταλλα στα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να έχουν τοξικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη χημική τους μορφή.

3.2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Η ρύπανση από τα αιωρούμενα σωματίδια έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, με τη βραχυπρόθεσμη και τη μακροπρόθεσμη έκθεση να σχετίζονται με διάφορες επιπτώσεις στην υγεία. Η σύνθεση, το μέγεθος και η συγκέντρωση των PM καθορίζουν τη δυνατότητά τους να προκαλέσουν δυσμενή αποτελέσματα για την υγεία. Οι πιο σημαντικές συνέπειες σχετικά με την επίδραση των σωματιδίων στην υγεία είναι οι παρακάτω (European Environmental Agency, 2012) :

- 1. Επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα:** Βραχυπρόθεσμες επιδράσεις: Η εισπνοή μικρής διαμέτρου σωματιδίων (PM_{2.5}) μπορεί να ερεθίσει το αναπνευστικό σύστημα, οδηγώντας σε συμπτώματα όπως βήχας, συριγμός και δύσπνοια. Τα PM_{2.5} μπορούν επίσης να επιδεινώσουν τις υπάρχουσες αναπνευστικές παθήσεις, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος, της βρογχίτιδας και της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας (ΧΑΠ). Τα άτομα με αναπνευστικά προβλήματα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις δυσμενείς επιπτώσεις της έκθεσης στα PM. Μακροπρόθεσμες επιδράσεις: Η παρατεταμένη έκθεση σε PM έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη και την εξέλιξη αναπνευστικών ασθενειών. Μπορεί να συμβάλει στην επιδείνωση της πνευμονικής λειτουργίας, στην ανάπτυξη χρόνιας βρογχίτιδας και σε αυξημένο κίνδυνο λοιμώξεων του αναπνευστικού. Η μακροχρόνια έκθεση σε PM_{2.5} έχει επίσης συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του πνεύμονα.
- 2. Επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα:** Βραχυπρόθεσμες επιδράσεις: Η εισπνοή PM μπορεί να προκαλέσει οξέα καρδιαγγειακά συμβάντα, όπως καρδιακές προσβολές, εγκεφαλικά επεισόδια και αρρυθμίες. Τα λεπτά σωματίδια μπορούν να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος και να προκαλέσουν φλεγμονή, οξειδωτικό στρες και αλλαγές στη λειτουργία των αιμοφόρων αγγείων. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να οδηγήσουν σε στένωση

των αιμοφόρων αγγείων, αυξημένη αρτηριακή πίεση και αυξημένο κίνδυνο σχηματισμού θρόμβων αίματος. Μακροπρόθεσμες επιδράσεις: Η χρόνια έκθεση σε PM σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων. Έχει συνδεθεί με την εξέλιξη της αθηροσκλήρωσης (σκλήρυνση των αρτηριών), την ανάπτυξη καρδιακών παθήσεων και αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακής θνησιμότητας. Η μακροχρόνια έκθεση σε PM_{2.5} έχει επίσης συσχετιστεί με δυσμενείς επιπτώσεις στον καρδιακό ρυθμό, αυξημένο κίνδυνο καρδιακής ανεπάρκειας και άλλες καρδιαγγειακές διαταραχές.

- 3. Άλλες επιπτώσεις στην υγεία:** Φλεγμονές: Η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να προκαλέσει συστηματική φλεγμονή σε όλο το σώμα. Οι φλεγμονώδεις αποκρίσεις στο PM μπορεί να οδηγήσουν στην απελευθέρωση προφλεγμονωδών ουσιών και οξειδωτικού στρες, το οποίο μπορεί να έχει ευρέως φάσματος επιπτώσεις σε διάφορα όργανα και συστήματα. Η χρόνια φλεγμονή σχετίζεται με την ανάπτυξη πολλών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων των καρδιαγγειακών παθήσεων, του διαβήτη και των νευροεκφυλιστικών καταστάσεων. Αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις: Η έκθεση σε PM έχει συνδεθεί με αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις του αναπνευστικού, όπως η πνευμονία και η βρογχίτιδα. Τα λεπτά σωματίδια μπορούν να βλάψουν την ικανότητα του ανοσοποιητικού συστήματος να καταπολεμά τις λοιμώξεις, καθιστώντας τους ανθρώπους πιο ευάλωτους σε αναπνευστικές ασθένειες που προκαλούνται από βακτήρια, ιούς και άλλα παθογόνα. Νευρολογικές επιδράσεις: Τα τελευταία χρόνια, όλο και περισσότερες ιατρικές έρευνες δείχνουν ότι η έκθεση σε PM μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Τα λεπτά σωματίδια μπορούν να εισέλθουν στην κυκλοφορία του αίματος και έπειτα να φτάσουν στον εγκέφαλο, όπου μπορεί να συμβάλουν σε φλεγμονές των νεύρων, οξειδωτικό στρες και σε νευροεκφυλιστικές παθήσεις. Η μακροχρόνια έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια έχει συσχετιστεί με γνωστά προβλήματα, αυξημένο κίνδυνο νευροαναπτυξιακών διαταραχών στα παιδιά και αυξημένο κίνδυνο νευροεκφυλιστικών ασθενειών όπως το Αλτσχάιμερ και το Πάρκινσον (European Environmental Agency, 2012).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ορισμένοι πληθυσμοί είναι πιο ευάλωτοι στις επιπτώσεις των PM στην υγεία, συμπεριλαμβανομένων των παιδιών, των ηλικιωμένων, των ατόμων με προϋπάρχουσες αναπνευστικές ή καρδιαγγειακές παθήσεις και εκείνων με χαμηλότερη κοινωνικοοικονομική κατάσταση. Για τον μετριασμό των επιπτώσεων των PM στην υγεία, είναι σημαντικό να μειωθούν οι εκπομπές PM μέσω βελτιωμένων βιομηχανικών πρακτικών, αυστηρότερων κανονισμών για την ποιότητα του αέρα, προώθησης καθαρότερων τεχνολογιών και μεμονωμένων ενεργειών όπως η μείωση της προσωπικής έκθεσης στη ρύπανση και η υποστήριξη των καθαρών πηγών ενέργειας.

3.3 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

3.3.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΥΣΗΣ

Οι διαδικασίες καύσης αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή πρωτογενών εκπομπών ΡΜ και οι κύριες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα είναι οι παρακάτω:

- 1. Καύση ορυκτών καυσίμων:** Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, βιομηχανικοί λέβητες και συστήματα θέρμανσης κατοικιών που καίνε ορυκτά καύσιμα όπως άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο απελευθερώνουν σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Η καύση αυτών των καυσίμων δημιουργεί τόσο λεπτά όσο και χονδροειδή σωματίδια, με τη σύνθεση να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου και τις συνθήκες καύσης.
- 2. Εκπομπές οχημάτων:** Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης των οχημάτων εκπέμπουν σωματίδια, ειδικά οι κινητήρες ντίζελ. Οι εκπομπές καυσαερίων από αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία και μοτοσικλέτες συμβάλλουν στην παραγωγή πρωτογενών ΡΜ, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές με υψηλή κυκλοφορία. Η εξάτμιση του οχήματος περιέχει τόσο λεπτά σωματίδια (όπως αιθάλη ή μαύρο άνθρακα) όσο και χονδροειδή σωματίδια (φθορά ελαστικών ή φρένων).
- 3. Καύση κατοικιών:** Η καύση στερεών καυσίμων για μαγείρεμα και θέρμανση σε κατοικημένες περιοχές, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, είναι μια σημαντική πηγή πρωτογενών ΡΜ. Τα στερεά καύσιμα όπως το ξύλο, ο άνθρακας και η βιομάζα απελευθερώνουν καπνό και σωματίδια απευθείας στον αέρα, συμβάλλοντας στα υψηλά επίπεδα ρύπανσης εσωτερικού και εξωτερικού χώρου (Harrison R.M. , 2020).

3.3.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι βιομηχανικές δραστηριότητες μπορούν να απελευθερώσουν σημαντικές ποσότητες πρωτογενών ΡΜ στην ατμόσφαιρα. Μερικά παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

- 1. Κατασκευαστικές εργασίες:** Ορισμένες διαδικασίες παραγωγής, όπως η επεξεργασία μετάλλων, η παραγωγή τσιμέντου και η χημική κατασκευή, μπορούν να δημιουργήσουν σωματίδια ως υποπροϊόν. Η σκόνη, ο καπνός και οι εκπομπές από αυτές τις βιομηχανίες συμβάλλουν στις πρωτογενείς εκπομπές ΡΜ.
- 2. Κατασκευή και κατεδάφιση:** Τα εργοτάξια και οι δραστηριότητες κατεδάφισης δημιουργούν σωματίδια σκόνης λόγω εκσκαφής, χειρισμού υλικών και διατάραξης του εδάφους. Αυτά τα σωματίδια, συμπεριλαμβανομένης της σκόνης από σκυρόδεμα, άσφαλτο και χώμα, απελευθερώνονται στον αέρα και συμβάλλουν στα πρωτογενή επίπεδα ΡΜ στις γύρω περιοχές.

- 3. Εξόρυξη:** Οι εξορυκτικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης, της σύνθλιψης και της μεταφοράς ορυκτών, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων σκόνης. Η απελευθέρωση σωματιδίων από τις εργασίες εξόρυξης συμβάλλει στις πρωτογενείς εκπομπές σωματιδίων, ιδιαίτερα σε περιοχές εξόρυξης.

3.3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Εκτός από την παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, συνεισφορά στις εκπομπές PM έχουν και φυσικές πηγές οι οποίες μπορούν να απελευθερώσουν διαφόρων μεγεθών και συστάσεων αιωρούμενα σωματίδια τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της ιδιότητας τους να αντιδρούν χημικά με τους ρύπους που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα οδηγώντας σε πολύπλοκες διεργασίες στην ατμόσφαιρα και σε πιθανούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία (Harrison R.M. , 2020) :

- 1. Σκόνη εδαφικής προέλευσης:** Η σκόνη από τον άνεμο είναι μια σημαντική φυσική πηγή πρωτογενών PM, ειδικά σε ξηρές και ξηρές περιοχές. Εμφανίζεται όταν ισχυροί άνεμοι συναντούν χώμα, άμμο ή άλλα σωματίδια από την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα αυτά να αιωρούνται στον αέρα. Παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι πρακτικές που εφαρμόζονται όσον αφορά τη χρήση της γης και οι κλιματικές συνθήκες, επηρεάζουν την ένταση των εκπομπών σκόνης από τον άνεμο. Περιοχές με εκτεθειμένο έδαφος, όπως έρημοι, γεωργικά χωράφια και εργοτάξια, είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς στην διάβρωση από τους ανέμους. Τα σωματίδια που παράγονται από τη σκόνη που πνέει ο άνεμος μπορεί να κυμαίνονται σε μέγεθος από χοντρή άμμο έως λεπτή ιλύς και μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις, επηρεάζοντας σε επίπεδο τοπικής αλλά ακόμη και παγκόσμιας κλίμακας την ποιότητα του αέρα.
- 2. Ηφαιστειακές εκρήξεις:** Οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να απελευθερώσουν σημαντικές ποσότητες πρωτογενών PM στην ατμόσφαιρα. Τα ηφαίστεια εκπέμπουν μια ποικιλία σωματιδίων, όπως τέφρα, διοξείδιο του θείου (SO₂) και άλλα αέρια. Η σύνθεση και η κατανομή μεγέθους της ηφαιστειακής τέφρας μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του ηφαιστείου και τη συγκεκριμένη έκρηξη. Η ηφαιστειακή τέφρα αποτελείται από λεπτά σωματίδια, συχνά με οδοντωτές άκρες, και μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις με τον άνεμο. Αυτά τα σωματίδια ενέχουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, την ασφάλεια των αερομεταφορών αλλά επίσης μπορούν να επηρεάσουν και το κλίμα αντανακλώντας το ηλιακό φως και επηρεάζοντας τις ατμοσφαιρικές διεργασίες.
- 3. Αερολύματα θαλάσσιας προέλευσης:** Τα αερολύματα θαλάσσιου αλατιού σχηματίζονται όταν σταγόνες προερχόμενες από τη θάλασσα και πολλές φορές από τα κύματα της, παρασύρονται από την δράση των ανέμων με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτά τα αερολύματα αποτελούνται κυρίως από μικρά σωματίδια αλατιού (NaCl) και θεωρούνται πρωτογενή PM. Οι παράκτιες περιοχές, ιδιαίτερα εκείνες με υψηλή κυματική δραστηριότητα,

συμβάλλουν στην εκπομπή αερολυμάτων θαλάσσιου αλατιού. Τα αερολύματα με θαλασσινό αλάτι μπορούν να έχουν δροσιστική επίδραση στο κλίμα αντανακλώντας το ηλιακό φως πίσω στο διάστημα. Παίζουν επίσης ρόλο στο σχηματισμό νεφών και έχουν επιπτώσεις στα θαλάσσια και στα παράκτια οικοσυστήματα.

- 4. Σωματίδια βιολογικής προέλευσης:** Οι βιολογικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων των φυτών, των δέντρων και των μικροοργανισμών, μπορούν να απελευθερώσουν βιολογικά σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα σωματίδια μπορεί να περιλαμβάνουν γύρη, σπόρους, θραύσματα μυκήτων και άλλων ειδών οργανική ύλη. Τα βιολογικά σωματίδια ποικίλλουν σε μέγεθος και σύνθεση ανάλογα με τους συγκεκριμένους οργανισμούς που εμπλέκονται. Είναι συνήθως μεγαλύτερα σε μέγεθος σε σύγκριση με τα σωματίδια που σχετίζονται με την καύση. Τα βιολογικά σωματίδια μπορεί να προκαλέσουν αναπνευστικές αλλεργίες και ευαισθησίες σε ορισμένα άτομα, ιδιαίτερα κατά τις εποχές της γύρης ή σε περιοχές με υψηλή βιολογική δραστηριότητα.

3.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

Ως PM περιγράφεται ένα μείγμα στερεών σωματιδίων και υγρών σταγονιδίων που βρίσκονται στον αέρα. Αυτά τα σωματίδια ποικίλλουν σε μέγεθος, σύνθεση και προέλευση. Το PM μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότερες πτυχές της επίδρασης των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα (Harrison R.M. , 2020).

- 1. Radiative Forcing:** Τα PM επηρεάζουν άμεσα το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης μεταβάλλοντας την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και την ποσότητα της εξερχόμενης θερμικής ακτινοβολίας που διαφεύγει στο διάστημα. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως radiative forcing (δύναμη ακτινοβολίας). Τα PM μπορούν να συμβάλλουν τόσο στη θέρμανση όσο και στην ψύξη της ατμόσφαιρας ανάλογα με τη σύνθεση, το μέγεθος και το υψόμετρο στο οποίο συναντώνται. Άμεσες επιδράσεις: Μεγαλύτερα σωματίδια, όπως η σκόνη και ο μαύρος άνθρακας (αιθάλη), απορροφούν και διασκορπίζουν την ηλιακή ακτινοβολία, οδηγώντας σε θερμική επίδραση στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια. Ο μαύρος άνθρακας, ειδικότερα, είναι ένας ισχυρός απορροφητής του ηλιακού φωτός και μπορεί να συμβάλει στο λιώσιμο των επιφανειών του χιονιού και του πάγου. Έμμεσες επιδράσεις: Το PM μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως πυρήνες συμπύκνωσης νέφους (CCN) ή πυρήνες πάγου (IN), επηρεάζοντας το σχηματισμό νεφών. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις CCN μπορούν να οδηγήσουν στο σχηματισμό περισσότερων αλλά μικρότερων σταγονιδίων σύννεφων, τα οποία μπορούν να μειώσουν τη διάρκεια ζωής και τη φωτεινότητα του νέφους (γνωστά ως φαινόμενο Twomey), με αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα ψύξης. Αντίθετα, η παρουσία του IN μπορεί να ενισχύσει τον σχηματισμό νεφών πάγου, τα οποία μπορεί να έχουν θερμαντικό αποτέλεσμα.

2. **Αλληλεπιδράσεις αερολύματος-νέφους:** Τα Α.Σ. μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις ιδιότητες του νέφους μέσω των αλληλεπιδράσεων αερολύματος-νέφους. Τα αερολύματα μπορούν να λειτουργήσουν ως CCN, τροποποιώντας τον αριθμό και την κατανομή μεγέθους των σταγονιδίων των σύννεφων. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα ανάκλασης, τα μοτίβα βροχοπτώσεων και τη διάρκεια ζωής του νέφους. Το καθαρό αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι πολύπλοκο και ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως η σύνθεση του αερολύματος, η κατακόρυφη κατανομή και οι μετεωρολογικές συνθήκες.
3. **Περιφερειακές και τοπικές κλιματικές επιπτώσεις:** Ο αντίκτυπος των PM στο κλίμα είναι συχνά περιφερειακός και τοπικός. Αστικές περιοχές: Οι υψηλές συγκεντρώσεις PM σε αστικές περιοχές, κυρίως από ανθρωπογενείς πηγές, όπως τα καυσαέρια των οχημάτων και οι βιομηχανικές διεργασίες, μπορούν να συμβάλουν στο σχηματισμό αιθαλομίχλης και ομίχλης. Αυτοί οι ρύποι μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, την ανθρώπινη υγεία και το τοπικό κλίμα. Οι επιπτώσεις των αστικών θερμικών νησίδων, όπου οι πόλεις παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τις γύρω αγροτικές περιοχές, μπορούν να επιδεινωθούν από τη ρύπανση από PM. Καύση βιομάζας: Η καύση βιομάζας, όπως τα δάση ή τα γεωργικά απόβλητα, απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες PM στην ατμόσφαιρα. Τα αερολύματα καπνού που προκύπτουν μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες των νεφών, τα μοτίβα βροχοπτώσεων και το κλίμα της περιοχής, ειδικά σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στις πυρκαγιές.
4. **Κλιματικές επιδράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο:** Οι εκπομπές PM μπορεί να έχουν επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μαύρο άνθρακα. Τα σωματίδια μαύρου άνθρακα μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις, οδηγώντας σε επιπτώσεις πέρα από τις περιοχές πηγής τους. Κάποιες από αυτές τις επιπτώσεις είναι οι ακόλουθες. Τήξη παγετώνων: Η εναπόθεση σωματιδίων που απορροφούν το φως, όπως ο μαύρος άνθρακας σε επιφάνειες χιονιού και πάγου, μπορεί να επιταχύνει την τήξη μειώνοντας την ανακλαστικότητα της επιφάνειας. Αυτό μπορεί να συμβάλει στην υποχώρηση των παγετώνων και στη μείωση της συσσώρευσης χιονιού, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα νερού στις ορεινές περιοχές. Κλιματική ευαισθησία: Η παρουσία PM, ειδικά του μαύρου άνθρακα, στην ατμόσφαιρα μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία του κλίματος - το ποσό της θέρμανσης ανά μονάδα αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου. Ο μαύρος άνθρακας σε περιοχές με χιόνια και πάγο μπορεί να ενισχύσει το φαινόμενο της θέρμανσης μειώνοντας την ανακλαστικότητα και επιταχύνοντας το λιώσιμο αυτών των επιφανειών. Ατμοσφαιρική Κυκλοφορία: Οι αλλαγές στα επίπεδα της ακτινοβολίας λόγω PM μπορεί να επηρεάσουν τα μοτίβα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένων των μουσώνων, την κατανομή της βροχόπτωσης και την ένταση των καταιγίδων. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να έχουν ευρείας κλίμακας επιπτώσεις στα περιφερειακά και παγκόσμια κλιματικά πρότυπα.

3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων εκτός από την επίδραση που έχουν στο κλίμα, επηρεάζουν σημαντικά τόσο την ποιότητα του αέρα όσο και την ορατότητα οδηγώντας σε βραχυπρόθεσμες αλλά και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο περιβάλλον κάποιες από τις οποίες είναι οι ακόλουθες (Harrison R.M. , 2020) :

- 1. Βλάστηση:** Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τα φυτά και τη βλάστηση. Η εναπόθεση των σωματιδίων στα φύλλα μπορεί να εμποδίσει το ηλιακό φως και να μειώσει την αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης, οδηγώντας σε μειωμένη ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών. Μπορεί επίσης να επηρεάσει τα στόμια των φύλλων, επηρεάζοντας την ανταλλαγή αερίων και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών.
- 2. Οικοσυστήματα:** Τα υψηλά επίπεδα σωματιδίων μπορούν επίσης να διαταράξουν τα οικοσυστήματα. Η εναπόθεση PM στις επιφάνειες του εδάφους μπορεί να αλλάξει τη χημεία του εδάφους, επηρεάζοντας τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Επιπρόσθετα, τα υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να επηρεαστούν όταν τα PM εναποτίθενται σε υδάτινους φορείς, μειώνοντας δυνητικά τη διείσδυση του φωτός και βλάπτοντας τους υδρόβιους οργανισμούς.
- 3. Τοπική ομίχλη:** Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να συμβάλουν στον σχηματισμό τοπικής ομίχλης, η οποία χαρακτηρίζεται από μειωμένη ορατότητα σε μεγάλες περιοχές. Η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός από τα σωματίδια PM τα οποία διασκορπίζουν το εισερχόμενο ηλιακό φως, οδηγεί σε μια διάχυτη και θολή εμφάνιση.
- 4. Αστική αιθαλομίχλη:** Σε αστικές περιοχές με υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων και άλλων ρύπων, μπορεί να εμφανιστεί ένα φαινόμενο γνωστό ως αιθαλομίχλη. Η αιθαλομίχλη είναι ένας συνδυασμός καπνού και ομίχλης και μειώνει την ορατότητα, δίνοντας στον αέρα μια μουντή ή καφέ εμφάνιση. Μπορεί επίσης να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, επιδεινώνοντας αναπνευστικά προβλήματα και ερεθισμό των ματιών.
- 5. Αισθητικές και πολιτιστικές επιπτώσεις:** Τέλος, η μειωμένη ορατότητα λόγω σωματιδίων μπορεί να επηρεάσει τις αισθητικές και πολιτιστικές αξίες που σχετίζονται με γραφικά τοπία, μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς και φυσικά αξιοθέατα. Η μειωμένη ορατότητα μπορεί να μειώσει την εμπειρία και την απόλαυση των υπαίθριων ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων και να επηρεάσει τον τουρισμό στις πληγείσες περιοχές.

3.6 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Η μείωση των επιπτώσεων της ρύπανσης από σωματίδια (PM) είναι ένα κρίσιμο βήμα για τη διαφύλαξη της ανθρώπινης υγείας, τη διατήρηση του περιβάλλοντος και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Παρακάτω αναφέρονται διάφορες στρατηγικές μετριασμού που μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά τις εκπομπές σωματιδίων και τους σχετικούς κινδύνους για το περιβάλλον και την υγεία. Με την εφαρμογή ενός συνδυασμού ρυθμιστικών μέτρων, τεχνολογικών καινοτομιών, πολεοδομικού σχεδιασμού, εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κοινού και διεθνείς συνεργασίες, οι κοινωνίες μπορούν να εργαστούν για τον μετριασμό της ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια με σκοπό τη δημιουργία καθαρότερων και πιο υγιεινών περιβαλλόντων.

3.6.1 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Τα ρυθμιστικά μέτρα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον μετριασμό των εκπομπών σωματιδίων. Οι κυβερνήσεις και οι περιβαλλοντικοί φορείς εφαρμόζουν διάφορες πολιτικές και κανονισμούς για τον έλεγχο και τη μείωση της ρύπανσης από σωματίδια. Κάποια από αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν τα παρακάτω (Harrison R.M. , 2020) :

- 1. Πρότυπα εκπομπών των σωματιδίων:** Καθορισμός και επιβολή συγκεκριμένων προτύπων εκπομπών για διαφορετικούς τομείς και πηγές, όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οχήματα και εξοπλισμός. Αυτά τα πρότυπα επιβάλλουν όρια στην ποσότητα των σωματιδίων που μπορούν να εκπέμπονται, ενθαρρύνοντας τη χρήση καθαρότερων τεχνολογιών και πρακτικών.
- 2. Συσκευές ελέγχου ρύπανσης:** Απαιτείται η εγκατάσταση και χρήση συσκευών ελέγχου της ρύπανσης, όπως φίλτρα σωματιδίων, ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές, σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οχήματα. Αυτές οι συσκευές συλλέγουν και απομακρύνουν τα σωματίδια από τα καυσαέρια προτού απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.
- 3. Προγράμματα επιθεώρησης και συντήρησης οχημάτων:** Εφαρμογή προγραμμάτων για τη διασφάλιση τακτικής επιθεώρησης και συντήρησης οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των φορτηγών ντίζελ, των λεωφορείων και των αυτοκινήτων, για τη μείωση των εκπομπών. Αυτά τα προγράμματα βοηθούν στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση ζητημάτων που συμβάλλουν σε υψηλότερες εκπομπές σωματιδίων, όπως δυσλειτουργία συστημάτων ελέγχου εκπομπών.
- 4. Ζώνες χαμηλών εκπομπών:** Καθορισμός συγκεκριμένων περιοχών, όπως τα κέντρα των πόλεων ή οι πυκνοκατοικημένες περιοχές, ως ζώνες χαμηλών εκπομπών όπου επιτρέπεται να λειτουργούν μόνο οχήματα που πληρούν ορισμένα πρότυπα εκπομπών όπως για παράδειγμα εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια στο κέντρο του Λονδίνου. Αυτό το μέτρο αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών των οχημάτων και των συγκεντρώσεων σωματιδίων σε περιοχές με υψηλή έκθεση του πληθυσμού.

3.6.2 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΣΤΟΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών σωματιδίων. Οι καινοτομίες στοχεύουν σε διάφορους τομείς και πηγές για την ανάπτυξη καθαρότερων και αποτελεσματικότερων τεχνολογιών. Ορισμένοι συγκεκριμένοι τομείς της τεχνολογικής καινοτομίας περιλαμβάνουν:

1. **Τροποποιήσεις κινητήρα:** Ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών κινητήρα, όπως άμεσος ψεκασμός, υπερσυμπίεση (turbocharging) και μεταβλητός χρονισμός βαλβίδων, για τη βελτίωση της απόδοσης καύσης και τη μείωση των εκπομπών σωματιδίων.
2. **Συστήματα μετεπεξεργασίας καυσαερίων:** Χρησιμοποιώντας συστήματα μετεπεξεργασίας καυσαερίων, όπως φίλτρα σωματιδίων ντίζελ (DPF: DieselParticulateFilters) και συστήματα επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης (SCR: SelectiveCatalyticReduction), για τη μείωση των εκπομπών σωματιδίων από οχήματα.
3. **Ηλεκτρικά και Υβριδικά Οχήματα:** Προώθηση της υιοθέτησης ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, τα οποία παράγουν μηδενικές ή σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με τους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές σωματιδίων.
4. **Ηλεκτροστατικοί Κατακρημνιστές (ESP):** Χρήση ESP (ElectrostaticPrecipitators) για την αφαίρεση σωματιδίων από βιομηχανικά καυσαέρια. Τα ESPs χρησιμοποιούν ηλεκτρικό φορτίο για να προσελκύουν και να συλλέγουν σωματίδια σε φορτισμένες πλάκες, μειώνοντας τις εκπομπές από βιομηχανικές διεργασίες.
5. **Υφασμάτινα φίλτρα (baghouses):** Χρήση υφασμάτινων φίλτρων, γνωστά και ως baghouses, τα οποία δεσμεύουν τα σωματίδια καθώς τα καυσαέρια διέρχονται μέσω μιας σειράς υφασμάτινων σακουλών. Οι σακούλες είναι αποτελεσματικές στη μείωση των εκπομπών από διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.
6. **Scrubbers:** Εφαρμογή τεχνολογιών scrubber που αφαιρούν τα σωματίδια από τα βιομηχανικά καυσαέρια μέσω χημικών αντιδράσεων ή φυσικών διεργασιών. Οι υγροί καθαριστές χρησιμοποιούν ένα υγρό διάλυμα για να παγιδεύουν και να απομακρύνουν σωματίδια.

3.6.3 ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Οι στρατηγικές πολεοδομικού σχεδιασμού μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ρύπανσης από σωματίδια στις πόλεις και τις αστικές περιοχές. Αυτές οι στρατηγικές επικεντρώνονται στη δημιουργία βιώσιμων περιβαλλόντων, συμπεριλαμβανομένων:

1. **Χώροι πρασίνου:** Ενσωμάτωση χώρων πρασίνου, όπως πάρκα, κήποι και αστικά δάση, στον πολεοδομικό σχεδιασμό για τη βελτίωση της ποιότητας του

αέρα και τον μετριασμό των σωματιδίων. Η βλάστηση λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο, παγιδεύοντας και απορροφώντας σωματίδια από τον αέρα.

- 2. Διαχείριση Κυκλοφορίας:** Εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένης της βελτιστοποίησης της ροής της κυκλοφορίας, των έξυπνων συστημάτων μεταφοράς και της προώθησης των μέσων μαζικής μεταφοράς και των ενεργών τρόπων μετακίνησης (περπάτημα, ποδήλατο). Αυτά τα μέτρα μειώνουν τη συμφόρηση και τις εκπομπές των οχημάτων, μειώνοντας έτσι τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.
- 3. Βιομηχανική Ζώνη:** Καθορισμός βιομηχανικών ζωνών μακριά από κατοικημένες περιοχές για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης των κοινοτήτων στις εκπομπές βιομηχανικών σωματιδίων.

3.6.4 ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ

Η προώθηση της ευαισθητοποίησης του κοινού και η ενθάρρυνση αλλαγών συμπεριφοράς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ρύπανσης από σωματίδια. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν τις ακόλουθες τακτικές:

- 1. Εκπαίδευση και ενημέρωση:** Ευαισθητοποίηση σχετικά με τις επιπτώσεις των σωματιδίων στην υγεία και το περιβάλλον και παροχή πληροφοριών για μεμονωμένες ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών, όπως η σωστή συντήρηση του οχήματος, οι φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές μετακίνησης και η αποτελεσματική χρήση της ενέργειας στα νοικοκυριά.
- 2. Προγράμματα προειδοποίησης αιθαλομίχλης:** Εφαρμογή προγραμμάτων προειδοποίησης αιθαλομίχλης που ενημερώνουν το κοινό για υψηλά επίπεδα ρύπανσης και προτείνουν ενέργειες για τη μείωση της έκθεσης, όπως η μείωση της χρήσης οχημάτων, περιορισμός των εξωτερικών δραστηριοτήτων, μείωση καύσης ξυλείας στα αστικά κέντρα και βελτίωση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- 3. Εκστρατείες αλλαγής συμπεριφοράς:** Διεξαγωγή εκστρατειών για την ενθάρρυνση βιώσιμων συμπεριφορών, όπως η ομαδική χρήση αυτοκινήτου, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς, η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών πρακτικών και η μείωση της ανοιχτής καύσης απορριμμάτων.

3.6.5 ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΛΑΙΣΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης από ΡΜ απαιτεί διεθνή συνεργασία και πλαίσια πολιτικής. Οι βασικές πρωτοβουλίες θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- 1. Διεθνείς Συμφωνίες:** Συνεργασία μέσω διεθνών συμφωνιών, όπως η Συμφωνία του Παρισιού και περιφερειακές συμφωνίες, για την συλλογική αντιμετώπιση των ζητημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τον καθορισμό στόχων μείωσης των εκπομπών.

2. **Κοινή χρήση γνώσης:** Διευκόλυνση της ανταλλαγής βέλτιστων πρακτικών, ερευνητικών ευρημάτων και τεχνολογικών προόδων που σχετίζονται με τον μετριασμό των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ χωρών και διεθνών οργανισμών.
3. **Εναρμόνιση προτύπων:** Προώθηση της εναρμόνισης διασυνοριακών προτύπων και κανονισμών εκπομπών για τη διασφάλιση στοχευμένων μέτρων ελέγχου και τη διευκόλυνση της υιοθέτησης καθαρότερων τεχνολογιών παγκοσμίως.
4. **Χρηματοδότηση και υποστήριξη:** Παροχή οικονομικής και τεχνικής υποστήριξης στις αναπτυσσόμενες χώρες για βοήθεια στην εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού των αιωρούμενων σωματιδίων και την υιοθέτηση καθαρότερων τεχνολογιών.

Η εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης σειράς στρατηγικών μετριασμού, συμπεριλαμβανομένων ρυθμιστικών μέτρων, τεχνολογικών καινοτομιών, πολεοδομικού σχεδιασμού, ευαισθητοποίησης του κοινού και διεθνούς συνεργασίας, είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική μείωση της ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια και τη διαφύλαξη της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ

4.1 ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ

Η Πάτρα (αρχαία ελληνικά: Πάτραι) είναι η μεγαλύτερη πόλη της Πελοποννήσου και η τρίτη μεγαλύτερη της Ελλάδας,[2] μετά την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, με πληθυσμό που ανέρχεται στους 173.600 κατοίκους, ενώ ο πληθυσμός του Δήμου Πατρέων ανέρχεται σε 215.922 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021. Η ευρύτερη μητροπολιτική περιοχή περιλαμβάνει περίπου 305.000 κατοίκους. Η Πάτρα είναι πρωτεύουσα της Περιφερειακής Ενότητας Αχαΐας, της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας, καθώς και έδρα του ομώνυμου δήμου, ενώ έχει οριστεί επίσης ως έδρα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Ιονίων Νήσων. Η Πάτρα βρίσκεται 216 χιλιόμετρα δυτικά της Αθήνας στα βόρεια παράλια της Πελοποννήσου, στους πρόποδες του Παναχαϊκού Ορους, και βρέχεται από τον Πατραϊκό Κόλπο. Είναι η πύλη της Ελλάδας προς τη Δύση λόγω του λιμανιού της και την επικοινωνία με την Ιταλία και την Ευρώπη, άλλα και κομβικό σημείο για το εμπόριο με διεθνές διαστάσεις. Ο Δήμος Πατρέων μετά τη συνένωσή του με τους Πρώην Δήμους Παραλίας, Μεσσήτιδος, Βραχναϊκών και Ρίου, καταλαμβάνει μια συνολική έκταση που αγγίζει τα 334 τ.χλμ. Το αστικό συγκρότημα της Πάτρας καταλαμβάνει το πεδινό τμήμα του Δήμου και επεκτείνεται και στα ημιορεινά, μετά την συνένωση με τους οικισμούς που βρίσκονται στα όρια του Δήμου. Στην παράκτια ζώνη το ανάγλυφο είναι λοφώδες μέχρι και μέσα στην Πάτρα. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του οικιστικού ιστού της Πάτρας είναι το λιμάνι και ο χαμηλός λόφος του Παναχαϊκού με το μεσαιωνικό κάστρο, χτισμένο πάνω στα ερείπια της αρχαίας Ακρόπολης. Ο αστικός ιστός διαχέεται και εκτός των ορίων του Δήμου, καθώς η παραλιακή ζώνη από τους οικισμούς Αντιρρίου και Ναυπάκτου (μετά την κατασκευή και λειτουργία της Ζεύξης) αποτελεί προέκταση του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Πάτρας προς Βορρά, ενώ νότια επεκτείνεται η οικιστική παραλιακή ζώνη μέχρι την Κάτω Αχαΐα. Ένα κεντρικό χαρακτηριστικό της αστικής γεωγραφίας στην «καρδιά» της Πάτρας είναι η διαίρεσή της στην Άνω και Κάτω πόλη που συνδέονται μεταξύ τους με σκάλες. Η Κάτω πόλη- η οποία περιλαμβάνει τον αστικό πυρήνα του 19ου αιώνα και το λιμάνι, βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα, απλώνεται μεταξύ των εκβολών των ποταμών Γλαύκου και Χαράδρου και είναι χτισμένη πάνω σε ένα αρχικά ποταμογενές και ελώδες έδαφος σε πολεοδομικό σχέδιο του Σταμάτη Βούλγαρη (1774 - 1842). Η Άνω πόλη καλύπτει την περιοχή των παλαιότερων οικισμών, γύρω από το φρούριο, πάνω στις δυτικότερες υπώρειες του Παναχαϊκού όρους (1.926 μέτρα) πριν τον Πατραϊκό Κόλπο. Το μεγαλύτερο ποτάμι της περιοχής είναι ο Γλαύκος στη νότια πλευρά της πόλης. Ο Γλαύκος πηγάζει από το Παναχαϊκό και τα νερά του συγκεντρώνονται από το 1925 σε μια μικρή ορεινή υδατοδεξαμενή κοντά στο χωριό Σούλι και στη συνέχεια διοχετεύονται με αγωγούς, ώστε να παράγουν ενέργεια στον υδροηλεκτρικό σταθμό Γλαύκου, το παλαιότερο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της Ελλάδας. Άλλα ποτάμια και χείμαρροι είναι ο Χάραδρος, ο Μείλιχος, ο Διακονιάρης, ο Σέλεμνος, η Παναγίτσα. Η πόλη διαθέτει το Έλος της Αγυιάς ένας μικρός προστατευόμενος παράκτιος υδροβιότοπος με μεγάλη οικολογική αξία, μόλις 30 εκταρίων, που βρίσκεται στα βόρεια του κέντρου της

πόλης. Κύρια χαρακτηριστικά του υδροβιότοπου είναι η προφανής σπανιότητα της διάσωσης του στην καρδιά ενός πυκνοκατοικημένου αστικού κέντρου μέσα σ'ένα σχετικά ξηρό κλίμα. Σύμφωνα με μια μελέτη του Πατρινού γραφείου της Ελληνικής Ορνιθολογικής Εταιρίας, ο υγρότοπος αυτός διατηρεί ένα υψηλό επίπεδο βιοποικιλότητας με πάνω από 90 είδη πουλιών να έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή ως τις αρχές της δεκαετίας του 1990, αφού χρησιμοποιείται σαν σταθμός από μεταναστευτικά πουλιά. Στο έλος ζει και ένα σπάνιο είδος ερπετού, προστατευόμενο είδος από την ελληνική και διεθνή νομοθεσία, ο Τρίτωνας (*Triturus vulgaris*), ο οποίος αναπαράγεται σε νερόλακκους. Στο έλος υπάρχουν και άλλα είδη, όπως νεροχελώνες και πολλά είδη αμφίβιων. Η Πάτρα έχει ευχάριστο μεσογειακό κλίμα με σχετικά δροσερά και υγρά καλοκαίρια και πολύ ήπιους χειμώνες (Wikipedia).

Οι σταθμοί μέτρησης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική βρίσκονται στον Καστελόκαμπο ο οποίος είναι και προάστιο της Πάτρας στο βόρειο τμήμα της πόλης, στην Αγυιά η οποία είναι συνοικία στην βόρεια περιοχή της πόλης και βρέχεται από τον Πατραϊκό κόλπο, στο Πλατάνι χωριό το οποίο βρίσκεται 14 km βορειοανατολικά της Πάτρας, στο πανεπιστήμιο Πατρών το οποίο βρίσκεται στην περιοχή του Ρίου 6 km βορειοανατολικά του κέντρου της Πάτρας. Άλλοι τέσσερις σταθμοί είναι τα Κρητικά, το 64^ο Δημοτικό Πάτρας, το Πειραματικό Λάγγουρα, η Τριών Ναυάρχων, σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται στο ευρύτερο κέντρο της Πάτρας. Τέλος, μετρήσεις πάρθηκαν από σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στο 19^ο Γυμνάσιο Πατρών, στη Λεύκα, στην Κυψέλη, στα Δεμένικα, στο Κουκούλι, στην Παραλία, περιοχές που βρίσκονται στο νότιο κομμάτι της πόλης στα πέριξ του ποταμού Γλαύκου.

4.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική οι μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} έγιναν από τον Δεκέμβριο του 2022 μέχρι τον Φεβρουάριο του 2023 και πραγματοποιήθηκαν σε ωριαία βάση στους προαναφερθέντες σταθμούς. Στον πίνακα 4.1 φαίνονται οι μέσες τιμές, οι τυπικές αποκλίσεις αλλά και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των σταθμών στους οποίους έγιναν οι καταγραφές των αιωρούμενων σωματιδίων.

PM_{2.5} μg/m³

	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή
19ο Γυμνάσιο Πατρών	22,50	25,36	187,56	0,36
64ο Δημοτικό Σχολείο Πατρών	15,15	14,66	106,62	0,42
Αγυιά	7,77	5,37	37,04	0,88
Δεμένικα	21,36	18,64	146,38	0,92
Καστελόκαμπος	8,88	5,49	67,68	1,05
Κουκούλι	12,27	12,17	125,51	0,80
Κυψέλη	18,69	16,48	306,86	0,46
Λεύκα	26,97	26,83	152,84	0,72
Παραλία	21,28	19,75	177,23	0,78
Πειραματικό - Λάγγουρα	18,62	18,89	155,38	0,29
Πλατάνι	6,11	3,72	23,75	0,69
Τριών Ναυάρχων	22,98	22,80	161,34	0,97
Πανεπιστήμιο Πατρών	6,38	3,83	27,23	0,48
Κρητικά	14,59	17,84	358,22	0,86

Πίνακας 4.1: Μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση PM_{2.5} στις περιοχές των σταθμών για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

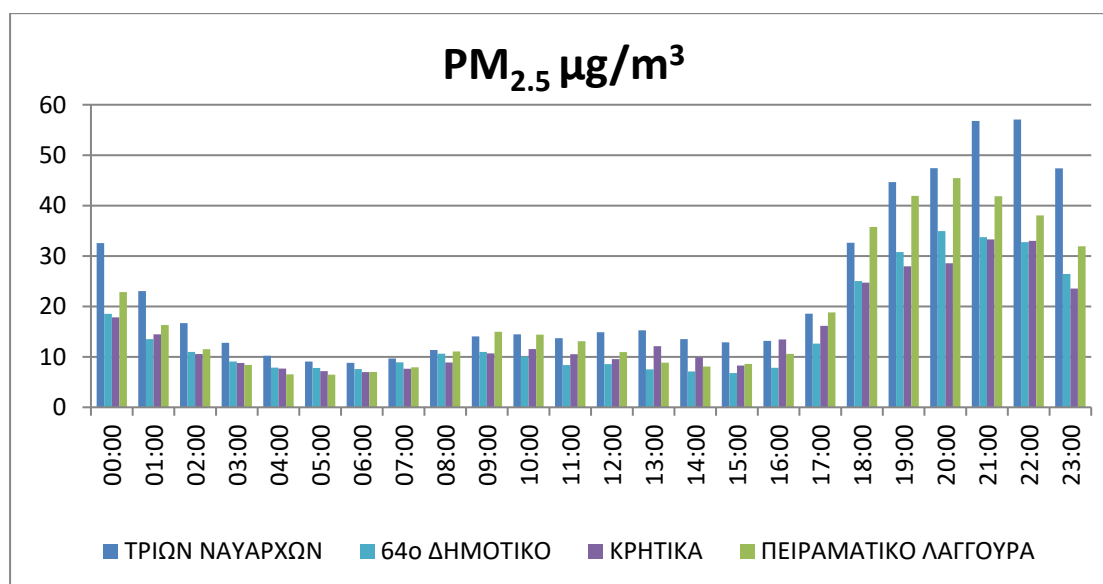
Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η μέση τιμή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} στις περιοχές Αγυιά, Καστελόκαμπος, Πλατάνι και Πανεπιστήμιο Πατρών είναι υποδιπλάσιες και υποτριπλάσιες των μέσων τιμών των υπόλοιπων περιοχών. Αυτό είναι απολύτως λογικό επειδή αυτές οι περιοχές βρίσκονται σχετικά μακριά από το αστικό κέντρο συγκριτικά με τις περιοχές των υπολοίπων σταθμών όπου υπάρχει επιβάρυνση της ατμόσφαιρας (λόγω της καύσης των βενζινοκίνητων/πετρελαιοκίνητων οχημάτων, καύση μέσων θέρμανσης, καύση ξυλείας για θέρμανση κ.λ.π).

4.2.1 ΜΕΣΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΗΝΩΝ

Στα παρακάτω διαγράμματα γίνεται απεικόνιση των μέσων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} ανά ώρα για το σύνολο του Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου στις περιοχές συλλογής των μετρήσεων. Τα διαγράμματα είναι αρχικά χωρισμένα ανά γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκονται οι εκάστοτε σταθμοί.

Το διάγραμμα 4.1 απεικονίζει τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των τριών μηνών στις περιοχές των Τριών Ναυάρχων, του 64^{ου} Δημοτικού Πατρών, τα

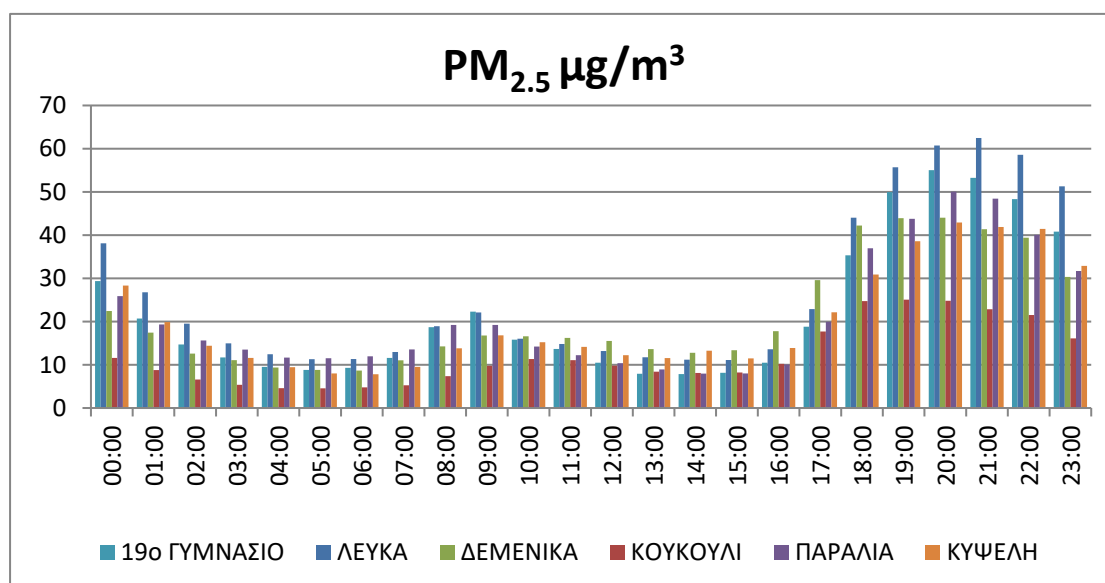
Κρητικά και του Πειραματικού Λάγγουρα, περιοχές οι οποίες βρίσκονται εντός του αστικού κέντρου της πόλης της Πάτρας. Στο διάγραμμα παρατηρούμε όπως είναι αναμενόμενο, ότι και στις τέσσερις περιοχές οι μέγιστες τιμές των $PM_{2.5}$ εμφανίζονται στο διάστημα 18:00 – 23:00, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό. Πιο συγκεκριμένα για την περιοχή των Τριών Ναυάρχων η μέγιστη μέση ωριαία τιμή των $PM_{2.5}$ για τους τρεις μήνες ανέρχεται στα $57,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 22:00, στα Κρητικά στα $33,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 21:00, στο 64^ο Δημοτικό Πατρών στα $34,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 20:00 και στο Πειραματικό Λάγγουρα στα $45,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ πάλι στις 20:00. Η εξήγηση αυτών των υψηλών τιμών είναι ότι τις συγκεκριμένες ώρες λόγω του κλεισίματος των καταστημάτων παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση στις περιοχές του κέντρου της Πάτρας αλλά και λόγω της εποχής του χειμώνα και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών παρατηρείται αύξηση της χρήσης των καυστήρων θέρμανσης αλλά και των τζακιών/ξυλόσομπων κάτι που οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα του αστικού κέντρου. Αντίθετα, οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις στις ίδιες περιοχές παρατηρούνται στις 5:00 το πρωί με τιμές $9,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $6,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ αντίστοιχα, κάτι το οποίο είναι λογικό λόγω της μη λειτουργίας των μέσων θέρμανσης αλλά και της απουσίας κυκλοφορίας των οχημάτων. Παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των μέγιστων και των ελάχιστων μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$ σε αυτούς τους σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στο κέντρο της πόλης και είναι προφανές ότι οφείλεται στην αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα των υψηλών μέσων τιμών.



Διάγραμμα 4.1: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ στους σταθμούς «Τριών Ναυάρχων», «64^ο Δημοτικό Πάτρας», «Κρητικά» και «Πειραματικό Λάγγουρα» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Εν συνέχεια, το διάγραμμα 4.2 απεικονίζει τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των τριών μηνών στις περιοχές Λεύκα, Κουκούλι, 19^ο Γυμνάσιο Πατρών, Δεμένικα, Κυψέλη και Παραλία περιοχές που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό μέρος

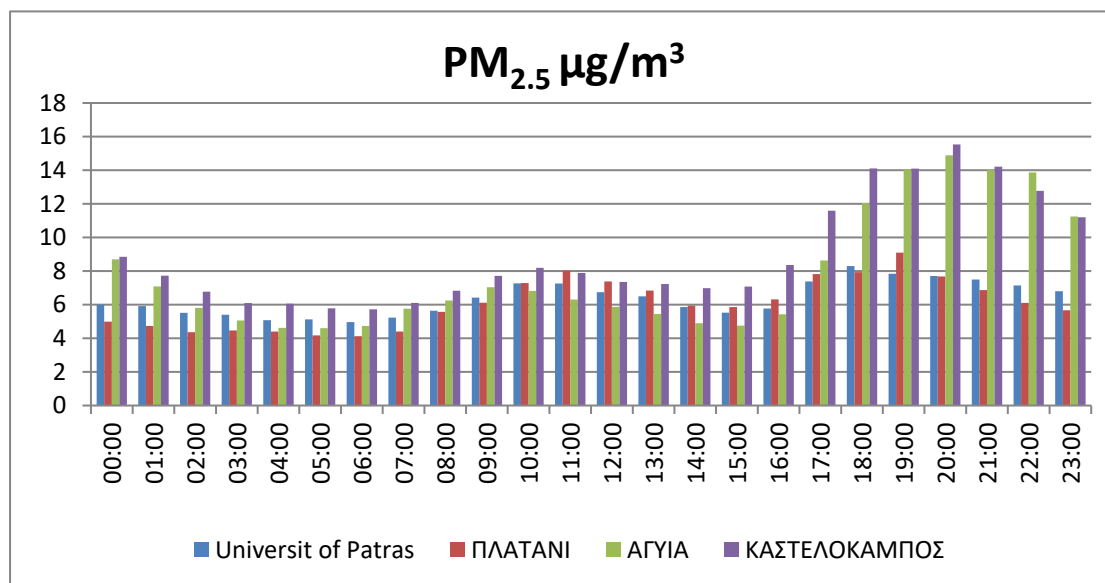
της Πάτρας και πλησίον του ποταμού Γλαύκου. Οι μέγιστες τιμές παρόμοια με τις περιοχές του κέντρου παρατηρούνται τις ώρες μεταξύ 19:00 – 23:00, κυρίως λόγω της αυξημένης χρήσης των μέσων θέρμανσης, της αυξημένης κυκλοφορίας αλλά και της γεωγραφικής θέσης αυτών των περιοχών και συγκεκριμένα το ότι βρίσκονται πλησίον της θάλασσας αλλά και το διαφορετικό μικροκλίμα επηρεάζει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των PM. Οι αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων είναι Λεύκα (max= 62,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 11,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Κουκούλι (max=25,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min=4,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 19ο Γυμνάσιο Πατρών (max= 55,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 7,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Δεμένικα (max= 44,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 8,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Κυψέλη (max= 42,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 7,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και Παραλία (max= 50,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 7,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Παρατηρούμε ότι παρόλο που οι περιοχές αυτές βρίσκονται σχετικά κοντά στο νοτιοανατολικό μέρος της Πάτρας, στην περιοχή Κουκούλι η μέγιστη ωριαία τιμή της συγκέντρωσης των PM_{2.5} είναι 25,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή αρκετά χαμηλότερη με τις υπόλοιπες τοποθεσίες της περιοχής κάτι που θα μπορούσε να οφείλεται στο ότι το Κουκούλι είναι αρκετά αραιοκατοικημένο και με την πλειοψηφία των κτιρίων να μην είναι πολυκατοικίες.



Διάγραμμα 4.2: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «19^ο Γυμνάσιο Πάτρας», «Λεύκα», «Δεμένικα», «Κουκούλι», «Παραλία» και «Κυψέλη» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

Το διάγραμμα 4.3 απεικονίζει τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των τριών μηνών στις τοποθεσίες Πλατάνι, Αγυιά, Καστελόκαμπος και Πανεπιστήμιο Πατρών, περιοχές οι οποίες βρίσκονται στο βόρειο κομμάτι της πόλης της Πάτρας. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τις ώρες μεταξύ 18:00 – 23:00 και οι αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων είναι, Αγυιά (max= 14,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 4,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Καστελόκαμπος (max=15,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,min=5,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Πλατάνι (max= 9,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 4,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Πανεπιστήμιο Πατρών (max= 8,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, min= 4,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Σε αντίθεση με τις τοποθεσίες του κέντρου της Πάτρας και των περιοχών νοτιοανατολικά του κέντρου, οι παραπάνω περιοχές παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες μέγιστες μέσες ωριαίες τιμές και αυτό οφείλεται στο ότι βρίσκονται μακριά από το κέντρο στα προάστια της πόλης της Πάτρας. Επίσης

παρατηρούμε ότι στις περιοχές Καστελόκαμπος και Αγυιά οι μέγιστες τιμές είναι αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες στο Πλατάνι και σχεδόν διπλάσιες από εκείνες του Πανεπιστημίου Πατρών και αυτό οφείλεται στον αρκετά μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων αυτών των δυο προαστίων της Πάτρας. Τέλος παρατηρούμε ότι σε αντίθεση με τον Καστελόκαμπο, την Αγυιά και το Πλατάνι, το Πανεπιστήμιο Πατρών λόγω της έλλειψης κατοικιών και κατά συνέπεια μικρής χρήσης μέσων θέρμανσης, παρουσιάζει μέγιστες τιμές κατά το χρονικό διάστημα 10:00 – 12:00, 17:00 – 20:00, χρονικές περίοδοι στις οποίες υπάρχει σχετικά αυξημένη προσέλευση – αποχώρηση καθηγητών και φοιτητών με Ι.Χ και λεωφορεία.



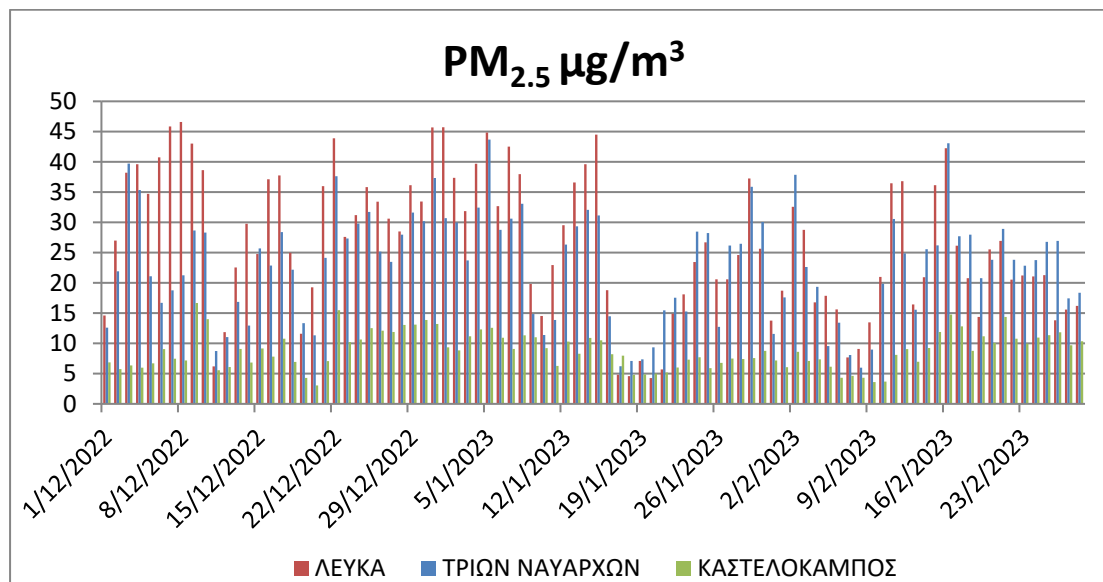
Διάγραμμα 4.3: Μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «Πανεπιστήμιο Πατρών», «Πλατάνι», «Αγυιά», «Καστελόκαμπος» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

4.2.2 ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΗΝΩΝ

Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται απεικόνιση των μέσων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} ανά ημέρα για το σύνολο του Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου στις τρεις τοποθεσίες συλλογής των μετρήσεων οι οποίες καλύπτουν το κεντρικό κομμάτι της πόλης της Πάτρας (Τριών Ναυάρχων), τα βόρεια προάστια (Καστελόκαμπος) και το νοτιοανατολικό μέρος του κέντρου (Λεύκα). Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για το μεγαλύτερο μέρος της πόλης της Πάτρας όσον αφορά τις ημερήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} την περίοδο του Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου που είναι υψηλού ενδιαφέροντος.

Στο διάγραμμα 4.4 παρατηρούμε ότι οι μέγιστες μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις παρατηρούνται για τη Λεύκα στις 8/12/2022 (max=46,59 µg/m³), για των Τριών Ναυάρχων στις 5/1/2023(max=43,67µg/m³) και για τον Καστελόκαμπο στις 9/12/2022 (max=16,67µg/m³). Οι υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι επακόλουθο της αυξημένης χρήσης τζακιών λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών αλλά και λόγω της αυξημένης κίνησης των οχημάτων πριν και κατά τη διάρκεια των εορτών. Παρατηρώντας τις τιμές για τις τρεις αυτές τοποθεσίες, βλέπουμε ότι μετά το

πέρας των εορτών υπάρχει μια αισθητή πτώση στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά μέσο όρο. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να τονιστεί ότι στις μεταβολές των συγκεντρώσεων είναι καθοριστικός ο ρόλος των μετεωρολογικών συνθηκών: η θερμοκρασία (άρα και η ένταση της χρήσης των μέσω θέρμανσης), η υγρασία και ο άνεμος συμβάλλουν στην διασπορά των αιωρούμενων σωματιδίων, με αποτέλεσμα την μεταβολή των συγκεντρώσεών τους στις περιοχές μέτρησης.



Διάγραμμα 4.4: Μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις PM_{2.5} στους σταθμούς «Λεύκα», «Τριών Ναυάρχων», «Καστελόκαμπος» για την περίοδο 1/12/2022 – 28/02/2023.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ PM_{2.5} – ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση των συγκεντρώσεων σωματιδίων (PM) παρέχοντας εκτιμήσεις των επιπέδων PM σε μη μετρημένες τοποθεσίες με βάση τα παρατηρούμενα δεδομένα. Αυτές οι μέθοδοι λαμβάνουν υπόψη τη χωρική συσχέτιση και τη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων PM για τη βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων παρεμβολής. Οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής σταθερότητας, πράγμα που σημαίνει ότι οι στατιστικές ιδιότητες των συγκεντρώσεων PM παραμένουν σταθερές σε όλη την περιοχή μελέτης. Για την αποτύπωση της χωρικής συσχέτισης, χρησιμοποιούνται γεωστατιστικά μοντέλα, όπως τα βαριογράμματα. Τα βαριογράμματα ποσοτικοποιούν τη χωρική εξάρτηση των συγκεντρώσεων PM μετρώντας τη διακύμανση μεταξύ ζευγών θέσεων σε διαφορετικές αποστάσεις και κατευθύνσεις. Παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες σχετικά με τη χωρική δομή, το εύρος και το φαινόμενο ψήγματος (χωρική μεταβλητότητα σε μηδενική απόσταση) των δεδομένων PM (Ruchjana B.N., 2021).

Χωρικές συµμεταβλητές: Οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής μπορούν να βελτιωθούν με την ενσωμάτωση χωρικών συµμεταβλητών, όπως μετεωρολογικά δεδομένα ή πληροφορίες χρήσης γης. Αυτές οι συµμεταβλητές µπορούν να

συλλάβουν πρόσθετες πηγές μεταβλητότητας ή να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα συμφραζόμενα που βελτιώνουν την ακρίβεια των εκτιμήσεων συγκέντρωσης PM. Το Co-Kriging, είναι μια τεχνική που συνδυάζει τις χωρικές πληροφορίες της κύριας μεταβλητής (συγκεντρώσεις PM) με βοηθητικές μεταβλητές για να παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα παρεμβολής.

Επιλογή και επικύρωση μοντέλου: Η επιλογή ενός κατάλληλου γεωστατιστικού μοντέλου είναι κρίσιμη για την ακριβή παρεμβολή. Περιλαμβάνει την επιλογή του μοντέλου βαριογράμματος που αντιπροσωπεύει καλύτερα τη χωρική συσχέτιση των συγκεντρώσεων PM στην περιοχή μελέτης. Η επιλογή μοντέλου μπορεί να γίνει μέσω οπτικής επιθεώρησης πειραματικών βαριογραμμάτων ή χρησιμοποιώντας κριτήρια καλής προσαρμογής, όπως το υπολειπόμενο άθροισμα τετραγώνων ή το κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC). Η επικύρωση του επιλεγμένου μοντέλου είναι σημαντική για την αξιολόγηση της απόδοσής του και την αποφυγή υπερβολικής προσαρμογής. Τεχνικές διασταυρούμενης επικύρωσης, όπως η διασταυρούμενη επικύρωση k-fold ή η διασταυρούμενη επικύρωση άδειας-έναν, χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση της προγνωστικής ακρίβειας της μεθόδου παρεμβολής.

Εκτίμηση αβεβαιότητας: Οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής παρέχουν ένα μέσο για την εκτίμηση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις παρεμβαλλόμενες συγκεντρώσεις PM. Η αβεβαιότητα τυπικά ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας τη διακύμανση πρόβλεψης ή τις τυπικές εκτιμήσεις σφάλματος. Αυτά τα μέτρα αβεβαιότητας υποδεικνύουν την αξιοπιστία ή την εμπιστοσύνη των παρεμβαλλόμενων τιμών, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση της χωρικής μεταβλητότητας και των πιθανών σφαλμάτων στην εκτίμηση.

Οπτικοποίηση: Τα αποτελέσματα της γεωστατιστικής παρεμβολής μπορούν να οπτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας χάρτες περιγράμματος, χάρτες θερμότητας ή τρισδιάστατες επιφάνειες, που παρέχουν μια οπτική αναπαράσταση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων PM. Η οπτικοποίηση επιτρέπει τον εντοπισμό εστιών, περιοχών υψηλών ή χαμηλών συγκεντρώσεων, χωρικών τάσεων και πιθανών πηγών ρύπανσης. Βοηθά στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση του περιβάλλοντος, τις πολιτικές υγείας και τις στοχευμένες παρεμβάσεις.

Περιορισμοί: Οι μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής υποθέτουν τη σταθερότητα και βασίζονται στη χωρική συσχέτιση των διαθέσιμων δεδομένων. Μπορεί να αντιμετωπίσουν περιορισμούς όταν ασχολούνται με πολύπλοκα χωρικά μοτίβα, ακανόνιστα σχήματα δειγματοληψίας ή ταχέως μεταβαλλόμενες συγκεντρώσεις PM. Επιπλέον, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων παρεμβολής εξαρτάται από την πυκνότητα και την αντιπροσωπευτικότητα του δικτύου μέτρησης και τη χωρική μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων PM. Είναι σημαντικό να ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της παρεμβολής με προσοχή και να λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εκτίμηση (Ruchjana B.N., 2021).

Χρησιμοποιώντας γεωστατιστικές μεθόδους παρεμβολής, οι ερευνητές και οι περιβαλλοντικοί επαγγελματίες μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις για τη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων σωματιδίων, να εντοπίσουν περιοχές ανησυχίας και να υποστηρίξουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα και τη δημόσια υγεία.

Ακολουθούν ορισμένες βασικές μέθοδοι γεωστατιστικής παρεμβολής που χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανάλυση συγκέντρωσης PM:

1. **Kriging:** Το Kriging είναι μια δημοφιλής μέθοδος γεωστατιστικής παρεμβολής που υπολογίζει βέλτιστα τις συγκεντρώσεις PM

ελαχιστοποιώντας τη διακύμανση του σφάλματος πρόβλεψης. Υποθέτει ότι η χωρική συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων PM μπορεί να χαρακτηριστεί από ένα βαριόγραμμα, το οποίο περιγράφει τη μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων PM σε διαφορετικές αποστάσεις. Η μέθοδος Kriging χρησιμοποιεί το βαριόγραμμα για να προσδιορίσει τα βάρη που αποδίδονται σε κοντινές παρατηρήσεις κατά την εκτίμηση των συγκεντρώσεων PM σε μη μετρημένες τοποθεσίες. Το Ordinary Kriging υποθέτει έναν σταθερό μέσο όρο, ενώ το Universal Kriging ενσωματώνει έναν χωρικά μεταβαλλόμενο μέσο όρο.

2. **Co-Kriging:** Το Co-Kriging επεκτείνει τη βασική μέθοδο Kriging ενσωματώνοντας βοηθητικές μεταβλητές που συσχετίζονται με τις συγκεντρώσεις PM. Για παράδειγμα, μετεωρολογικά δεδομένα, πληροφορίες χρήσης γης ή άλλες μετρήσεις ρύπων μπορούν να χρησιμεύσουν ως βοηθητικές μεταβλητές. Αξιοποιώντας τη συσχέτιση μεταξύ της μεταβλητής στόχου (PM) και των βοηθητικών μεταβλητών, το Co-Kriging μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων συγκέντρωσης PM.
3. **Δείκτης Kriging:** Ο δείκτης Kriging είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν οι συγκεντρώσεις PM ταξινομούνται σε διακριτές κατηγορίες ή κατηγορίες (π.χ. χαμηλή, μέτρια, υψηλή). Αυτή η μέθοδος εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης κάθε κατηγορίας σε μη μετρημένες τοποθεσίες με βάση τις αναλογίες των κατηγοριών που παρατηρούνται σε κοντινές τοποθεσίες. Ο δείκτης Kriging παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χωρική κατανομή διαφορετικών επιπέδων συγκέντρωσης PM και μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό περιοχών με υψηλά επίπεδα ρύπανσης.
4. **Gaussian Process Regression (GPR):** Η GPR είναι μια ευέλικτη μέθοδος γεωστατιστικής παρεμβολής που χρησιμοποιεί μια μη παραμετρική προσέγγιση για να μοντελοποιήσει τη χωρική συσχέτιση των συγκεντρώσεων PM. Η GPR υποθέτει ότι τα παρατηρούμενα σημεία δεδομένων PM είναι δείγματα από μια διαδικασία Gaussian, επιτρέποντας την εκτίμηση των συγκεντρώσεων PM σε μη μετρημένες θέσεις. Το GPR μπορεί να συλλάβει μη γραμμικές σχέσεις και παρέχει εκτιμήσεις αβεβαιότητας για τις παρεμβαλλόμενες τιμές, προσφέροντας πληροφορίες για την αξιοπιστία των προβλέψεων.
5. **Αντίστροφη στάθμιση απόστασης:** Η στάθμιση αντίστροφης απόστασης (IDW) είναι μια απλή μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιείται ευρέως για την υπολογιστική της απόδοση. Εκχωρεί βάρη σε κοντινές μετρήσεις PM με βάση τις αντίστροφες αποστάσεις τους από τη θέση στόχο. Οι πιο προσεκτικές παρατηρήσεις έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην εκτιμώμενη συγκέντρωση PM. Το IDW είναι εύκολο να εφαρμοστεί, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη τη χωρική δομή τόσο αποτελεσματικά όσο άλλες γεωστατιστικές μέθοδοι (O'Sullivan and Unwin, 2010).

4.3.2 ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING

Στην παρούσα διπλωματική για την γεωστατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεων PM_{2.5} στην τοποθεσία της Πάτρας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Ordinary Kriging. Όπως προαναφέρθηκε, η βασική ιδέα πίσω από το Kriging είναι να εκτιμηθούν άγνωστες τιμές χρησιμοποιώντας έναν σταθμισμένο μέσο όρο των κοντινών παρατηρούμενων τιμών. Ο προσδιορισμός γίνεται με βάση τη χωρική δομή συσχέτισης, η οποία τυπικά ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας ένα βαριόγραμμα. Το βαριόγραμμα μετρά τη διακύμανση ή ημιδιακύμανση μεταξύ ζευγών σημείων δεδομένων σε διαφορετικές αποστάσεις και κατευθύνσεις. Παρέχει πληροφορίες για τη χωρική εξάρτηση και τη δομή της μεταβλητής που εκτιμάται.

Το Ordinary Kriging είναι μια μέθοδος γεωστατιστικής παρεμβολής που υπολογίζει τιμές σε μη μετρημένες θέσεις με βάση τη χωρική δομή συσχέτισης των παρατηρούμενων δεδομένων. Υποθέτει έναν σταθερό μέσο όρο και στοχεύει να παρέχει την καλύτερη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση της μεταβλητής ενδιαφέροντος. Το Ordinary Kriging λαμβάνει υπόψη τόσο τη χωρική αυτοσυσχέτιση όσο και τη μεταβλητότητα των δεδομένων για να παράγει ακριβείς εκτιμήσεις. Τα βήματα που απαιτούνται για την εκτέλεση του Ordinary Kriging είναι τα εξής (Ruchjana B.N., 2021):

1. **Συλλογή δεδομένων:** Συλλογή ενός συνόλου σημείων δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τη μεταβλητή ενδιαφέροντος όπως τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μαζί με τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες αλλά και βεβαίωση ότι τα σημεία δεδομένων είναι αντιπροσωπευτικά της περιοχής μελέτης και έχουν επαρκή χωρική κατανομή.
2. **Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων:** Διερευνητική ανάλυση δεδομένων για να εξετάσετε την κατανομή, το εύρος και τα χωρικά μοτίβα των δεδομένων. Αυτό το βήμα βοηθά στον εντοπισμό τυχόν ακραίων τιμών, τάσεων ή χωρικών εξαρτήσεων που υπάρχουν στο σύνολο δεδομένων.
3. **Ανάλυση βαριογράμματος:** Υπολογισμός του εμπειρικού βαριογράμματος από τα σημεία δεδομένων. Το βαριόγραμμα μετρά τη χωρική συσχέτιση ή ημιδιακύμανση μεταξύ ζευγών σημείων δεδομένων σε διαφορετικές αποστάσεις και κατευθύνσεις αλλά και παρέχει πληροφορίες για τη χωρική εξάρτηση και τη δομή της μεταβλητής που εκτιμάται.
4. **Μοντελοποίηση βαριογράμματος:** Προσαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου στο πειραματικό βαριόγραμμα. Το μοντέλο βαριογράμματος περιγράφει τη συμπεριφορά χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής που εκτιμάται. Τα μοντέλα βαριογραμμάτων που χρησιμοποιούνται συνήθως περιλαμβάνουν γραμμικά, σφαιρικά, εκθετικά και Gaussian μοντέλα. Η επιλογή του μοντέλου βαριογράμματος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων και τα παρατηρούμενα χωρικά μοτίβα.
5. **Εκτίμηση παραμέτρων μοντέλου:** Υπολογισμός των παραμέτρων του μοντέλου βαριογράμματος με βάση το πειραματικό βαριόγραμμα. Αυτό το βήμα περιλαμβάνει την εύρεση του μοντέλου που ταιριάζει καλύτερα που

ελαχιστοποιεί τη διαφορά μεταξύ του εμπειρικού βαριογράμματος και του μοντελοποιημένου βαριογράμματος. Η εκτίμηση των παραμέτρων μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές, όπως η μέθοδος των ροπών ή η εκτίμηση της μέγιστης πιθανότητας.

4.3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING ΣΕ PYTHON

Για την ανάλυση των συγκεντρώσεων PM_{2.5} της περιοχής της Πάτρας, έγινε χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PyKriging η οποία μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε 2D γραφήματα με τη μέθοδο της Ordinary Kriging. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τους 14 σταθμούς συλλογής ωριαίων συγκεντρώσεων PM_{2.5} στην περιοχή της Πάτρας. Η ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας τις μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων για το σύνολο των μηνών Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη των 14 περιοχών που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των γραφημάτων της γεωστατιστικής παρεμβολής.

Location	Latitude	Longitude
19ο Γυμνάσιο Πατρών	38,21344	21,72687
64ο Δημοτικό Σχολείο Πατρών	38,2647	21,74112
Αγυιά	38,27456	21,74687
Δεμένικα	38,20186	21,74096
Καστελόκαμπος	38,29377	21,76623
Κουκούλι	38,2182	21,75201
Κυψέλη	38,2251	21,73423
Λεύκα	38,21037	21,72757
Παραλία	38,19961	21,70486
Πειραματικό - Λαγούρα	38,23069	21,74585
Πλατάνι	38,29924	21,8222
Τριών Ναυάρχων	38,24269	21,73003
Πανεπιστήμιο Πατρών	38,22027	21,74604
Κρητικά	38,24488	21,74405

Πίνακας 4.3.1: Γεωγραφικά πλάτη (Latitude) και μήκη (Longitude) των σταθμών συλλογής συγκεντρώσεων PM_{2.5} στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας

Για τη δημιουργία του βαριογράμματος έγιναν δοκιμές με τα παρακάτω μοντέλα αλλά καταλήξαμε στο εκθετικό (exponential) μοντέλο λόγω της καλύτερης και πιο

ξεκάθαρης κατανομής των τιμών στα γραφήματα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα δοκιμασμένα μοντέλα αλλά και το exponential το οποίο χρησιμοποιήθηκε.

- Gaussian Model

$$p \cdot \left(1 - e^{-\frac{d^2}{(r/3)^2}}\right) + n$$

- Exponential Model

$$p \cdot \left(1 - e^{-\frac{d}{r/3}}\right) + n$$

- Spherical Model

$$\begin{cases} p \cdot \left(\frac{3d}{2r} - \frac{d^3}{2r^3}\right) + n & d \leq r \\ p + n & d > r \end{cases}$$

- Linear Model

$$s \cdot d + n$$

Where s is the slope and n is the nugget.

- Power Model

$$s \cdot d^e + n$$

Where s is the scaling factor, e is the exponent (between 0 and 2), and n is the nugget term.

- Hole-Effect Model

$$p \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{d}{r/3}\right) * e^{-\frac{d}{r/3}}\right) + n$$

Variables are defined as:

d = distance values at which to calculate the variogram

p = partial sill (psill = sill - nugget)

r = range

n = nugget

s = scaling factor or slope

e = exponent for power model

Εικόνα 4: Variogram Models used in PyKriging library

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την geostatistical interpolation αλλά και για την δημιουργία των basemap είναι ο παρακάτω:

```
@author: stamoulis  
''''''
```

```
import numpy as np  
from matplotlib import pyplot as plt  
from pykrige.ok import OrdinaryKriging  
from mpl_toolkits.basemap import Basemap  
from matplotlib.patches import Path, PathPatch  
  
dx = 2*0.0125;  
# Generate random data following a uniform spatial distribution  
lon =  
np.array([21.72687,21.74112,21.74687,21.74096,21.76623,21.75201,21.73423,21.72  
757,21.70486,21.74585,21.8222,21.73003,21.74604,21.74405])  
lat =  
np.array([38.21344,38.26470,38.27456,38.20186,38.29377,38.21820,38.22510,38.21  
037,38.19961,38.23069,38.29924,38.24269,38.22027,38.24488])  
z =  
np.array([29.36222212,18.52001038,8.696177659,22.43014218,8.851596152,11.594  
22275,28.32267013,38.10038164,25.90157806,22.85066751,4.993678196,32.547542  
86,5.998826832,17.83895233])  
N = len(lon)  
# Generate a regular grid  
grid_lon = np.linspace(min(lon)-dx, max(lon)+dx, 150)  
grid_lat = np.linspace(min(lat)-dx, max(lat)+dx, 150)  
  
# Create ordinary kriging object:  
OK = OrdinaryKriging(  
lon,  
lat,  
z,  
variogram_model="exponential",  
verbose=True,  
enable_plotting=True,  
coordinates_type="geographic",  
)  
  
# Execute on grid:  
zI, ssI = OK.execute("grid", grid_lon, grid_lat)
```

```

xintrp, yintrp = np.meshgrid(grid_lon, grid_lat)

#projections tried: gall, mill, merc (1), cyl
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10,10))
m = Basemap(llcrnrlon=lon.min()-dx,llcrnrlat=lat.min()-
dx,urcrnrlon=lon.max()+dx,urcrnrlat=lat.max()+dx,
projection='cyl',
resolution='f',area_thresh=10.,ax=ax)
m.drawcoastlines()
m.drawmapboundary(fill_color='#000000')
m.fillcontinents(color = '#FFDDCC',lake_color='#DDEEFF')
x,y=m(xintrp, yintrp) # convert the coordinates into the map scales
ln,lt=m(lon,lat)
cs=ax.contourf(x, y, z1, np.linspace(min(z), max(z), 500),extend='both', alpha=1,
cmap='Set1_r') #plot the data on the map.
#cs=ax.contourf(x, y, z1, np.linspace(15, 40, 500),extend='both', alpha=1,
cmap='RdYlGn_r') #plot the data on the map.
#cs=ax.contourf(x, y, z1, np.linspace(15, 35, 500),extend='both', alpha=1,
cmap='turbo') #plot the data on the map.
cbar=m.colorbar(cs,location='right',pad='7%') #plot the colorbar on the map
# draw parallels.
#parallels = np.arange(21.5,26.0,0.5)
#m.drawparallels(parallels,labels=[1,0,0,0],fontsize=14, linewidth=0.0) #Draw the
latitude labels on the map
lons, lats = m(lon, lat)
m.scatter(lons, lats, s=60, marker='D', color='black', zorder=5)

## from here masking the sea
##getting the limits of the map:
x0,x1 = ax.get_xlim()
y0,y1 = ax.get_ylim()
map_edges = np.array([[x0,y0],[x1,y0],[x1,y1],[x0,y1]])
##getting all polygons used to draw the coastlines of the map
polys = [p.boundary for p in m.landpolygons]

##combining with map edges
polys = [map_edges]+polys[:]
##creating a PathPatch
codes = [
[Path.MOVETO]+[Path.LINETO for p in p[1:]]
for p in polys
]

polys_lin = [v for p in polys for v in p]

codes_lin = [xx for cs in codes for xx in cs]

path = Path(polys_lin, codes_lin)
patch = PathPatch(path,facecolor='#46BCEC', lw=0)
ax.add_patch(patch)

```



```
plt.show()
```

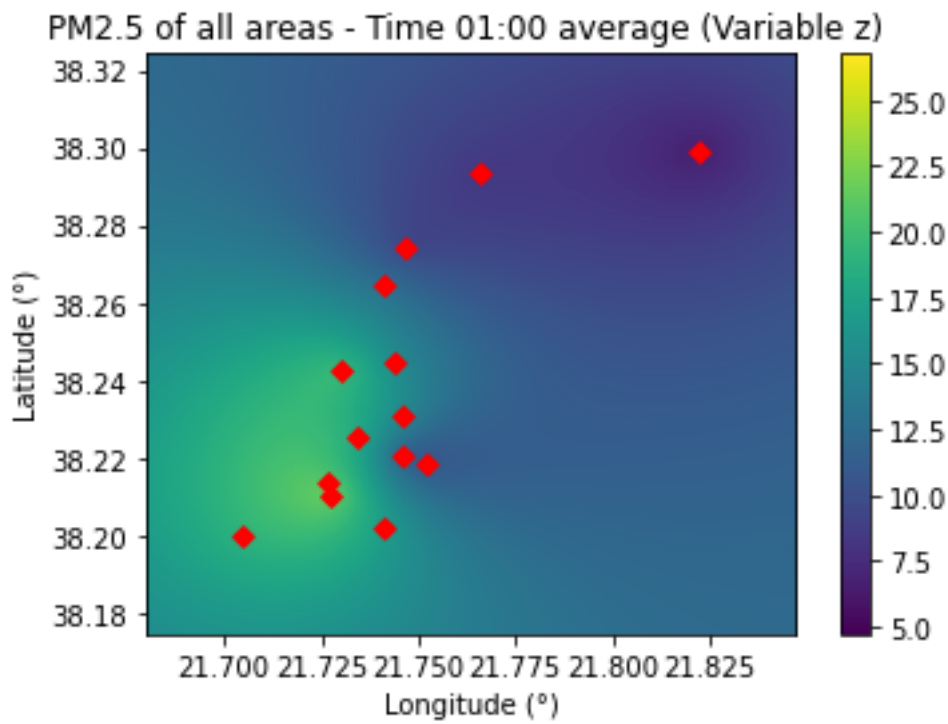
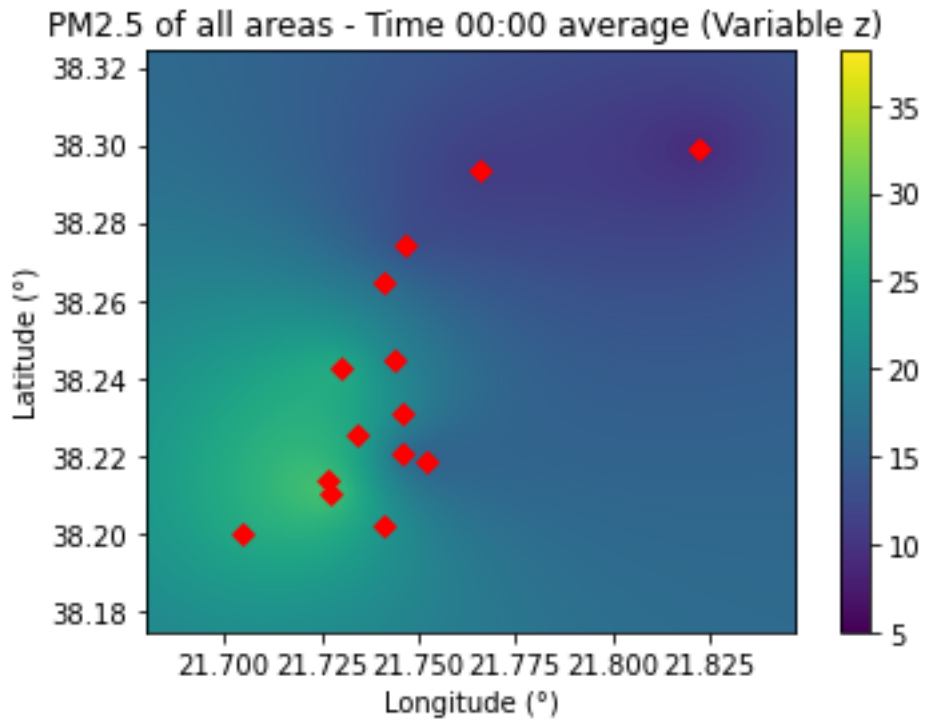
```
fig, ax1 = plt.subplots(1, 1)  
#pos = ax1.imshow(z1, extent=[min(lon)-dx, max(lon)+dx, min(lat)-dx,  
max(lat)+dx], origin="lower")  
pos = ax1.imshow(z1, vmin = min(z), vmax = max(z), extent=[min(lon)-dx,  
max(lon)+dx, min(lat)-dx, max(lat)+dx], origin="lower")  
ax1.set_title("PM2.5 of all areas - Time 00:00 average (Variable z) ")  
ax1.scatter(lon, lat, s=30, marker='D', color='red', zorder=3)  
plt.xlabel("Longitude (°)")  
plt.ylabel("Latitude (°)")  
fig.colorbar(pos)  
plt.show()
```

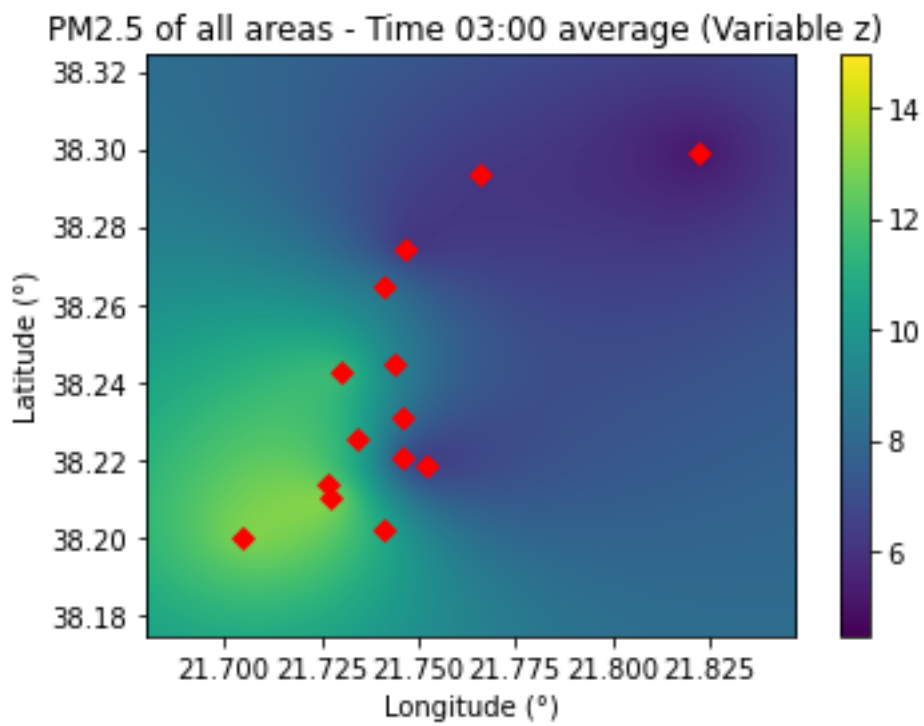
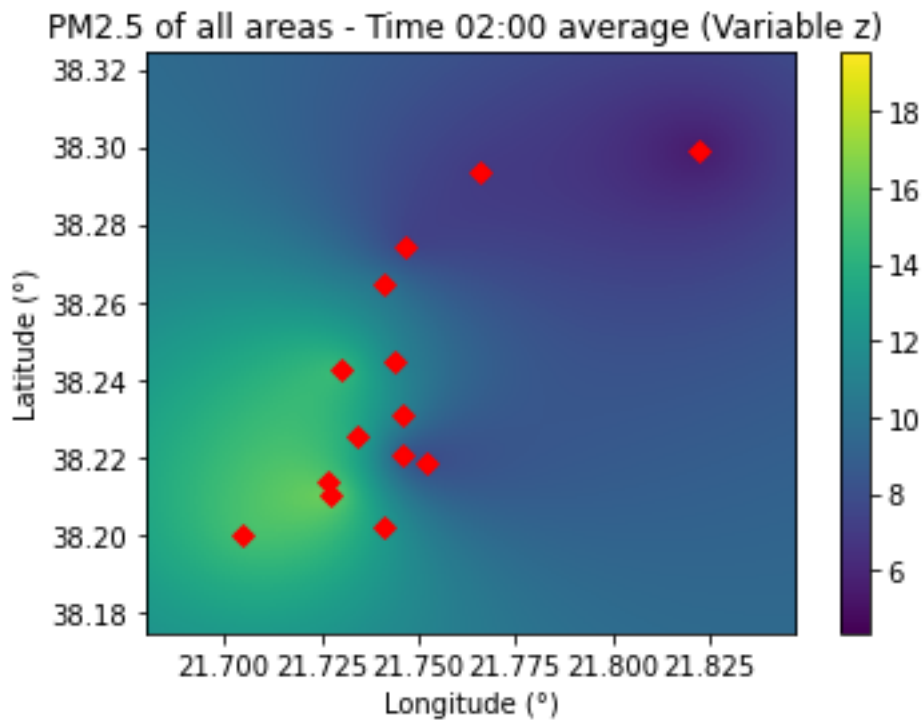
Όπως φαίνεται στον κώδικα και στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των γραφημάτων, για τον άξονα y το γεωγραφικό πλάτος και για τον άξονα x το γεωγραφικό μήκος των 14 σταθμών μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5}. Η μεταβλητή z ισούται κάθε φορά με τις μέσες ωριαίες μετρήσεις για τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες των τοποθεσιών με σκοπό να παραχθούν 24. Για την παραγωγή του μοντέλου χρησιμοποιήσαμε $dx = 0.025^\circ$. Έγιναν 2 ειδών αναλύσεις με τη χρήση του παραπάνω κώδικα. Η πρώτη έγινε με την αναπαράσταση των συγκεντρώσεων με μεταβλητό z στο γράφημα [*pos = ax1.imshow(z1, extent=[min(lon)-dx, max(lon)+dx, min(lat)-dx, max(lat)+dx], origin="lower")*], ενώ στη δεύτερη ανάλυση θέσαμε όρια τις μέγιστες και ελάχιστες μέσες ωριαίες τιμές όλου του δείγματος έτσι ώστε η κατανομή των συγκεντρώσεων των PM_{2.5} να γίνεται βάσει αυτών των τιμών στο εκάστοτε ωριαίο γράφημα [*pos = ax1.imshow(z1, vmin = 12, vmax = 42, extent=[min(lon)-dx, max(lon)+dx, min(lat)-dx, max(lat)+dx], origin="lower")*].

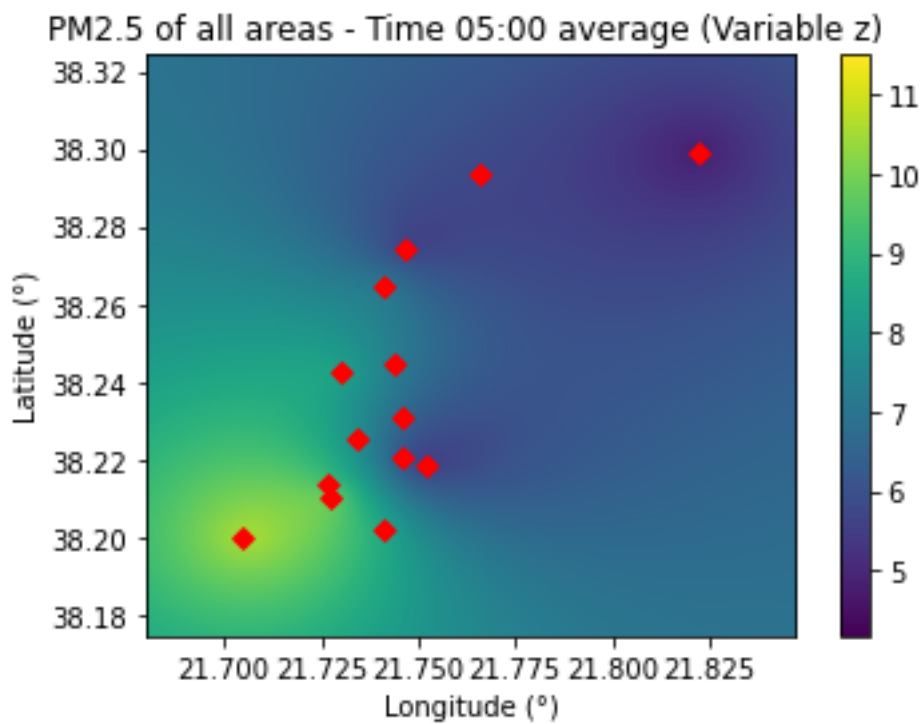
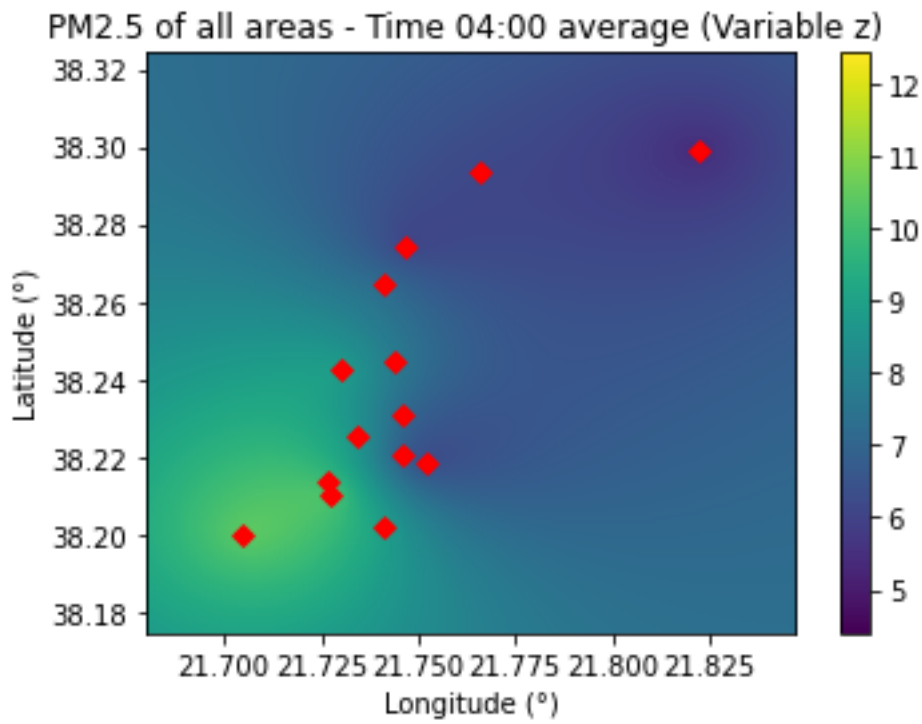
4.3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGINGΣΕ ΡΥΘΗΘΝ - ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ Z

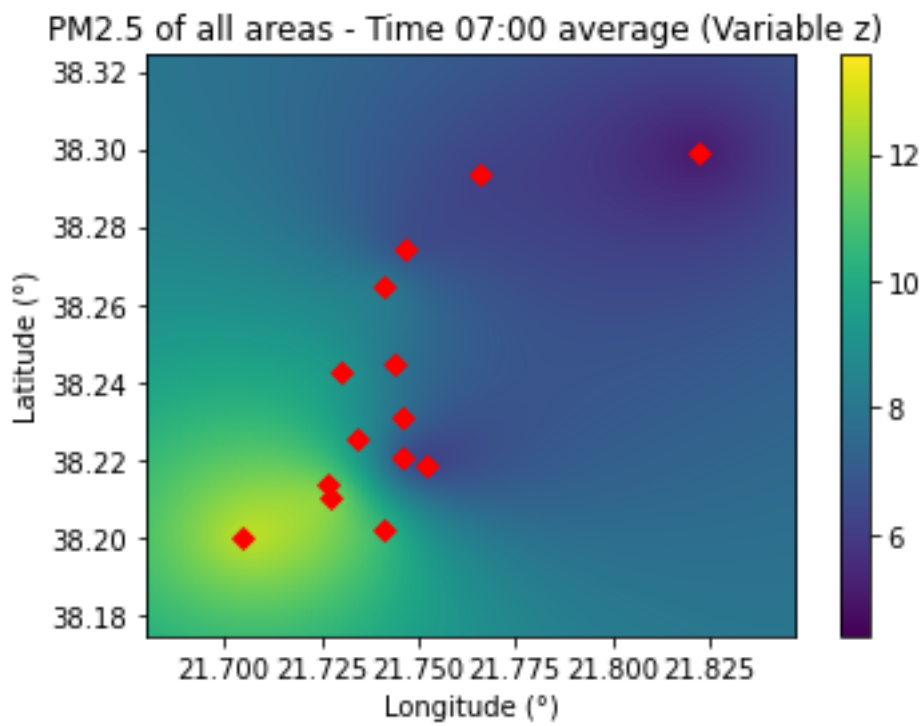
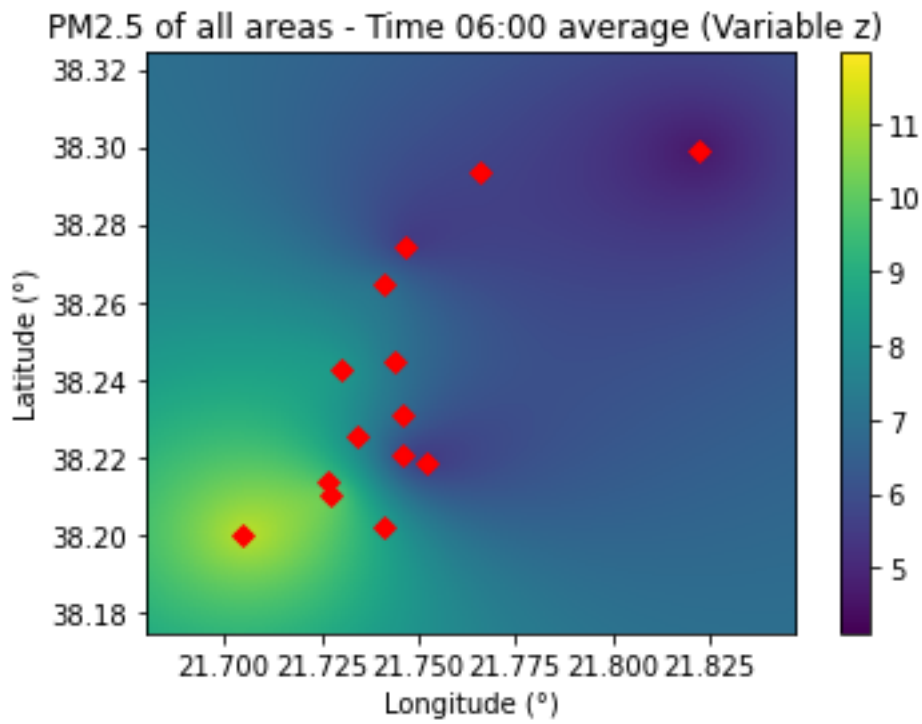
Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου Ordinary Kriging που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των θεωρητικών μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$ με $dx = (+) (-) 0.025^\circ$ αναφορικά με τις γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών μέτρησης στην περιοχή της Πάτρας για τους τρεις μήνες μελέτης (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος). **Για τον υπολογισμό των γραφημάτων το z (μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των δεδομένων των $PM_{2.5}$) ήταν μεταβλητό ανάλογα με τις τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων ανά την ώρα.** Από τα παρακάτω γραφήματα βλέπουμε ότι συνυπολογίζοντας τις μέσες ωριαίες τιμές όλων των περιοχών προς μελέτη οι υψηλές συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ στις θεωρητικές συντεταγμένες του βαριογράμματος εντοπίζονται στα κεντρικά και στα νοτιοανατολικά της Πάτρας ενώ στα βόρεια της πόλης οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων παραμένουν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα συγκριτικά με τις κεντρικές και νοτιοανατολικές περιοχές τις εκάστοτε ώρες και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στις αραιοκατοικημένες συνοικίες του βόρειου τομέα της Πάτρας. Από τα γραφήματα που παράχθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο του Ordinary Kriging, βλέπουμε ότι κατά το χρονικό διάστημα 1:00 – 5:00 στις γεωγραφικές συντεταγμένες που βρίσκονται πλησίον και προς τα μέσα του γεωγραφικού πλάτους 38,25 και μήκους 21,74, οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων πέφτουν σταδιακά ανά ώρα κάτι που οφείλεται λογικά στο ότι σταματάει η χρήση θέρμανσης και ειδικά οι κάτοικοι σβήνουν τα τζάκια πριν πέσουν για ύπνο. Εκείνο το χρονικό διάστημα παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές στο κέντρο της Πάτρας από περίπου $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σταδιακά στο μοντέλο για τις περιοχές $\pm 0.025^\circ$ πλησίον των σταθμών να πέφτουν στα $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και κάτω στις 5:00 τα ξημερώματα. Στις ίδιες περιοχές παρατηρούμε αύξηση αναλογικά με τις μέγιστες τιμές ανά ώρα, το οποίο εξηγείται με την αυξημένη κίνηση των οχημάτων εκείνες τις ώρες. Τέλος γύρω από τις προαναφερθείσες συντεταγμένες παρατηρείται όπως είναι λογικό μια σταδιακή αύξηση των μέγιστων τιμών ανά ώρα από τις 19:00 – 22:00, κάτι που οφείλεται ξανά στην αυξημένη συμφόρηση στο κέντρο λόγω κλεισίματος καταστημάτων και αργότερα λόγω της χρήσης θέρμανσης. Στο μοντέλο παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις σε απόλυτη μεταξύ του χρονικού διαστήματος 19:00 – 23:00 κυρίως στα κεντρικά και τα νοτιοανατολικά. Στις βορειότερες περιοχές που είναι και πιο αραιοκατοικημένες, η αλλαγή των συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$ είναι σχετικά πιο σταθερή ανά ώρα.

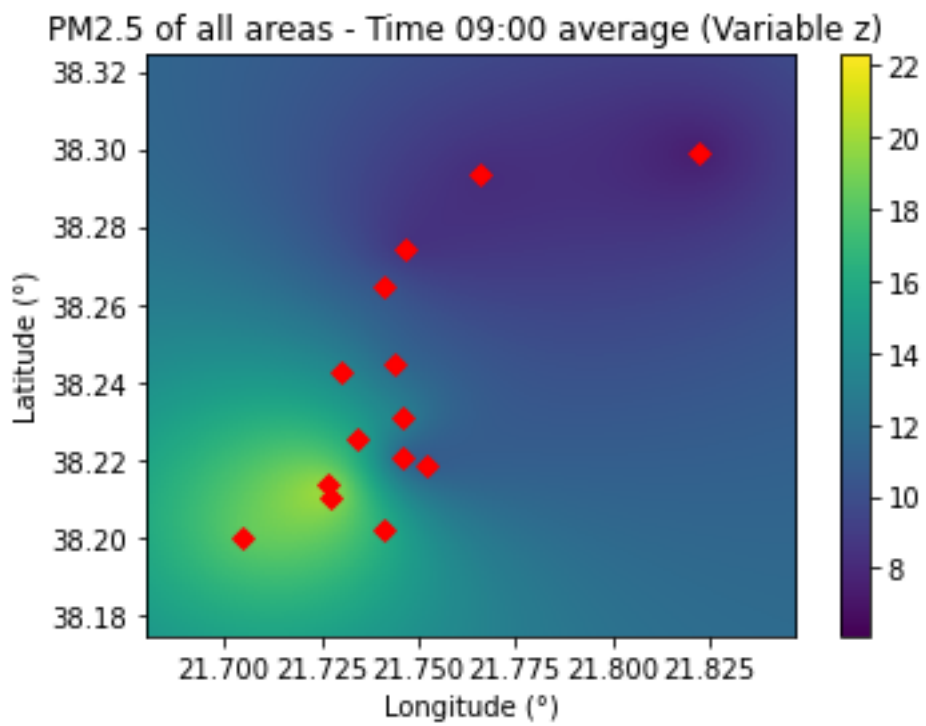
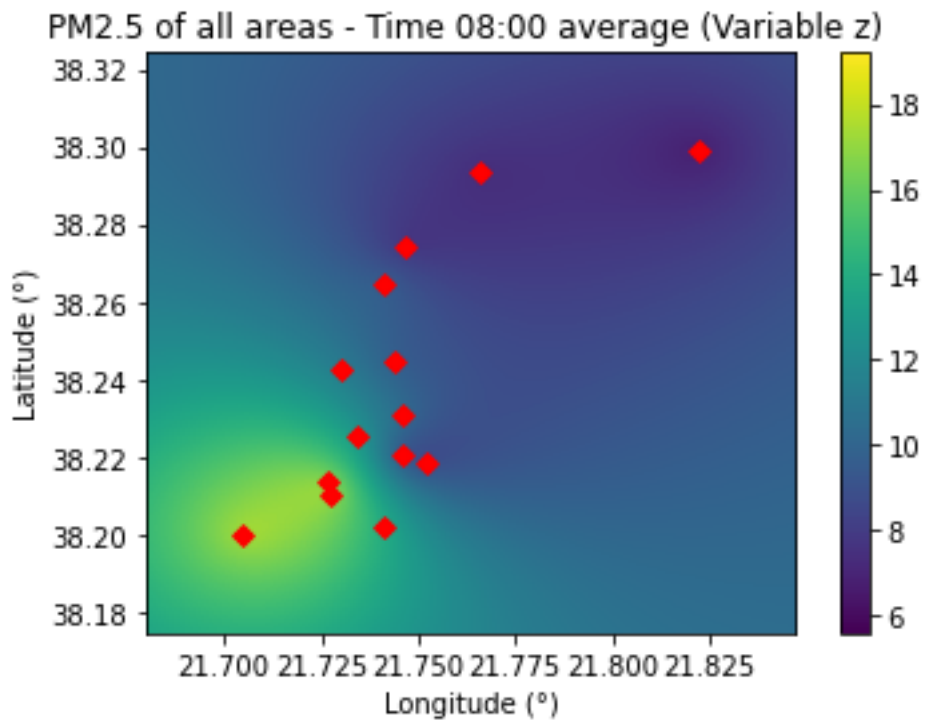
Γραφήματα [1,24]: PM_{2.5} of all areas – Time [0:00,23:00] Yearly Average (December 2022- February 2023) with variable z

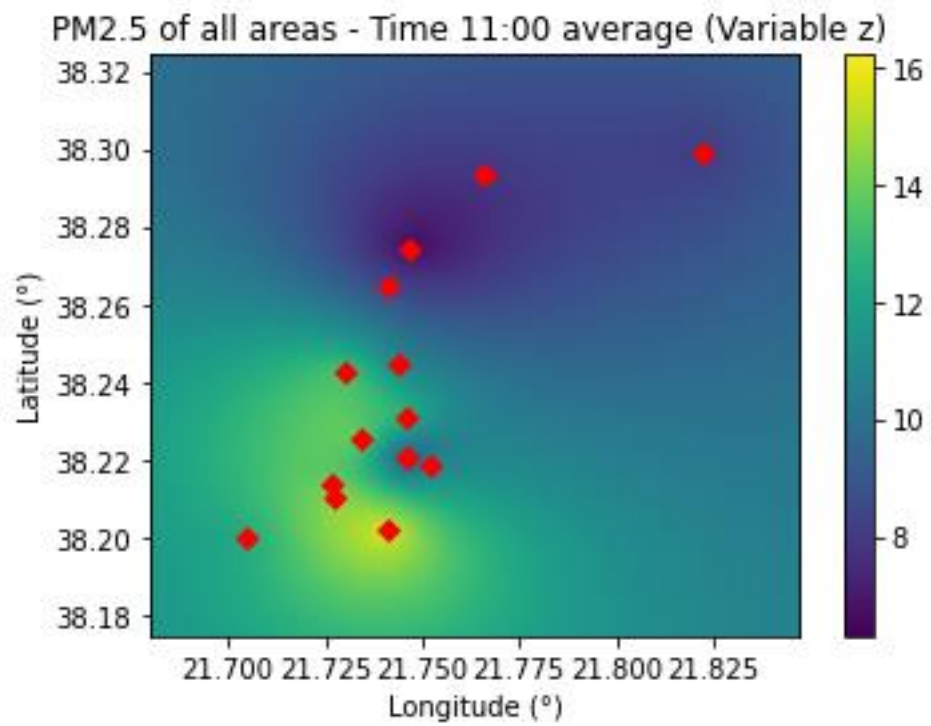
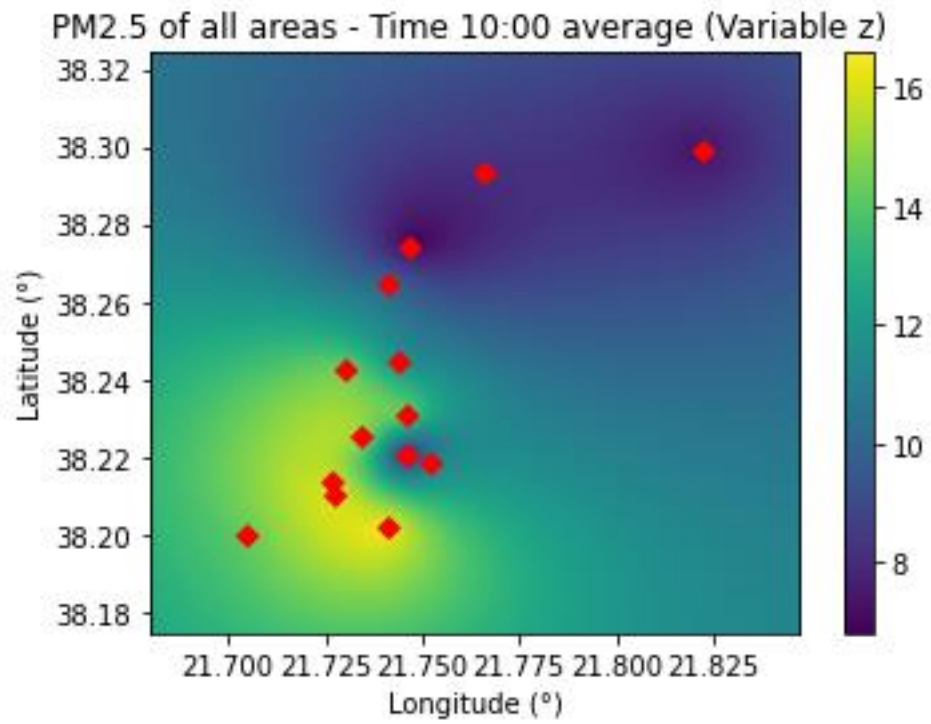


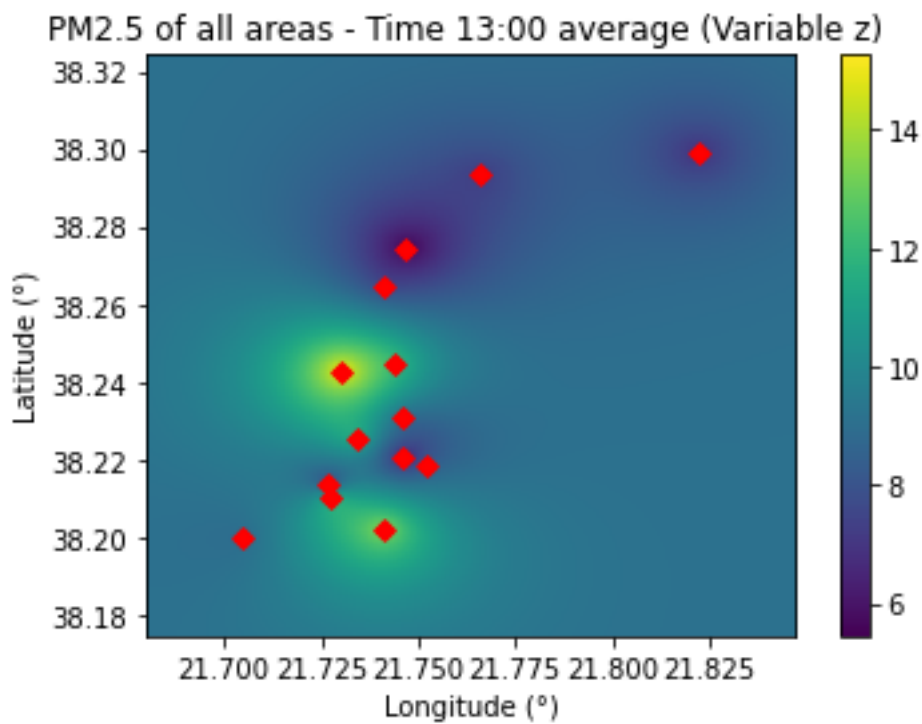
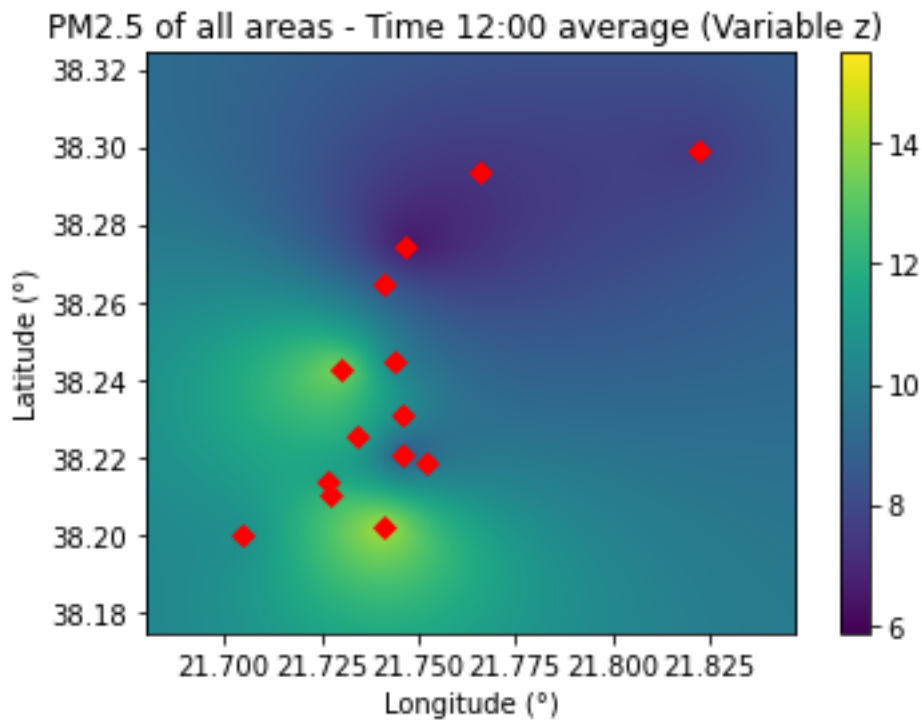


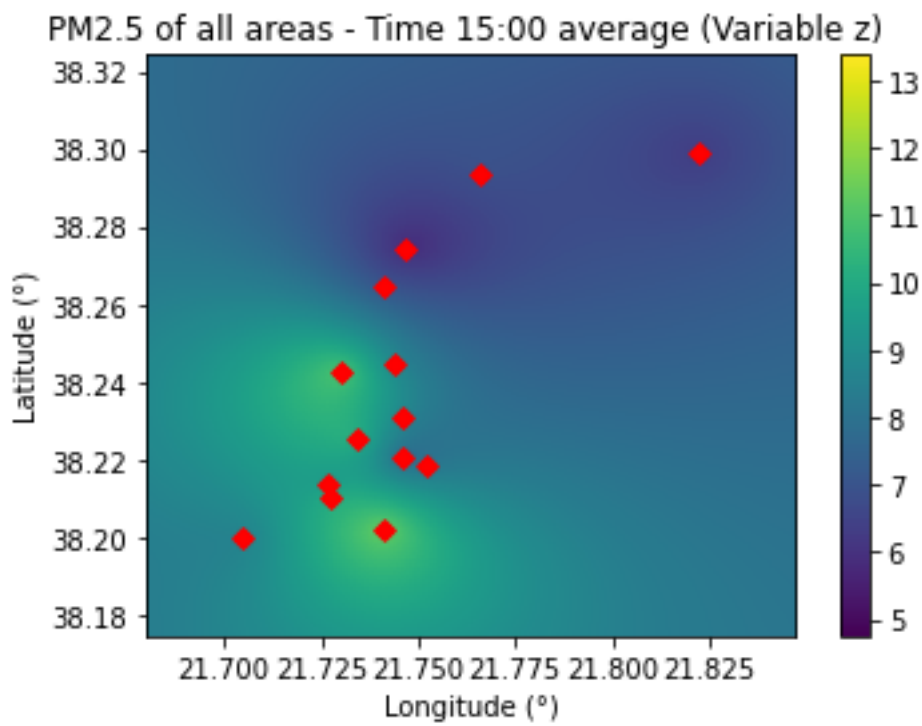
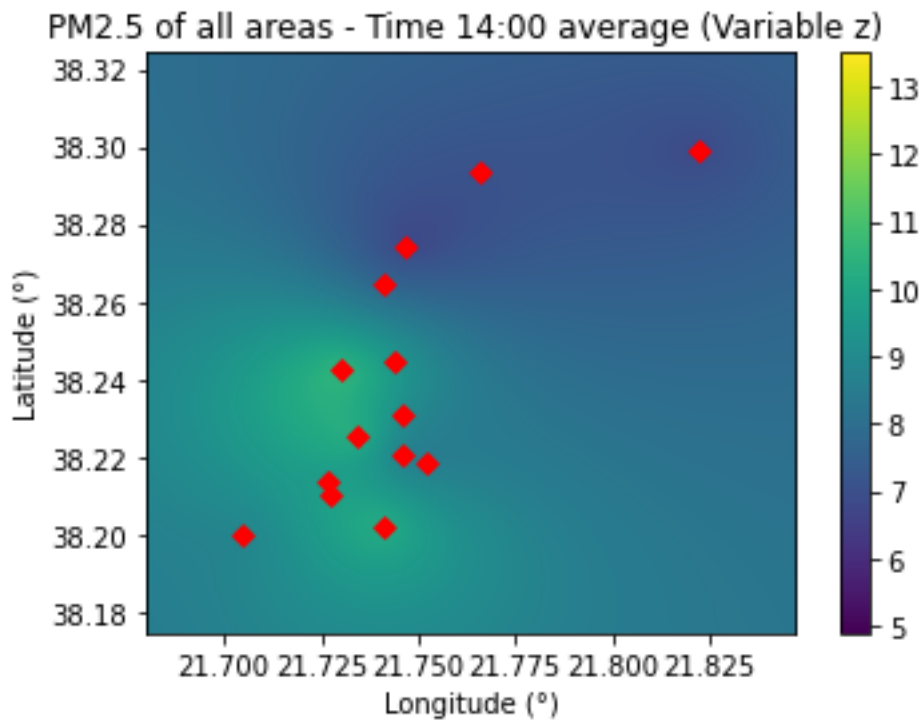


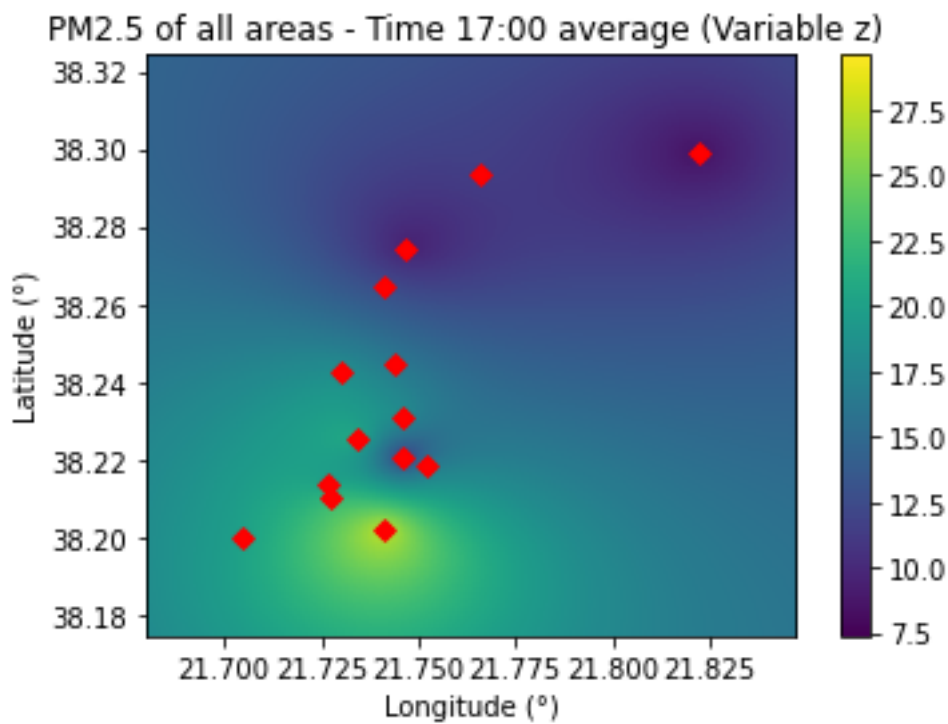
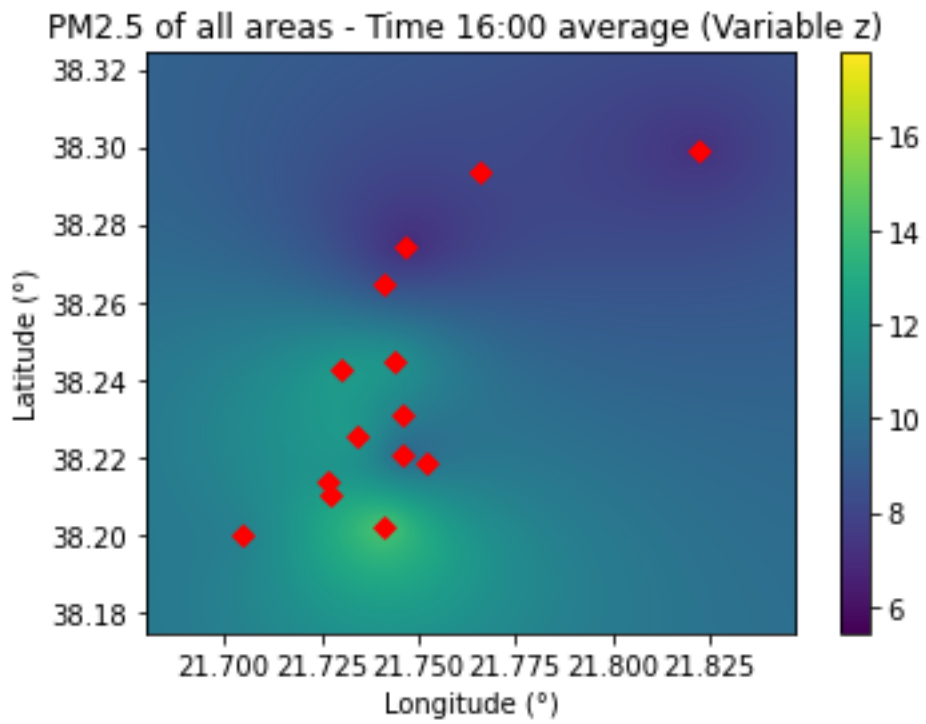


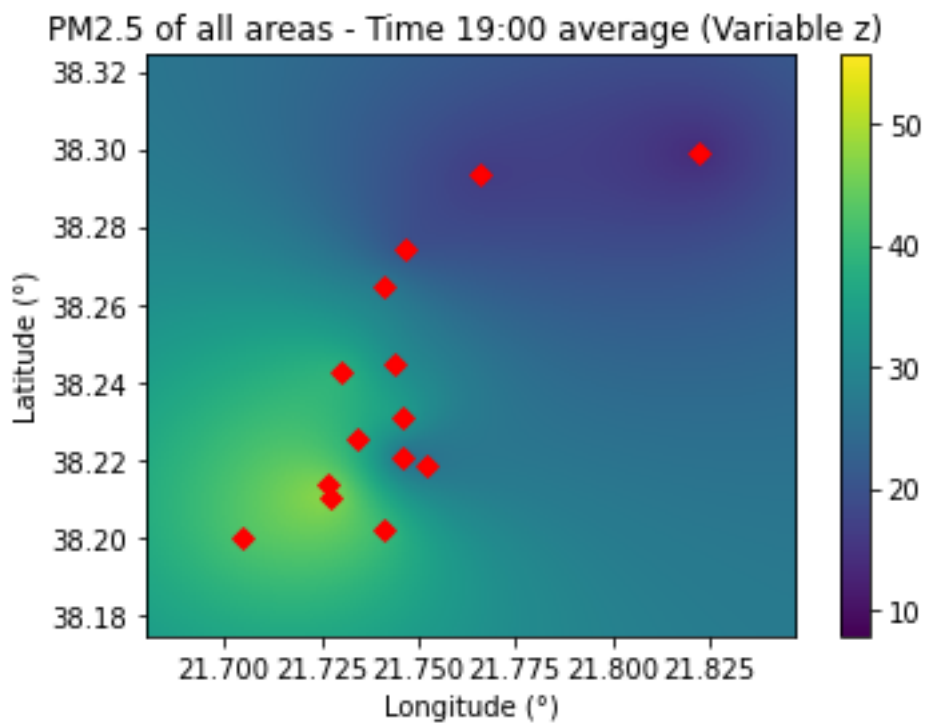
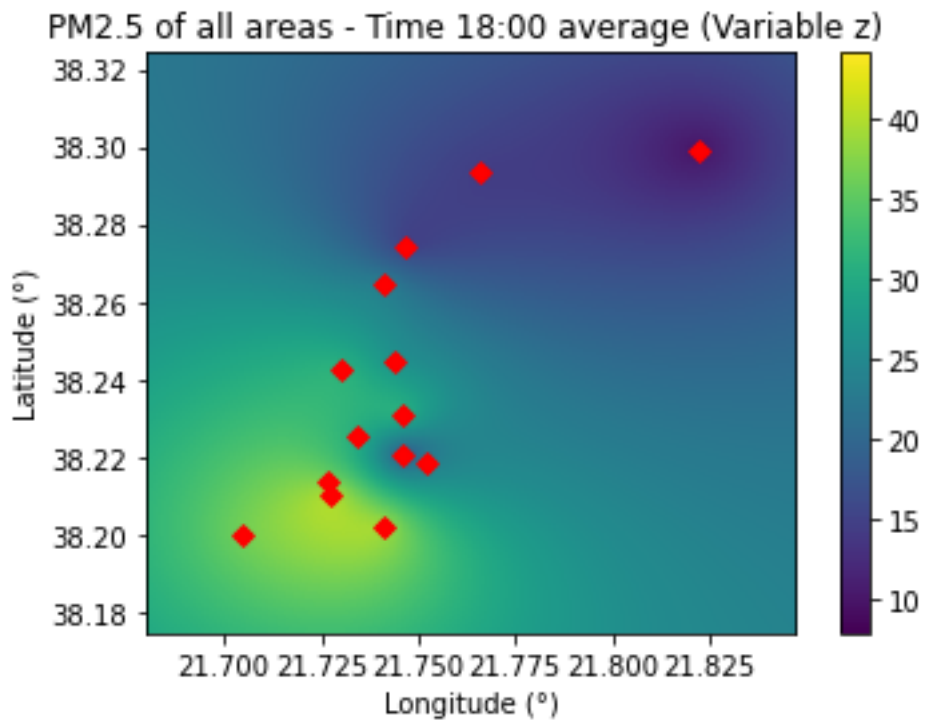


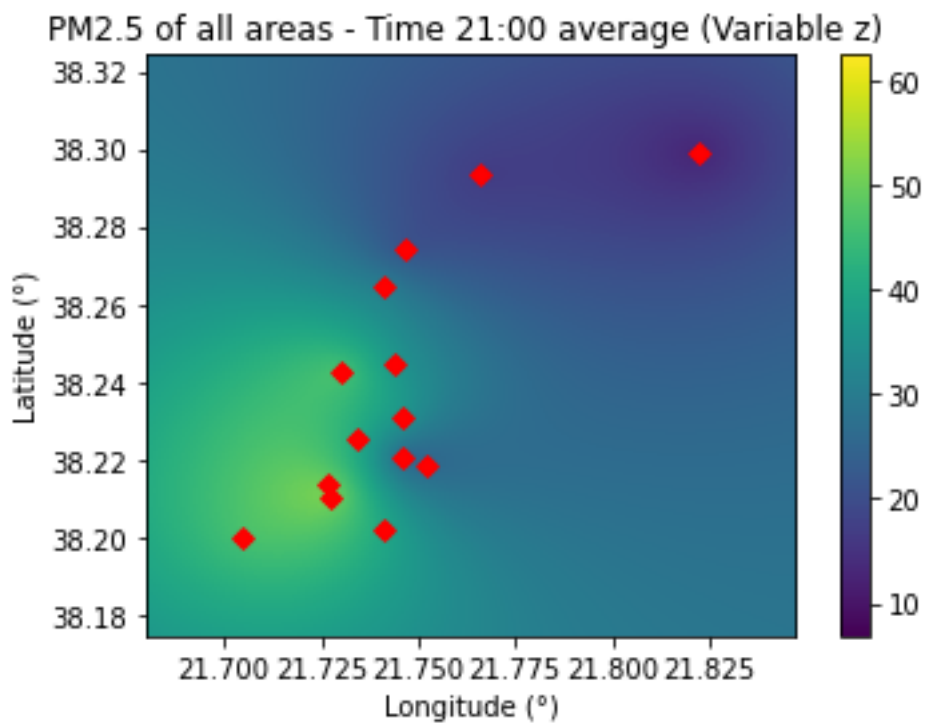
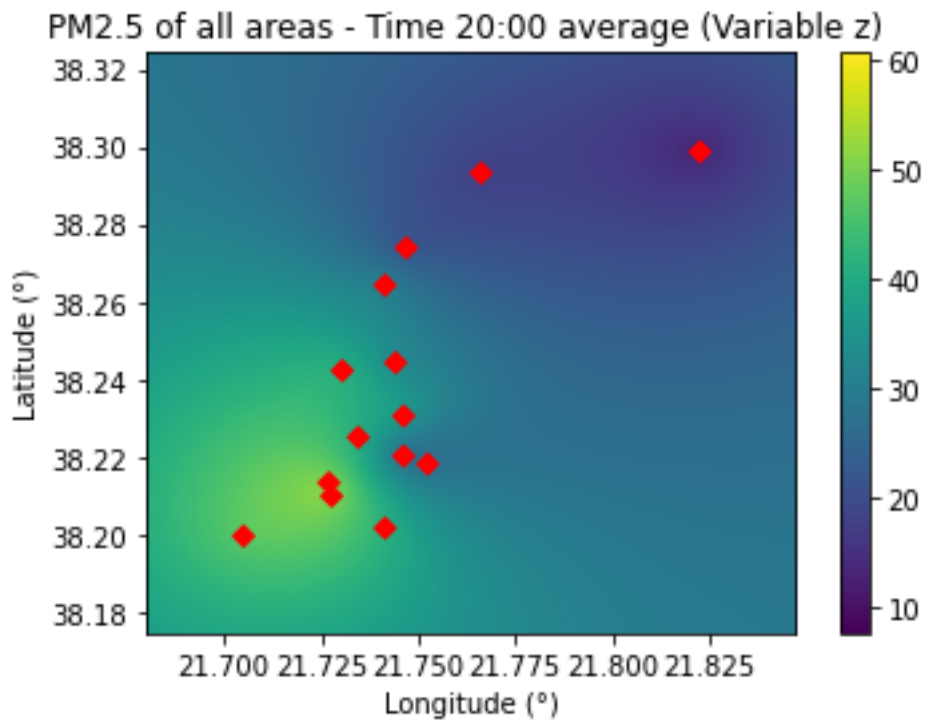


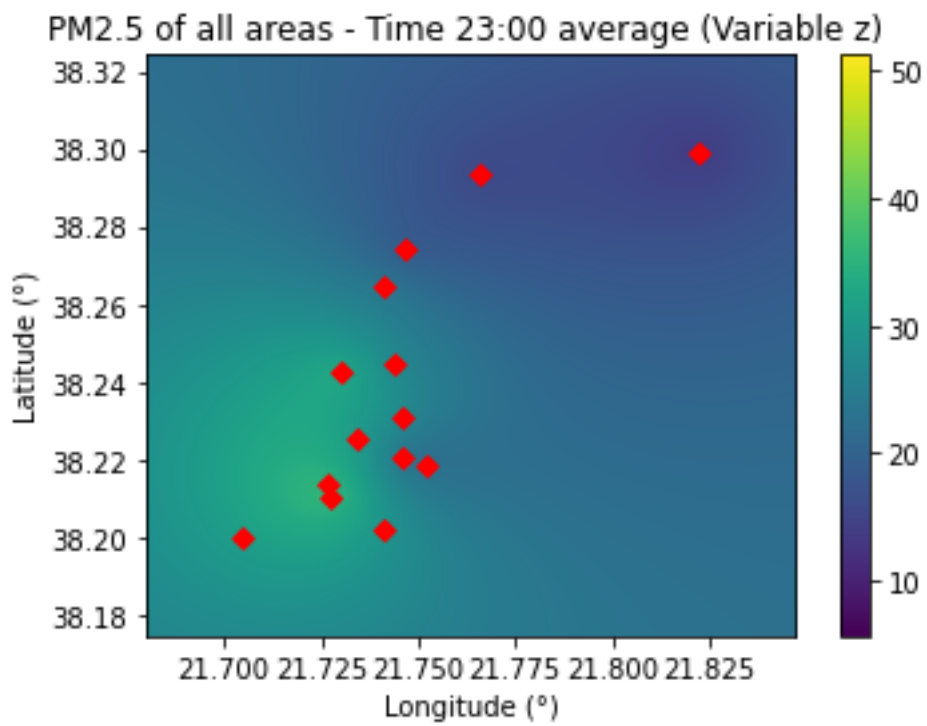
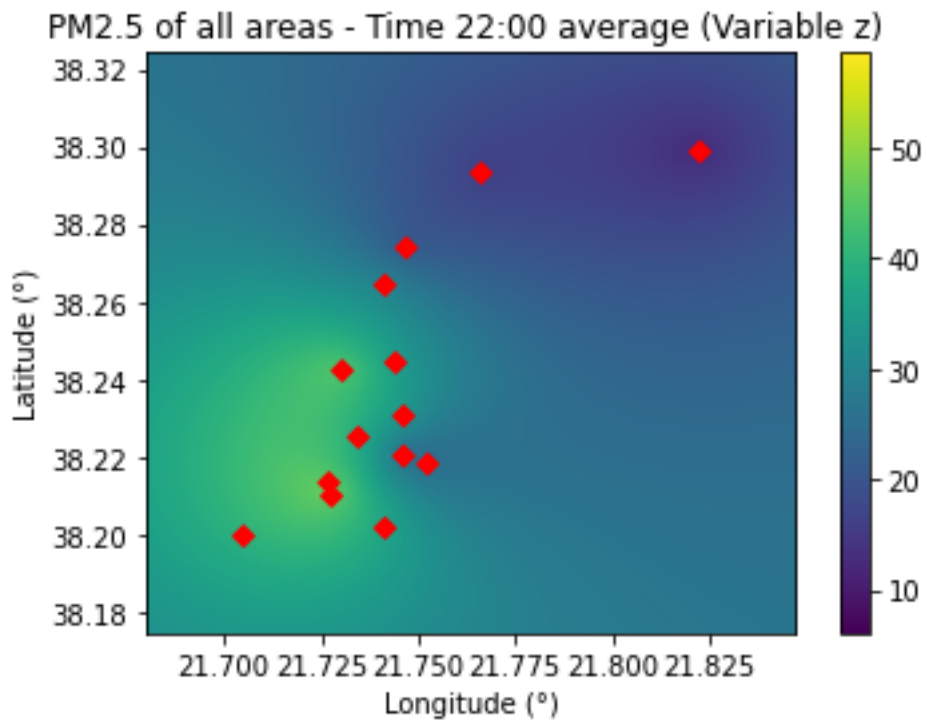








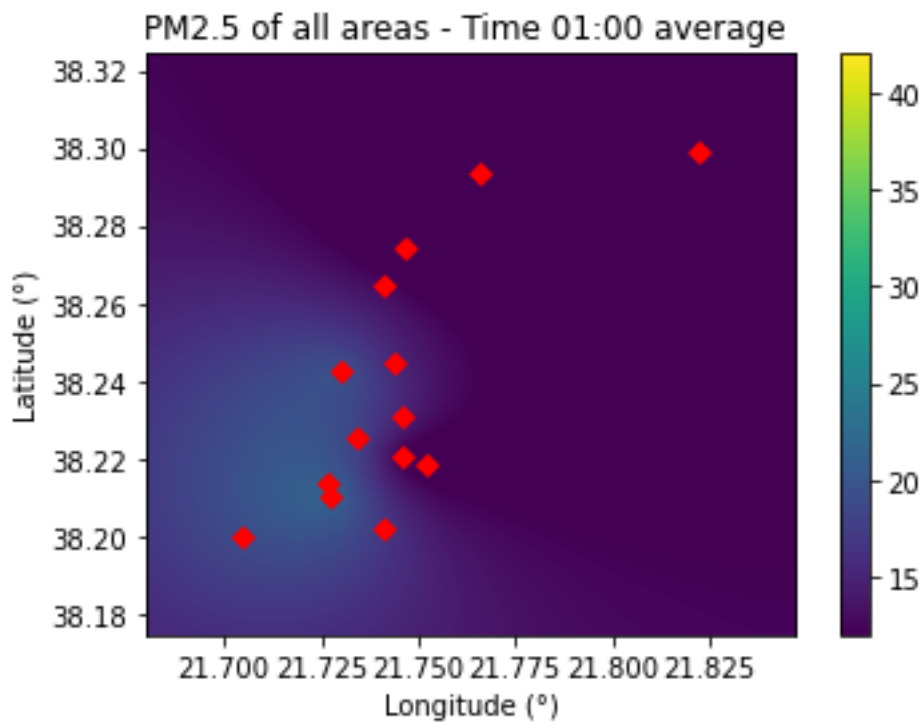
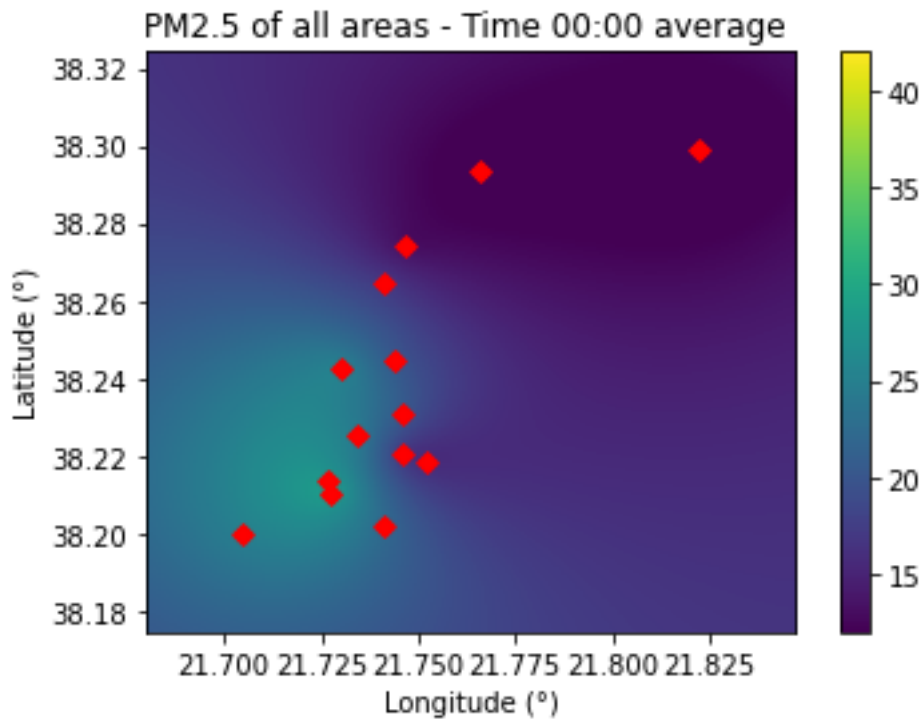


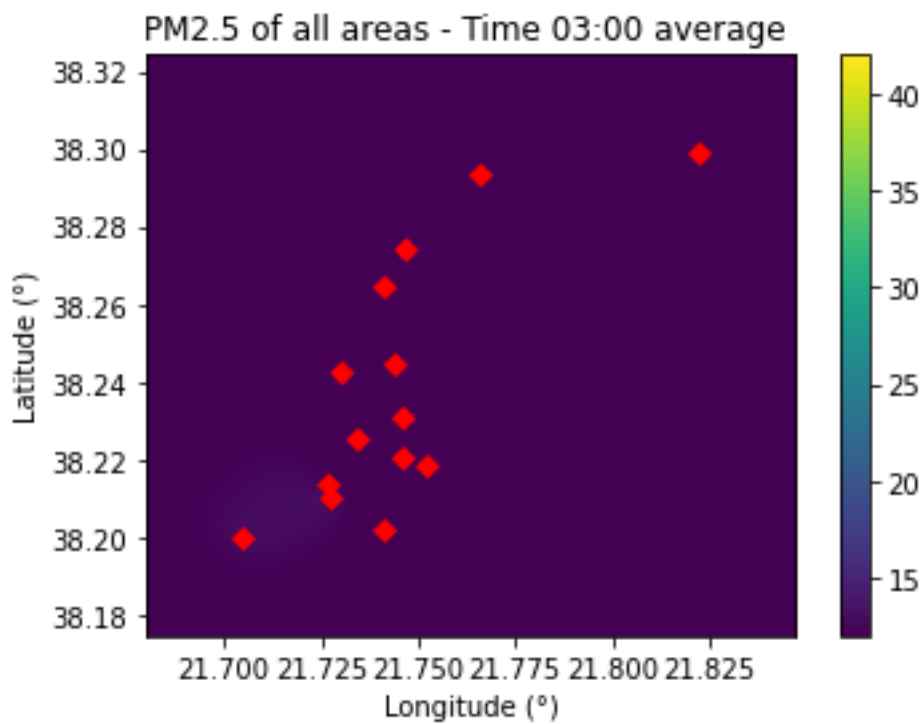
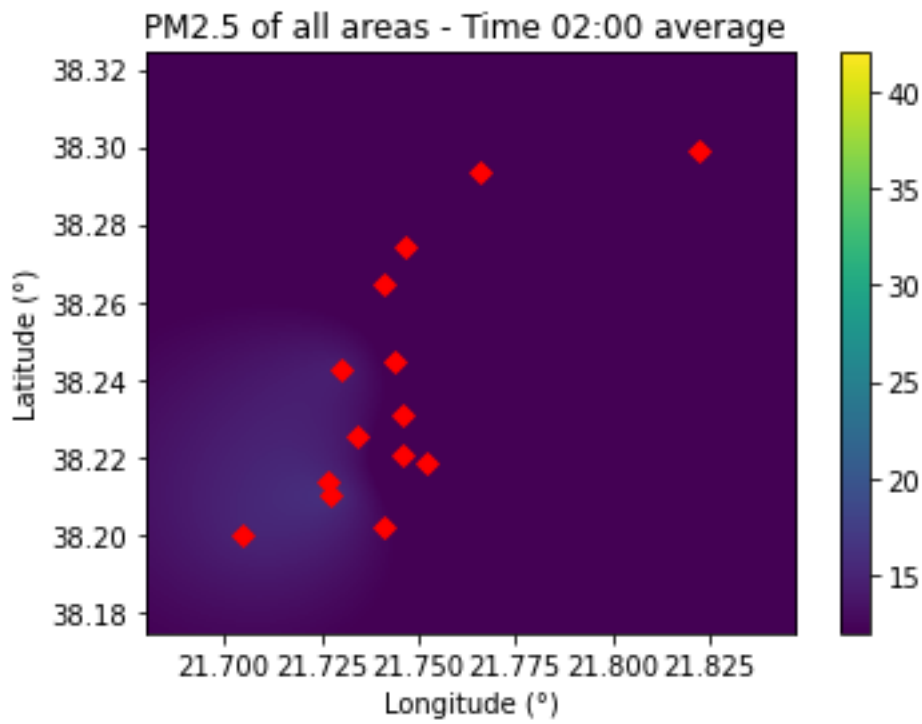


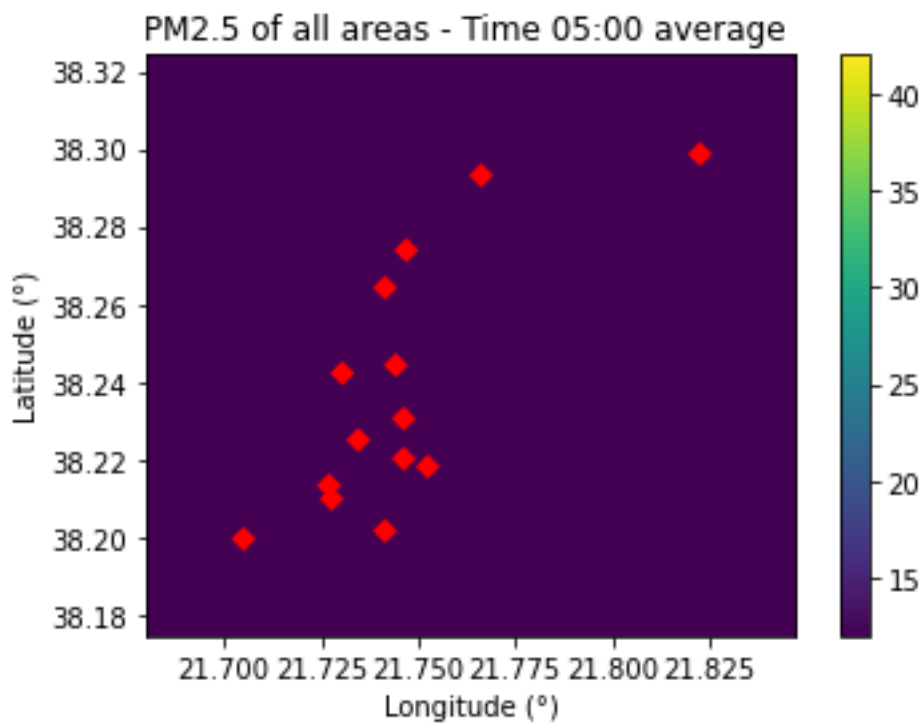
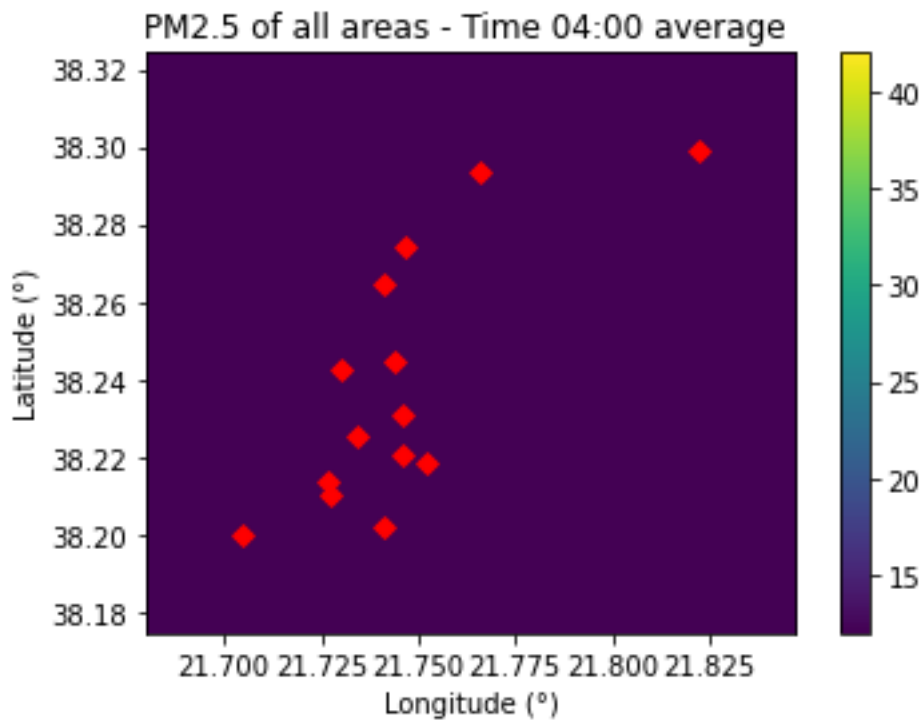
4.3.5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ORDINARY KRIGING ΣΕ ΡΥΘΗΝ - ΓΡΑΦΗΜΑΤΑΜΕΚΟΙΝΟΕΥΡΟΣΖ (MAX=42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MIN=12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

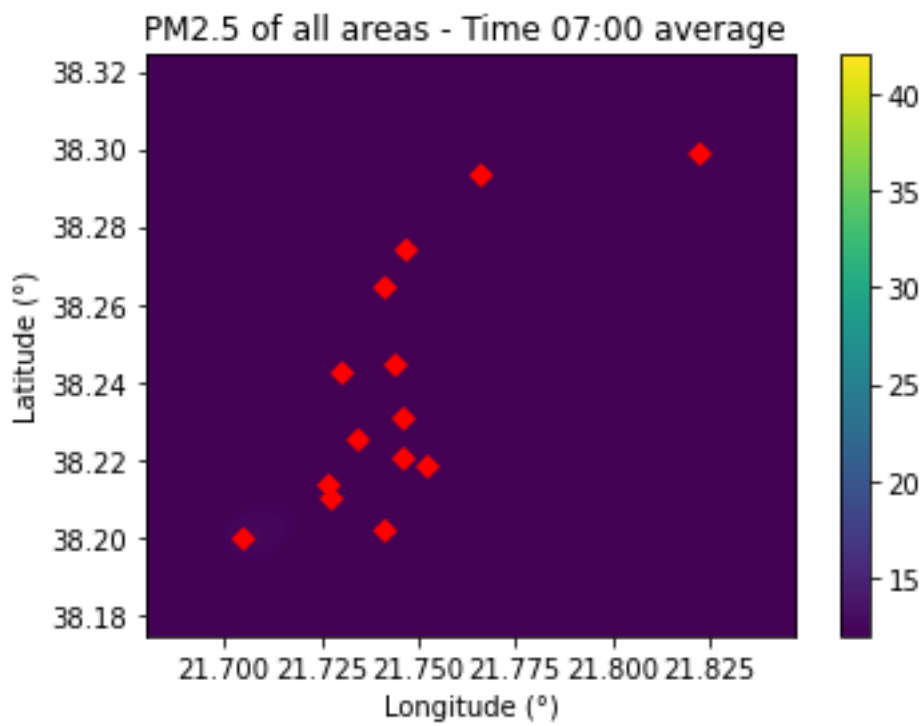
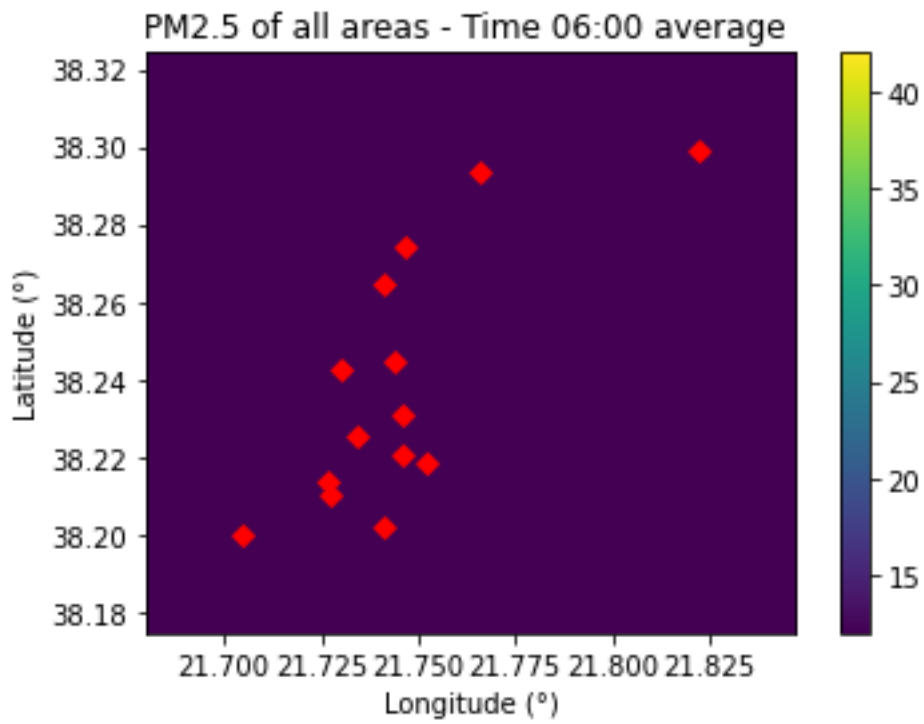
Σε αυτή την περίπτωση γραφήματα απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου Ordinary Kriging που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των θεωρητικών μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των PM_{2.5} με $dx = \pm 0.025^\circ$ αναφορικά με τις γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών μέτρησης στην περιοχή της Πάτρας για τους τρεις μήνες μελέτης (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) (Επειδή αναφέρεται σε όλους τους μήνες των δεδομένων ονομάστηκε Yearly). **Για τον υπολογισμό των γραφημάτων το εύρος του z (μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των δεδομένων των PM_{2.5}) παρέμεινε σταθερό ανά την ώρα με τα όρια να θέτονται στο μέγιστο MAX=42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, MIN=12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.** Από τα παρακάτω γραφήματα βλέπουμε ότι όλες οι περιοχές παρατήρησης αρχίζουν μετά τις 0:00 να έχουν πτώση των τιμών των αιρούμενων σωματιδίων και σταδιακά μέχρι τις 6:00. Από τις 7:00 και μετά παρατηρούμε αύξηση των μέσων τιμών αναλογικά με τις μέγιστες συγκεντρώσεις όπως είναι λογικό τις πρωινές ώρες μέχρι τις 10:00. Μετά τις 11:00 οι τιμές σταθεροποιούνται μέχρι τις 16:00 που αρχίζει η κίνηση των οχημάτων. Έπειτα σε όλες τις περιοχές υπό μελέτη από τις 17:00 υπάρχει σημαντική άνοδος των απόλυτων τιμών των PM_{2.5} αλλά κυρίως στις κεντρικές και νοτιοανατολικές περιοχές μέχρι τις 22:00 οι συγκεντρώσεις φτάνουν σε αρκετά υψηλά επίπεδα. Τα παρακάτω γραφήματα προσφέρουν μια καλύτερη απεικόνιση συγκριτικά με εκείνα στα οποία είναι μεταβλητά τα όρια των συγκεντρώσεων, λόγω της καλύτερης κατανομής των τιμών σε πιο ρεαλιστικά επίπεδα.

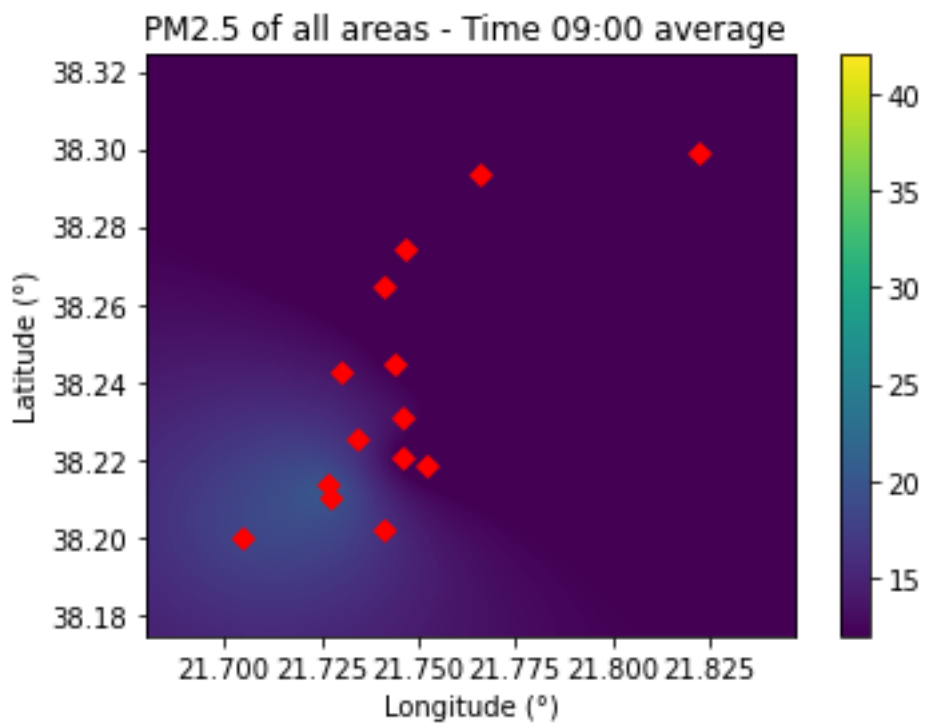
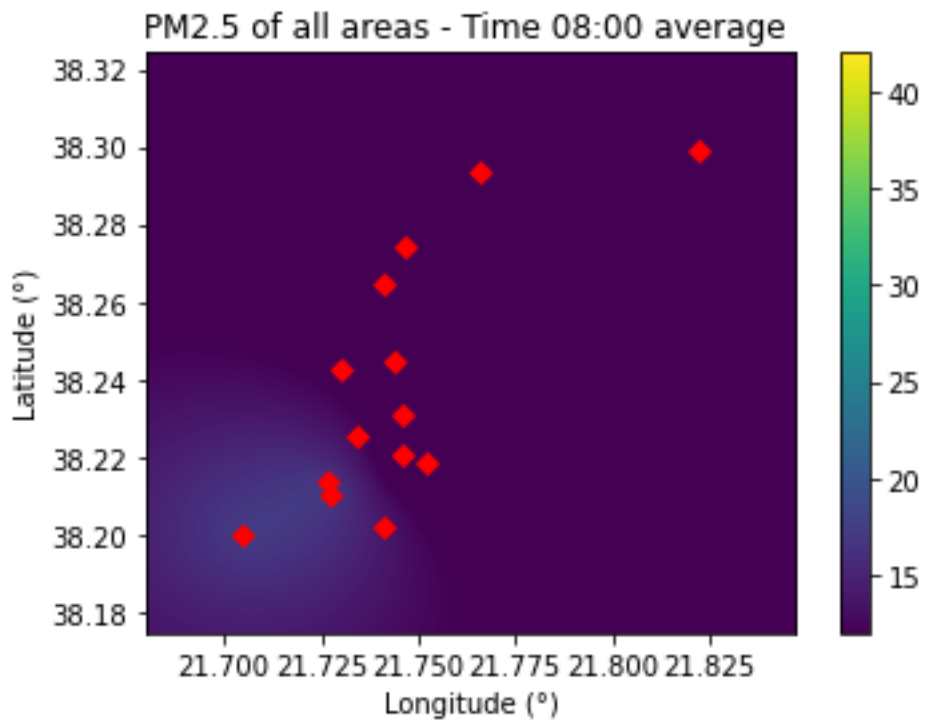
Γραφήματα [25,48]: PM_{2.5} of all areas – Time [0:00,23:00] Yearly Average (December 2022- February 2023) with constant range of z (max=42 μg/m³, min=12 μg/m³)

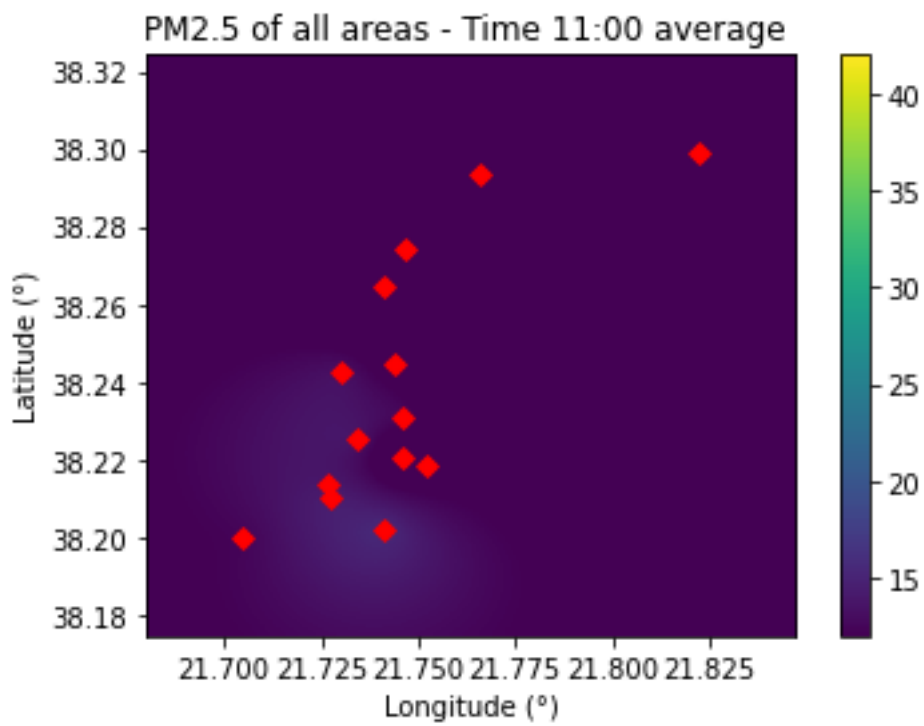
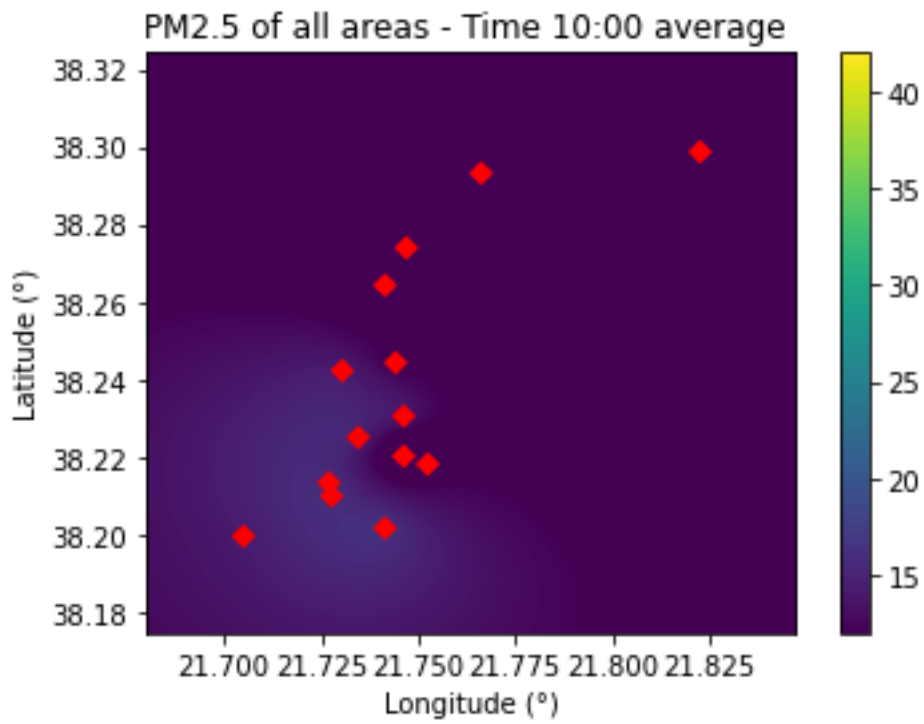


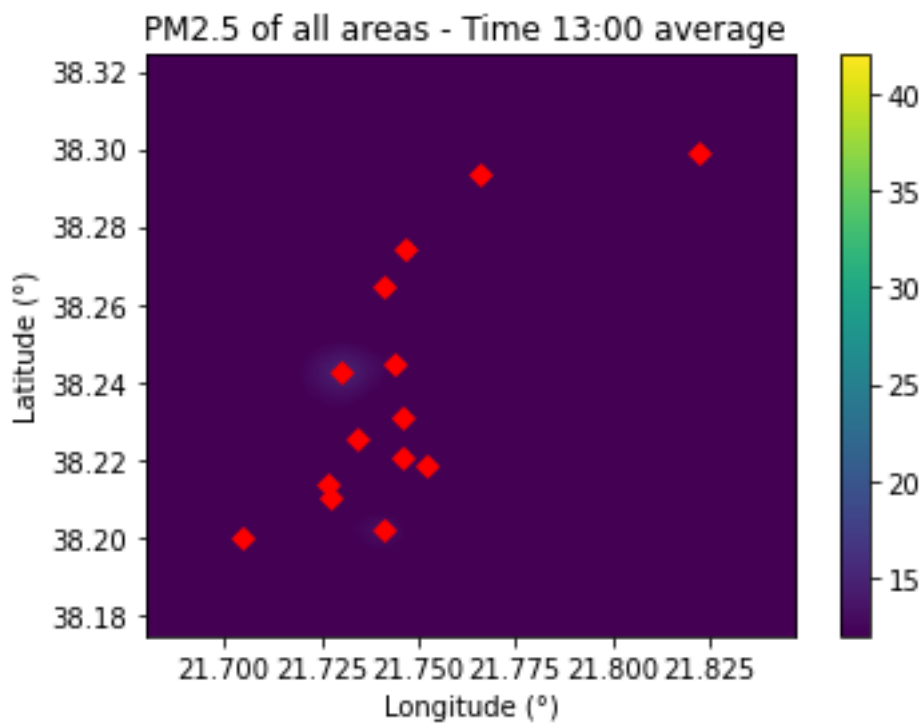
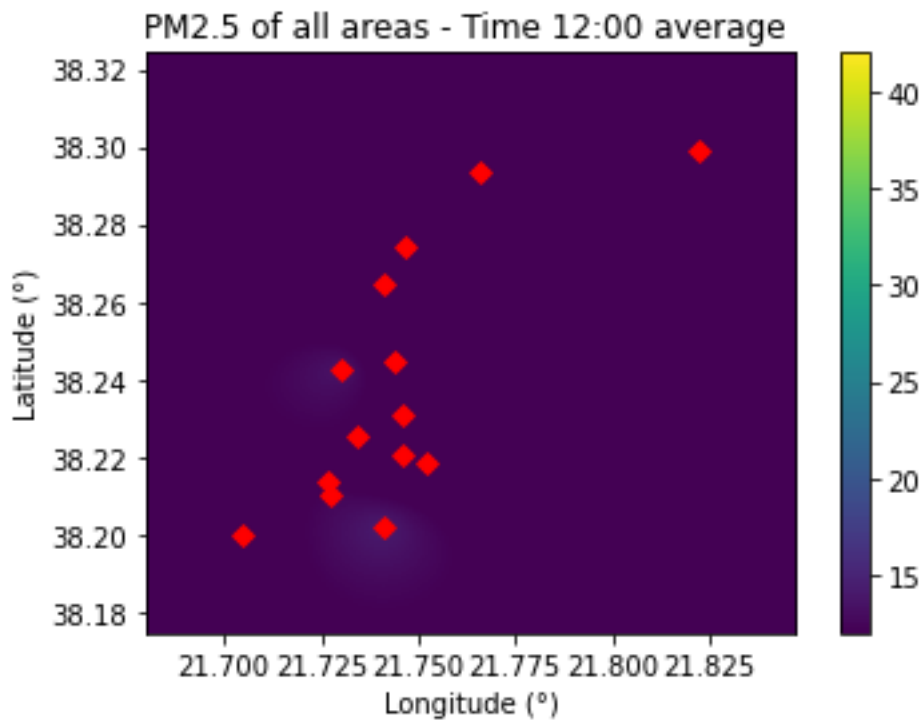


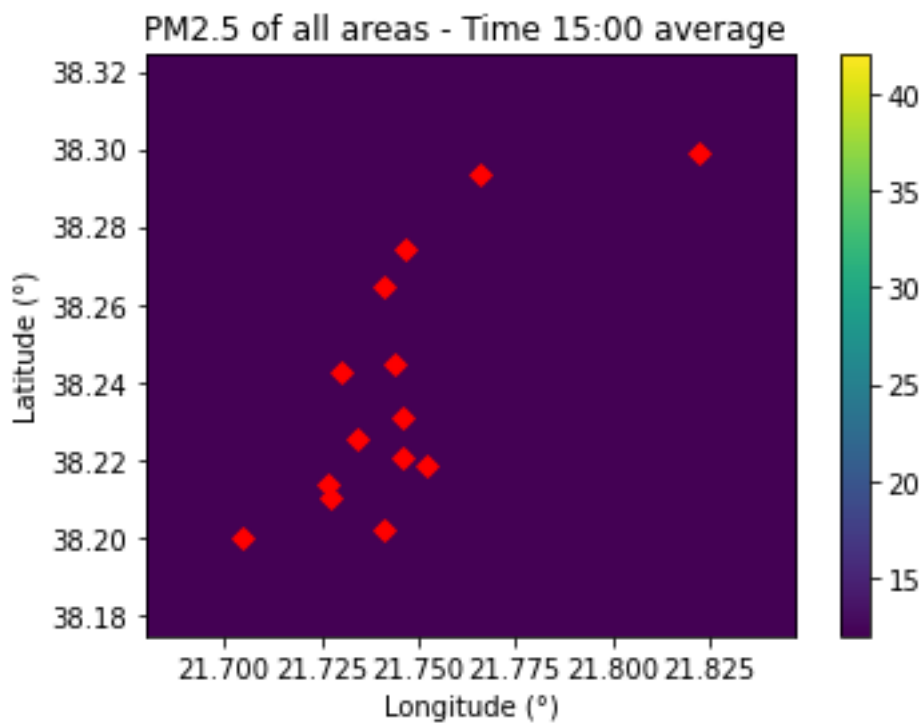
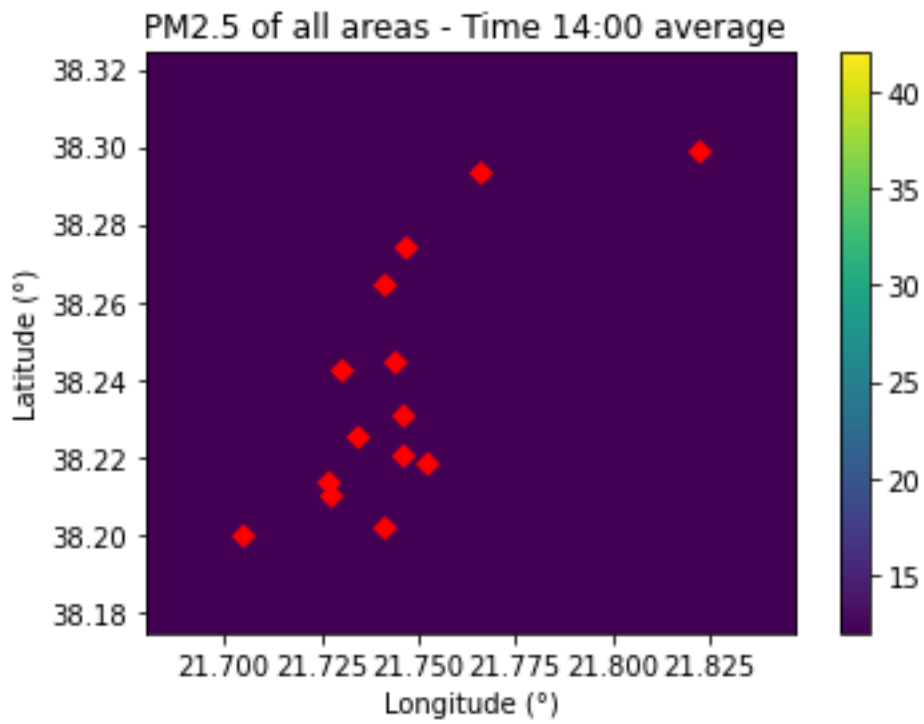


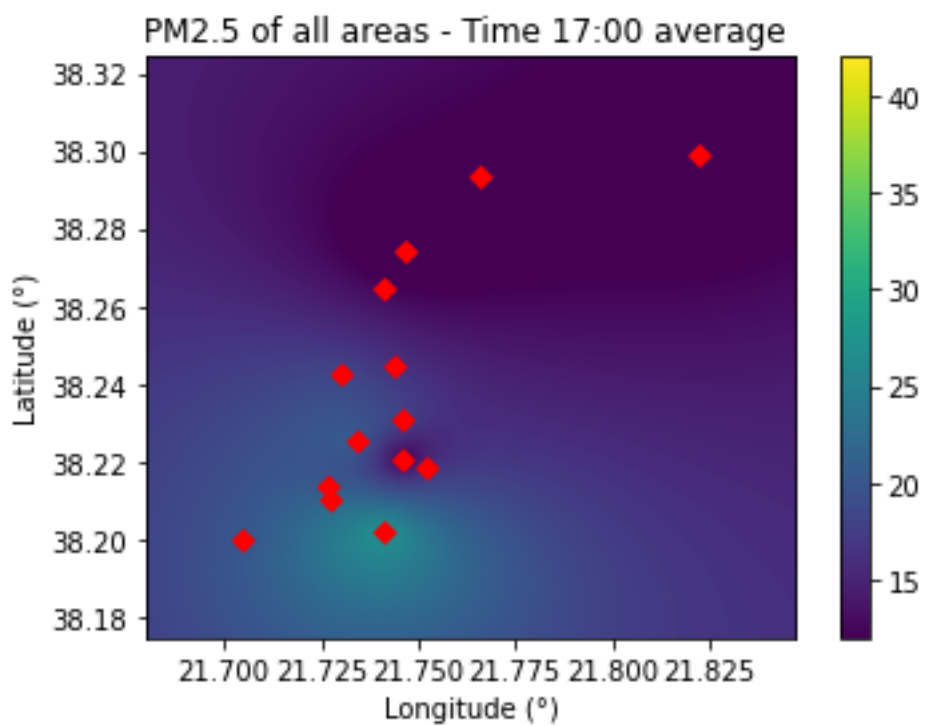
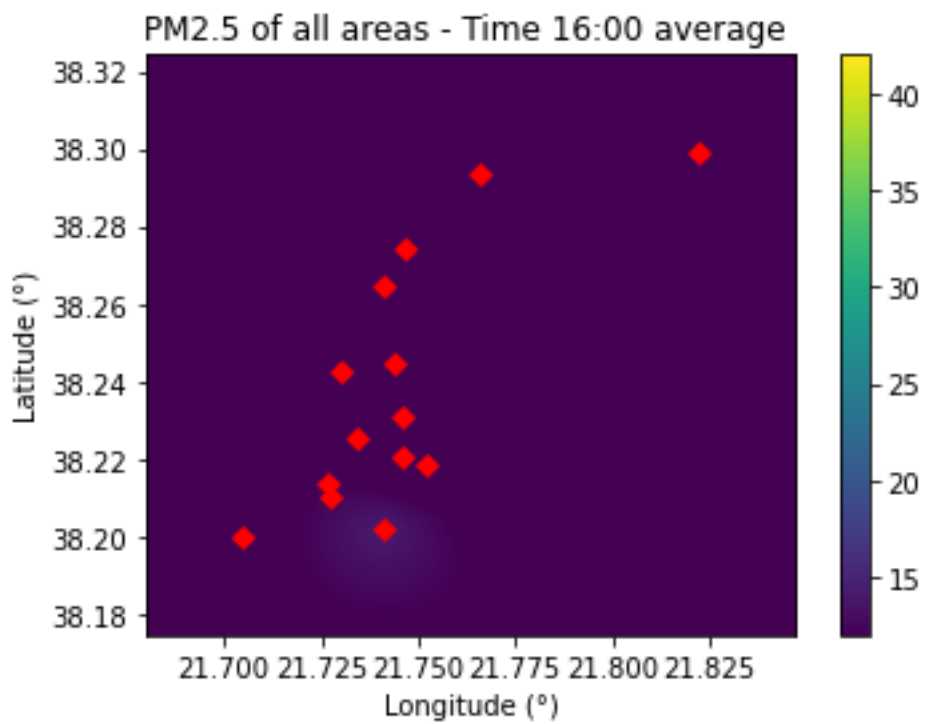


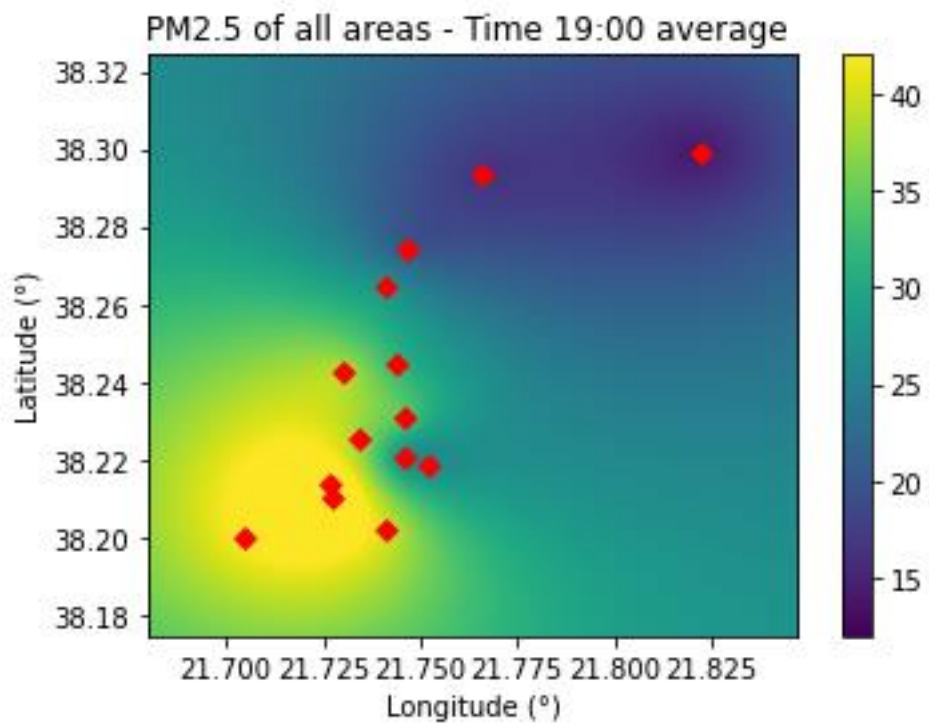
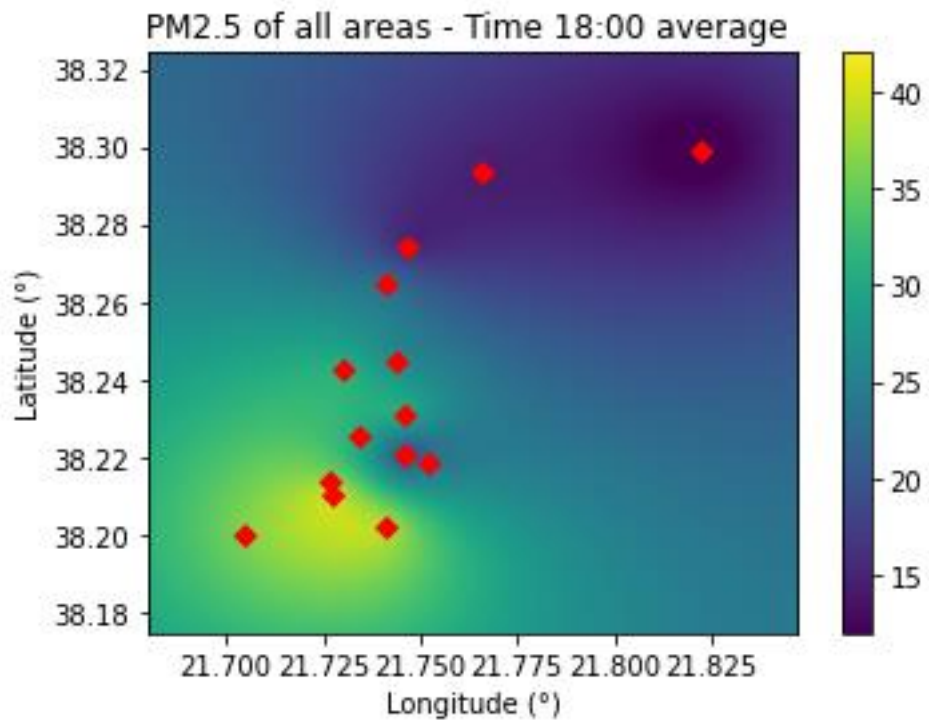


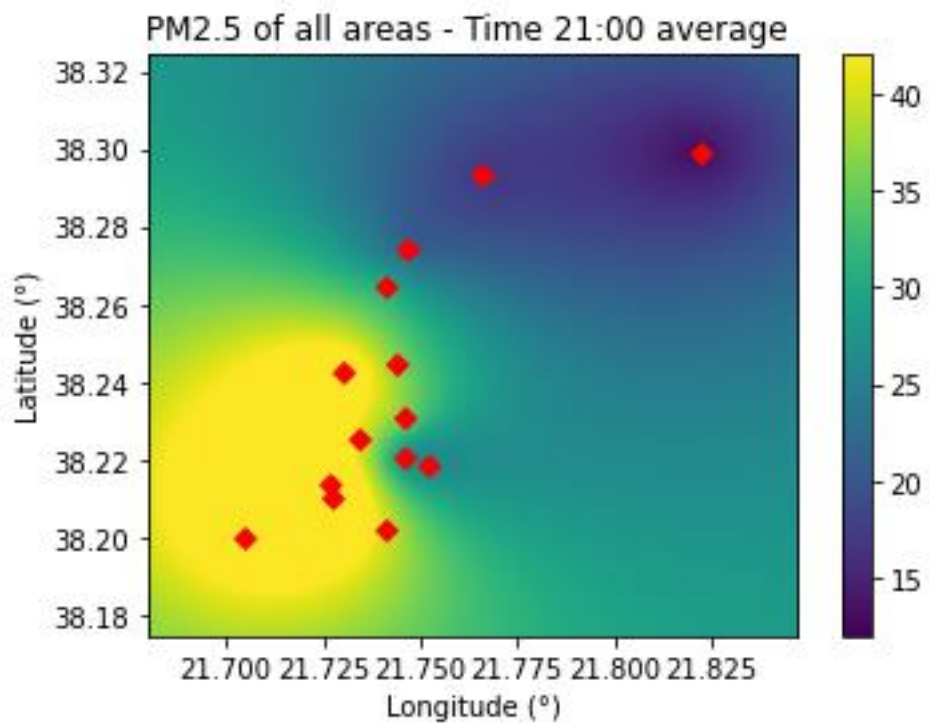
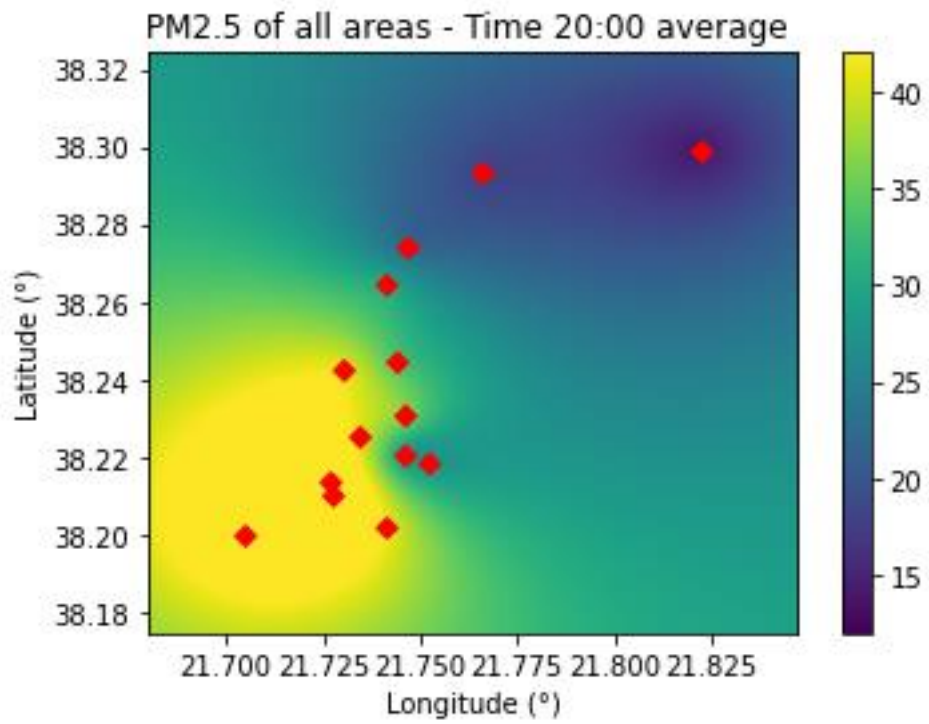


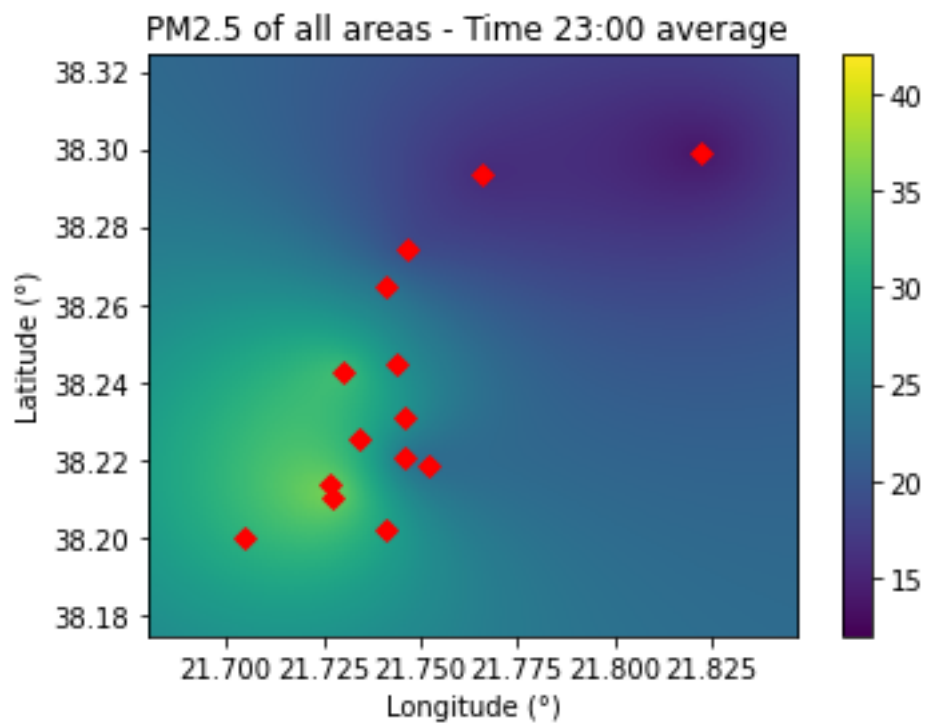
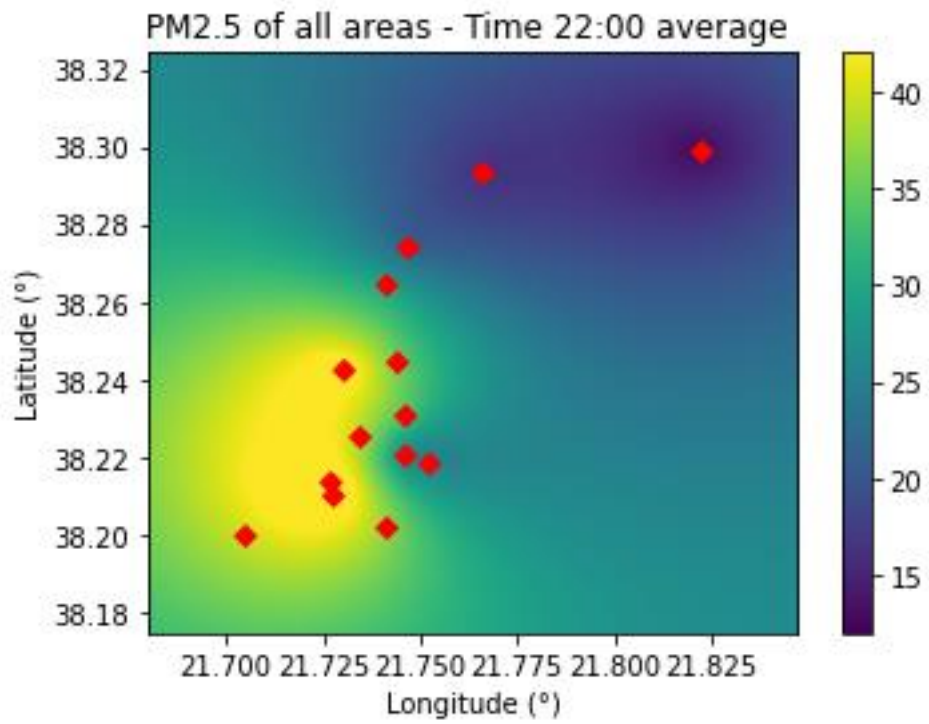












4.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικός στόχος της εργασίας ήταν η ανάλυση των μετρήσεων των μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των 14 σταθμών συλλογής δεδομένων για τους μήνες Ιανουάριος 2022- Φεβρουάριος 2023 όπως επίσης και η ανάπτυξη βαριογράμματος για την γεωστατιστική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων στην περιοχή της Πάτρας.

Όσον αφορά τις τιμές των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} στην περιοχή της Πάτρας κατά τους χειμερινούς μήνες του Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, έπειτα από την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι οι μέσες ωριαίες συγκεντρώσεις για το σύνολο των τριών μηνών στις περιοχές των Τριών Ναυάρχων, του 64^{ου} Δημοτικού Πατρών, τα Κρητικά και του Πειραματικού Λάγγουρα, περιοχές οι οποίες βρίσκονται εντός του αστικού κέντρου της πόλης της Πάτρας αλλά και για τις περιοχές Λεύκα, Κουκούλι, 19^ο Γυμνάσιο Πατρών, Δεμένικα, Κυψέλη και Παραλία περιοχές που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό μέρος της Πάτρας και πλησίον του ποταμού Γλαύκου ότι οι μέγιστες τιμές των PM_{2.5} εμφανίζονται στο διάστημα 18:00 – 23:00, κάτι το οποίο είναι απολύτως λογικό και οφείλεται κυρίως στο ότι τις συγκεκριμένες ώρες λόγω του κλεισίματος των καταστημάτων παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση στις περιοχές του κέντρου της Πάτρας αλλά και λόγω της εποχής του χειμώνα και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών παρατηρείται αύξηση της χρήσης των καυστήρων θέρμανσης αλλά και των τζακιών/ξυλόσομπων κάτι που οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα του αστικού κέντρου όπως και για τις περιοχές νότια του κέντρου κυρίως λόγω της αυξημένης χρήσης των μέσων θέρμανσης αλλά και της αυξημένης κυκλοφορίας. Επίσης στις περιοχές που βρίσκονται νοτιοανατολικά της Πάτρας και γεωγραφικά είναι πλησίον της θάλασσας παρατηρούμε αυτές τις υψηλές συγκεντρώσεις και εξαιτίας του διαφορετικού μικροκλίματος που επικρατεί στην περιοχή και των ιδιαίτερων καιρικών συνθηκών. Αντιθέτως, παρατηρούνται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις PM_{2.5} κατά τις ώρες 1:00 – 6:00 συγκριτικά με το χρονικό διάστημα 18:00 – 23:00. Παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των μέγιστων και των ελάχιστων μέσων ωριαίων συγκεντρώσεων των PM_{2.5} σε αυτούς τους σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στο κέντρο και νότια αυτού και είναι προφανές ότι οφείλεται στην αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα των υψηλών μέσων τιμών. Στις τοποθεσίες Πλατάني, Αγυιά, Καστελόκαμπος και Πανεπιστήμιο Πατρών, περιοχές οι οποίες βρίσκονται στο βόρειο κομμάτι της πόλης της Πάτρας. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τις ώρες μεταξύ 18:00 – 23:00. Σε αντίθεση με τις τοποθεσίες του κέντρου της Πάτρας και των περιοχών νοτιοανατολικά του κέντρου, οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες μέγιστες μέσες ωριαίες τιμές και αυτό οφείλεται στο ότι βρίσκονται μακριά από το κέντρο στα προάστια της πόλης της Πάτρας. Επίσης παρατηρούμε ότι στις περιοχές Καστελόκαμπος και Αγυιά οι μέγιστες τιμές είναι αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες στο Πλατάني και σχεδόν διπλάσιες από εκείνες του Πανεπιστημίου Πατρών και αυτό οφείλεται στον αρκετά μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων αυτών των δυο προαστίων της Πάτρας. Τέλος παρατηρούμε ότι σε αντίθεση με τον Καστελόκαμπο, την Αγυιά και το Πλατάني, το Πανεπιστήμιο Πατρών λόγω της έλλειψης κατοικιών και κατά συνέπεια μικρής χρήσης μέσων θέρμανσης, παρουσιάζει μέγιστες τιμές κατά το χρονικό διάστημα 10:00 – 12:00, 17:00 – 20:00, χρονικές περίοδοι στις οποίες υπάρχει αυξημένη προσέλευση – αποχώρηση καθηγητών και φοιτητών με Ι.Χ και λεωφορεία.

Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο του Ordinary Kriging, μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική γεωστατιστικής παρεμβολής, για να αξιολογήσουμε τη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων PM_{2.5} στο αστικό περιβάλλον της Πάτρας. Τα αποτελέσματα παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες για τη μεταβλητότητα και τα πρότυπα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όλη την πόλη. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ordinary Kriging έδειξαν σημαντική χωρική ετερογένεια στις συγκεντρώσεις PM_{2.5}, με ορισμένες περιοχές να παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης από άλλες. Σημεία υψηλής ρύπανσης παρατηρήθηκαν κοντά σε μεγάλους διαδρόμους κυκλοφορίας και πυκνοκατοικημένες περιοχές όπως το κέντρο και νοτιοανατολικά της πόλης της Πάτρας, υπογραμμίζοντας τον αντίκτυπο των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην ποιότητα του αέρα όπως η χρήση τζακιών, καυστήρων αλλά και η έντονη κυκλοφορία των οχημάτων κατά τις πρωινές αλλά κυρίως τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Αντίθετα, περιοχές με καλύτερη ποιότητα αέρα βρέθηκαν κοντά σε χώρους πρασίνου και κατοικημένες περιοχές με λιγότερες πηγές ρύπανσης όπως οι σταθμοί που βρίσκονται στο βόρειο κομμάτι της πόλης. Οι χάρτες υψηλής ανάλυσης που παράγονται μέσω του Ordinary Kriging προσφέρουν μια πολύτιμη πηγή για πολεοδόμους, περιβαλλοντικούς φορείς και τοπικές αρχές. Εντοπίζοντας περιοχές υψηλής συγκέντρωσης ρύπανσης, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να δώσουν προτεραιότητα σε συγκεκριμένες τοποθεσίες για την εφαρμογή στοχευμένων στρατηγικών μετριασμού. Για παράδειγμα, η αύξηση της βλάστησης, η επιβολή μέτρων ελέγχου των εκπομπών κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και η προώθηση βιώσιμων συστημάτων μεταφοράς σε εστίες ρύπανσης μπορούν να συμβάλουν στην ανακούφιση του βάρους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Οι γεωστατιστικοί χάρτες που δημιουργούνται μέσω του Ordinary Kriging προσφέρουν απτά δεδομένα για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων. Επιπλέον, τα ευρήματα αυτής της μελέτης υπογραμμίζουν τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα και την ανάγκη για αποτελεσματικά εργαλεία χωρικής ανάλυσης στην περιβαλλοντική διαχείριση. Η τακτική και ευρεία παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της δυναμικής φύσης των προτύπων ρύπανσης και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών ελέγχου της ρύπανσης με την πάροδο του χρόνου. Η μελέτη επιβεβαιώνει την κρίσιμη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα σε όλη την πόλη. Οι εφάπαξ ή sporadικές μετρήσεις ενδέχεται να μην καταγράφουν τη δυναμική φύση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η οποία μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις διαφορετικές καιρικές συνθήκες, τα μοτίβα κυκλοφορίας και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Η τακτική παρακολούθηση επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των χρονικών και χωρικών διακυμάνσεων στην ποιότητα του αέρα, επιτρέποντας πιο ενημερωμένη και προσαρμοστική χάραξη πολιτικής.

Ενώ η χρήση της μεθόδου του Ordinary Kriging έδειξε την αποτελεσματικότητά του σε αυτή τη μελέτη, μελλοντική έρευνα μπορεί να διερευνήσει την εφαρμογή άλλων γεωστατιστικών μεθόδων, όπως το Universal Kriging ή το Co-Kriging, για να βελτιώσει περαιτέρω την ακρίβεια των προβλέψεων για την ποιότητα του αέρα και συγκεκριμένα για την κατανομή και τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Επίσης, στην καλύτερη και πιο αποτελεσματική πρόβλεψη της κατανομής των συγκεντρώσεων στην περιοχή της Πάτρας σε μελλοντικές μελέτες, θα συντελούσε η εγκατάσταση περισσότερων σταθμών μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων και κυρίως στο βόρειο τομέα της

Πάτρας στον οποίο στην παρούσα διπλωματική είχαμε σχετικά μικρό δείγμα σταθμών. Επιπλέον, η ενσωμάτωση άλλων σχετικών μεταβλητών, όπως μετεωρολογικά δεδομένα ή λεπτομέρειες που αφορούν τη χρήση της γης, θα μπορούσε να βελτιώσει τα μοντέλα παρεμβολής και να παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα.

Συμπερασματικά, αυτή η μελέτη χρησιμεύει ως μια σημαντική συμβολή στον τομέα της αξιολόγησης και διαχείρισης της ποιότητας του αέρα σε αστικά περιβάλλοντα. Η χρήση του Ordinary Kriging έχει ρίξει φως στη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων PM_{2.5} και έχει εντοπίσει κρίσιμα σημεία ρύπανσης, βοηθώντας στη διαμόρφωση στοχευμένων στρατηγικών για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τη βελτίωση της συνολικής ευημερίας των κατοίκων της πόλης και συγκεκριμένα της Πάτρας. Εντοπίζοντας εστίες ρύπανσης και περιοχές με καλύτερη ποιότητα αέρα, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να εφαρμόσουν στοχευμένα μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τη βελτίωση της συνολικής ευημερίας των κατοίκων της πόλης. Αυτή η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης γεωστατιστικών τεχνικών σε περιβαλλοντικές μελέτες και υποστηρίζει την υιοθέτηση πολιτικών που βασίζονται σε στοιχεία για την αντιμετώπιση του πιεστικού ζητήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές. Ελπίζουμε ότι αυτά τα ευρήματα θα συμβάλουν στη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε στοιχεία και θα εμπνεύσουν περαιτέρω έρευνα για την επιδίωξη καθαρότερων και υγιέστερων αστικών περιβαλλόντων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακες 1-5: Μέση ωριαία τιμή αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες
Δεκέμβριος 2022 – Φεβρουάριος 2023

Πίνακας 1

Time	19ο Γυμνάσιο Πατρών	64ο Δημοτικό Σχολείο Πατρών	Αγυιά
0:00	29,36222212	18,52001038	8,696177659
1:00	20,71763469	13,50203986	7,088315765
2:00	14,70782141	10,99302457	5,814468659
3:00	11,70997564	9,064008368	5,055182121
4:00	9,525369488	7,866413776	4,620292883
5:00	8,810512056	7,802117711	4,602982591
6:00	9,285503906	7,569089336	4,735951722
7:00	11,58782608	8,902762245	5,759895514
8:00	18,7001018	10,63477596	6,247670528
9:00	22,3016463	10,96724007	7,037322681
10:00	15,79884339	10,0590604	6,819653815
11:00	13,66789589	8,373665926	6,303238696
12:00	10,48364574	8,576413264	5,863495299
13:00	7,926595208	7,507803385	5,448193802
14:00	7,842703164	7,105282572	4,895097955
15:00	8,136851011	6,78604225	4,755626286
16:00	10,47949138	7,845971128	5,43084628
17:00	18,82945952	12,61630312	8,63022335
18:00	35,32468966	25,04487405	12,04649364
19:00	49,961006	30,80005665	14,05848774
20:00	55,04730514	34,94475059	14,88286739
21:00	53,26919778	33,72423418	14,03211726
22:00	48,33750618	32,74847864	13,86521877
23:00	40,82208142	26,42771024	11,24720485

Πίνακας 2

Time	Δεμένικα	Καστελόκαμπος	Κουκούλι
0:00	22,43014218	8,851596152	11,59422275
1:00	17,45013694	7,725556	8,782040528
2:00	12,60713529	6,773318034	6,589791817
3:00	11,05806892	6,092877674	5,357015576
4:00	9,352781806	6,055933713	4,609417756
5:00	8,799805307	5,786221432	4,565470826
6:00	8,679410093	5,722819508	4,78482583
7:00	11,047678	6,101095593	5,273196396
8:00	14,26091745	6,833004807	7,352951475
9:00	16,77003158	7,717165888	9,777227438
10:00	16,57270894	8,187506606	11,32609138
11:00	16,20361964	7,887941859	11,06468288
12:00	15,5078024	7,351768042	9,799087284
13:00	13,62240867	7,2327045	8,415355887
14:00	12,76945232	6,978324299	8,097695475
15:00	13,38332749	7,081698889	8,219338956
16:00	17,77652468	8,366615759	10,20456686
17:00	29,59422079	11,59191623	17,70638578
18:00	42,21177433	14,10178006	24,73978911
19:00	43,92165474	14,09428108	25,07346859
20:00	44,03147708	15,53106371	24,80529704
21:00	41,37000661	14,21228536	22,8379319
22:00	39,39048298	12,7732576	21,5105312
23:00	30,34290436	11,20002656	16,10450393

Πίνακας 3

Time	Κυψέλη	Λεύκα	Παραλία
0:00	28,32267013	38,10038164	25,90157806
1:00	19,88411659	26,7672349	19,34795849
2:00	14,41440723	19,52239443	15,62041698
3:00	11,6058851	14,94952297	13,53061367
4:00	9,440979611	12,43258459	11,67225025
5:00	7,999704881	11,28834659	11,5035282
6:00	7,829247622	11,34272538	11,94966523
7:00	9,534132194	12,96702739	13,56632349
8:00	13,82701545	18,93861856	19,20773594
9:00	16,82551409	22,09469882	19,2056357
10:00	15,20953513	16,03571038	14,237562
11:00	14,15874023	14,82266846	12,22622054
12:00	12,23868767	13,16593156	10,35962849
13:00	11,54725888	11,73640862	8,938774642
14:00	13,26737353	11,17057626	7,957491595
15:00	11,47829459	11,09833981	7,999753262
16:00	13,88286122	13,60510679	10,07029
17:00	22,15355869	22,90263791	19,97306928
18:00	30,87831979	44,0504111	36,95219188
19:00	38,5852385	55,68029769	43,78072873
20:00	42,94006642	60,74123281	50,06483517
21:00	41,8936687	62,49217447	48,45072938
22:00	41,43286224	58,58238148	40,06483745
23:00	32,86955435	51,28796476	31,69923667

Πίνακας 4

Time	Πειραματικό Λάγγουρα	Πλατάνι	Τριών Ναυάρχων
0:00	22,85066751	4,993678196	32,54754286
1:00	16,31933268	4,730296491	23,05131938
2:00	11,50923808	4,358643623	16,6799949
3:00	8,416796674	4,470216775	12,78680624
4:00	6,548959311	4,399819418	10,20706414
5:00	6,480544534	4,174063473	9,076190179
6:00	7,013189552	4,120916845	8,824723085
7:00	7,945523664	4,398487523	9,680380922
8:00	11,07503046	5,571125072	11,36523888
9:00	14,98413552	6,113096299	14,04583123
10:00	14,40891655	7,289460443	14,4581117
11:00	13,08911505	8,016201499	13,70491287
12:00	10,94606683	7,380533836	14,86652026
13:00	8,86139852	6,83722225	15,26747519
14:00	8,099115465	5,947138976	13,5070689
15:00	8,603229674	5,857354775	12,88555406
16:00	10,59647256	6,317542675	13,16462939
17:00	18,82136614	7,821617449	18,57565889
18:00	35,77308316	7,932051251	32,6236873
19:00	41,93247642	9,091367839	44,6595241
20:00	45,45066203	7,680551769	47,40375485
21:00	41,85043443	6,870182207	56,78743829
22:00	38,04551111	6,102438043	57,07172399
23:00	31,92019987	5,665803127	47,39450213

Πίνακας 5

Time	Πανεπιστήμιο Πατρών	Κρητικά
0:00	5,998826832	17,83895233
1:00	5,913909689	14,47839306
2:00	5,511521661	10,56480569
3:00	5,397752659	8,779236958
4:00	5,073855386	7,660673477
5:00	5,126047285	7,1752642
6:00	4,958822466	6,985779486
7:00	5,229343568	7,648712883
8:00	5,634808205	8,873432904
9:00	6,418243562	10,68105859
10:00	7,268810422	11,53691101
11:00	7,260963215	10,53878793
12:00	6,741502813	9,534938005
13:00	6,496111546	12,11190578
14:00	5,85500285	9,917584318
15:00	5,526162813	8,278872578
16:00	5,773009398	13,45610558
17:00	7,378963653	16,1540556
18:00	8,294584181	24,73587281
19:00	7,835662605	27,97128673
20:00	7,707453208	28,54750847
21:00	7,494995271	33,28274
22:00	7,147056963	33,01003706
23:00	6,798291076	23,55075333

Πίνακας 6-19: Μέση ημερήσια τιμή αιωρούμενων σωματιδίων για τους μήνες Δεκέμβριος 2022 – Φεβρουάριος 2023 των 14 σταθμών μέτρησης

Πίνακας 6: Καστελόκαμπος

Date	Average PM_{2.5} per day
12/1/2022	6,856102364
12/2/2022	5,741069072
12/3/2022	6,352170389
12/4/2022	5,989737708
12/5/2022	6,706725833
12/6/2022	9,051276667
12/7/2022	7,475110203
12/8/2022	7,162539583
12/9/2022	16,67722043
12/10/2022	14,0002717
12/11/2022	5,567436799
12/12/2022	6,080678938
13/12/2022	9,080376478
14/12/2022	6,819105583
15/12/2022	9,154931111
16/12/2022	7,820124153
17/12/2022	10,7649175
18/12/2022	6,931433854
19/12/2022	4,289821295
20/12/2022	3,046659853
21/12/2022	7,071607153
22/12/2022	15,4789416
23/12/2022	10,2070016
24/12/2022	10,64334573
25/12/2022	12,51082425
26/12/2022	12,10391357
27/12/2022	11,88369104
28/12/2022	13,05916225
29/12/2022	13,10006573
30/12/2022	13,87309454
31/12/2022	13,20519967

1/1/2023	9,343773
1/2/2023	8,833369101
1/3/2023	11,16862063
1/4/2023	12,30182766
1/5/2023	12,57718833
1/6/2023	10,9391456
1/7/2023	9,080394705
1/8/2023	11,32562133
1/9/2023	11,00415939
1/10/2023	9,223564289
1/11/2023	6,277498433
1/12/2023	10,29223229
13/1/2023	8,281426
14/1/2023	10,90118869
15/1/2023	10,51406375
16/1/2023	8,216686288
17/1/2023	7,975155
18/1/2023	4,798651736
19/1/2023	4,873068299
20/1/2023	5,013209048
21/1/2023	5,199637678
22/1/2023	6,013165979
23/1/2023	7,293786569
24/1/2023	7,707414844
25/1/2023	5,913529964
26/1/2023	6,77179351
27/1/2023	7,501290739
28/1/2023	7,398711833
29/1/2023	7,566819188
30/1/2023	8,764340091
31/1/2023	7,162107587
2/1/2023	6,071580083
2/2/2023	8,608803722
2/3/2023	7,10456991
2/4/2023	7,371581944
2/5/2023	6,146849597

2/6/2023	4,325207036
2/7/2023	4,628597384
2/8/2023	4,329701903
2/9/2023	3,59581658
2/10/2023	3,688165076
2/11/2023	8,099477435
2/12/2023	9,055060167
13/2/2023	6,955442201
14/2/2023	9,2350185
15/2/2023	11,89211667
16/2/2023	14,76152267
17/2/2023	12,80529652
18/2/2023	8,762181739
19/2/2023	11,18114252
20/2/2023	10,07519127
21/2/2023	14,37335167
22/2/2023	10,77576065
23/2/2023	9,953019583
24/2/2023	10,96831205
25/2/2023	11,35916348
26/2/2023	11,82988554
27/2/2023	9,682321087
28/2/2023	10,34104125

Πίνακας 7: Αγυιά

Date	Average PM_{2.5} per day
1/12/2022	6,505124598
2/12/2022	6,500866492
3/12/2022	10,04074208
4/12/2022	11,60213962
5/12/2022	7,364419457
6/12/2022	8,210007188
7/12/2022	7,865502638
8/12/2022	6,248923977
9/12/2022	9,705269313
10/12/2022	11,0412784
11/12/2022	3,778686792

12/12/2022	4,825119951
13/12/2022	7,316944417
14/12/2022	5,614523045
15/12/2022	5,821281493
16/12/2022	6,968226438
17/12/2022	8,141470283
18/12/2022	6,072718333
19/12/2022	5,479005351
20/12/2022	5,126335955
21/12/2022	9,176428938
22/12/2022	11,13665359
23/12/2022	8,790386181
24/12/2022	7,169631653
25/12/2022	10,11898851
26/12/2022	9,349087265
27/12/2022	6,859413917
28/12/2022	7,224731111
29/12/2022	10,37844838
30/12/2022	10,3997755
31/12/2022	12,26410799
1/1/2023	8,79247675
2/1/2023	9,886933572
3/1/2023	8,447646615
4/1/2023	8,566529
5/1/2023	12,33875532
6/1/2023	8,68648066
7/1/2023	11,5210976
8/1/2023	12,69870454
9/1/2023	7,887655559
10/1/2023	5,274975154
11/1/2023	6,279471838
12/1/2023	9,517771517
13/1/2023	9,993863514
14/1/2023	11,15486045
15/1/2023	13,98905644
16/1/2023	7,584416118
17/1/2023	3,229487306
18/1/2023	3,151097076
19/1/2023	3,504286111
20/1/2023	3,199186046

21/1/2023	3,915528538
22/1/2023	9,17049984
23/1/2023	7,030881056
24/1/2023	6,965945623
25/1/2023	5,737455108
26/1/2023	6,582345504
27/1/2023	6,901895044
28/1/2023	7,40371403
29/1/2023	9,085446642
30/1/2023	9,474890772
31/1/2023	5,732968083
1/2/2023	5,651224833
2/2/2023	8,296803104
3/2/2023	6,084853942
4/2/2023	5,201661181
5/2/2023	5,365525342
6/2/2023	4,421515069
7/2/2023	3,649420311
8/2/2023	2,804281462
9/2/2023	2,794550452
10/2/2023	3,708556611
11/2/2023	10,01101761
12/2/2023	9,828258913
13/2/2023	6,21189559
14/2/2023	8,620114681
15/2/2023	10,94000806
16/2/2023	14,01936479
17/2/2023	8,90240125
18/2/2023	6,241263116
19/2/2023	8,588199022
20/2/2023	7,574024773
21/2/2023	10,89608408
22/2/2023	8,138293646
23/2/2023	7,975648281
24/2/2023	8,283410341
25/2/2023	8,540262813
26/2/2023	9,47476325
27/2/2023	6,789809514
28/2/2023	7,664272167

Πίνακας 8: 19^ο Γυμνάσιο Πατρών

Date	Average PM _{2.5} per day
7/12/2022	71,18021364
8/12/2022	54,34538698
9/12/2022	48,48768825
10/12/2022	37,45605998
11/12/2022	3,840329159
12/12/2022	9,515328674
13/12/2022	22,78883233
14/12/2022	25,60653479
15/12/2022	25,10109736
16/12/2022	36,35776868
17/12/2022	39,98240757
18/12/2022	21,30982031
19/12/2022	11,24270493
20/12/2022	18,13150522
21/12/2022	32,61220333
22/12/2022	25,28006938
23/12/2022	18,99044464
24/12/2022	24,12873903
25/12/2022	25,75134365
26/12/2022	27,00460979
27/12/2022	17,37227715
28/12/2022	24,20475295
29/12/2022	23,95228808
30/12/2022	21,01330833
31/12/2022	36,5671399
1/1/2023	37,98540625
2/1/2023	24,91654401
3/1/2023	22,5255406
4/1/2023	20,77171213
5/1/2023	37,71975479
6/1/2023	21,60557571
7/1/2023	40,7587063
8/1/2023	26,32187597
9/1/2023	15,44747392
10/1/2023	15,04907719
11/1/2023	18,04733419
12/1/2023	29,67950375
13/1/2023	27,67714792

14/1/2023	32,85155885
15/1/2023	46,38952313
16/1/2023	16,98551538
17/1/2023	2,625927472
18/1/2023	1,851593646
19/1/2023	6,661902938
20/1/2023	2,577108534
21/1/2023	4,888968853
22/1/2023	14,85520332
23/1/2023	22,69618042
24/1/2023	25,56229575
25/1/2023	27,75488729
26/1/2023	19,88313208
27/1/2023	26,04537386
28/1/2023	21,23491116
29/1/2023	32,02789583
30/1/2023	20,54316767
31/1/2023	11,28879337
1/2/2023	11,88600537
2/2/2023	23,97499837
3/2/2023	18,60111549
4/2/2023	8,897178351
5/2/2023	15,95585272
6/2/2023	12,19215119
7/2/2023	7,946816362
8/2/2023	7,103017806
9/2/2023	13,25208531
10/2/2023	17,42981117
11/2/2023	27,84262889
12/2/2023	26,420085
13/2/2023	16,18721472
14/2/2023	14,98276094
15/2/2023	34,36175708
16/2/2023	41,48041948
17/2/2023	24,18121813
18/2/2023	15,27057275
19/2/2023	13,12745104
20/2/2023	16,41936656
21/2/2023	25,02019948
22/2/2023	20,98337444
23/2/2023	18,27446354

24/2/2023	19,70086448
25/2/2023	20,605045
26/2/2023	14,16529753
27/2/2023	14,70278208
28/2/2023	17,41332913

Πίνακας 9: 64^ο Δημοτικό

Date	Average PM2.5 per day
13/12/2022	19,00213727
14/12/2022	9,929593087
15/12/2022	10,32700756
16/12/2022	12,58619276
17/12/2022	15,83731919
18/12/2022	12,81984309
19/12/2022	9,836493565
20/12/2022	7,766697965
21/12/2022	18,24402035
22/12/2022	21,04818292
23/12/2022	16,74563481
24/12/2022	14,27444917
25/12/2022	21,39753396
26/12/2022	18,39257483
27/12/2022	12,22406846
28/12/2022	17,62325398
29/12/2022	26,02074764
30/12/2022	20,50346333
31/12/2022	31,03505375
1/1/2023	19,70532917
2/1/2023	22,16056677
3/1/2023	15,074527
4/1/2023	19,93253313
5/1/2023	25,36035063
6/1/2023	18,84094924
7/1/2023	26,31336052
8/1/2023	23,1437124
9/1/2023	11,15678819
10/1/2023	10,68150486

11/1/2023	17,9929694
12/1/2023	20,87676233
13/1/2023	20,32417068
14/1/2023	23,14914104
15/1/2023	27,99013542
16/1/2023	12,56873024
17/1/2023	3,688996424
18/1/2023	4,754739375
19/1/2023	5,82671884
20/1/2023	4,46940695
21/1/2023	5,526724699
22/1/2023	19,16693389
23/1/2023	13,82496021
24/1/2023	16,17488028
25/1/2023	9,338251583
26/1/2023	12,51126654
27/1/2023	19,34959088
28/1/2023	20,97019986
29/1/2023	28,44298292
30/1/2023	15,84193007
31/1/2023	9,174355181
1/2/2023	6,466130913
2/2/2023	12,85519496
3/2/2023	16,25920078
4/2/2023	7,543204493
5/2/2023	9,135104444
6/2/2023	7,190490972
7/2/2023	4,98291626
8/2/2023	3,762667659
9/2/2023	4,551497837
10/2/2023	5,475093649
11/2/2023	21,0832483
12/2/2023	18,72511188
13/2/2023	10,84871601
14/2/2023	15,61679396
15/2/2023	21,47012615
16/2/2023	21,00734623
17/2/2023	14,21201539

18/2/2023	11,11728263
19/2/2023	12,20211156
20/2/2023	15,21127769
21/2/2023	21,9175784
22/2/2023	13,63808862
23/2/2023	13,23372349
24/2/2023	15,43309665
25/2/2023	14,65225813
26/2/2023	15,80570792
27/2/2023	13,49520158
28/2/2023	13,38593858

Πίνακας 10: Δεμένικα

Date	Average PM2.5 per day
1/12/2022	22,73337295
2/12/2022	17,0032878
3/12/2022	32,20767888
4/12/2022	32,55015076
5/12/2022	31,04927221
6/12/2022	42,15212626
7/12/2022	33,87706345
8/12/2022	41,13425125
9/12/2022	36,37742142
10/12/2022	36,47262658
11/12/2022	9,354921111
12/12/2022	14,31799349
13/12/2022	17,33399444
14/12/2022	41,19822493
15/12/2022	17,97332884
16/12/2022	22,84649722
17/12/2022	24,21356663
18/12/2022	18,5883102
19/12/2022	8,891937417
20/12/2022	14,31963144
21/12/2022	22,59181791
22/12/2022	30,61215444
23/12/2022	19,19498925
24/12/2022	20,92280125
25/12/2022	25,64469372

26/12/2022	27,45196525
27/12/2022	19,28845583
28/12/2022	22,38146125
29/12/2022	29,60428632
30/12/2022	24,32845497
31/12/2022	26,24261944
1/1/2023	31,89478437
2/1/2023	27,25570271
3/1/2023	23,04699694
4/1/2023	21,44152405
5/1/2023	32,09628904
6/1/2023	23,48911507
7/1/2023	27,89072728
8/1/2023	24,52043452
9/1/2023	19,1442711
10/1/2023	23,029237
11/1/2023	17,88882139
12/1/2023	21,40481992
13/1/2023	25,45741199
14/1/2023	32,34045118
15/1/2023	28,11509242
16/1/2023	16,31999835
17/1/2023	10,21602708
18/1/2023	7,544684653
19/1/2023	8,6671295
20/1/2023	8,739108786
21/1/2023	10,73877533
22/1/2023	13,23025795
23/1/2023	18,59670842
24/1/2023	18,69337028
25/1/2023	30,7478281
26/1/2023	19,23082722
27/1/2023	20,83653662
28/1/2023	18,52105254
29/1/2023	28,77494129
30/1/2023	19,63992243
31/1/2023	18,10210197
1/2/2023	15,88149828
2/2/2023	23,79413423
3/2/2023	15,36948672
4/2/2023	14,64533052

5/2/2023	29,08548331
6/2/2023	9,417649569
7/2/2023	5,174674649
8/2/2023	7,131224622
9/2/2023	13,46155389
10/2/2023	15,4878123
11/2/2023	22,01028139
12/2/2023	27,00618888
13/2/2023	8,641299722
14/2/2023	20,37268758
15/2/2023	25,95346427
16/2/2023	30,67426143
17/2/2023	17,85361075
18/2/2023	17,35612034
19/2/2023	17,69462909
20/2/2023	16,90074983
21/2/2023	24,59957541
22/2/2023	16,97015719
23/2/2023	16,46571998
24/2/2023	16,90833717
25/2/2023	17,97547941
26/2/2023	13,27057421
27/2/2023	15,02117976
28/2/2023	13,99542188

Πίνακας 11: Κουκούλι

Date	Average PM _{2.5} per day
1/12/2022	14,45873333
2/12/2022	16,91125117
3/12/2022	19,25361188
4/12/2022	17,64913142
5/12/2022	16,99214837
6/12/2022	25,1043947
7/12/2022	19,01223722
8/12/2022	25,04799492
9/12/2022	21,999248
10/12/2022	20,56407483
11/12/2022	5,267848417
12/12/2022	8,968569188
13/12/2022	14,01541431

14/12/2022	34,63663415
15/12/2022	13,67183667
16/12/2022	16,00102554
17/12/2022	15,76003729
18/12/2022	8,306507097
19/12/2022	10,20878549
20/12/2022	8,079454514
21/12/2022	11,27219889
22/12/2022	18,60966365
23/12/2022	9,775139958
24/12/2022	9,779613056
25/12/2022	10,83202417
26/12/2022	12,26901433
27/12/2022	8,277408194
28/12/2022	11,80761524
29/12/2022	13,87716446
30/12/2022	12,04044292
31/12/2022	18,54018515
1/1/2023	17,657625
2/1/2023	11,36020771
3/1/2023	8,17485625
4/1/2023	11,72200242
5/1/2023	16,97390875
6/1/2023	10,28484146
7/1/2023	12,67643885
8/1/2023	12,59968458
9/1/2023	8,962760694
10/1/2023	8,466539404
11/1/2023	7,452521875
12/1/2023	12,24274826
13/1/2023	10,07495147
14/1/2023	12,62629139
15/1/2023	12,09931457
16/1/2023	6,384442188
17/1/2023	3,121750913
18/1/2023	3,55401309
19/1/2023	5,385851442
20/1/2023	3,475112525
21/1/2023	5,086805754
22/1/2023	14,35949425
23/1/2023	11,11127325

24/1/2023	10,89524365
25/1/2023	22,06792828
26/1/2023	12,46676241
27/1/2023	9,361972963
28/1/2023	8,143058485
29/1/2023	18,04843947
30/1/2023	10,9949569
31/1/2023	8,149092069
1/2/2023	4,850068472
2/2/2023	15,16838159
3/2/2023	5,549765396
4/2/2023	8,59694387
5/2/2023	11,21759416
6/2/2023	7,970664792
7/2/2023	9,718859667
8/2/2023	6,568865871
9/2/2023	8,376632708
10/2/2023	10,5511166
11/2/2023	12,42928738
12/2/2023	17,24277732
13/2/2023	8,991358368
14/2/2023	8,517917938
15/2/2023	13,9299449
16/2/2023	14,34423538
17/2/2023	10,71290663
18/2/2023	12,64647387
19/2/2023	10,00588781
20/2/2023	10,01426667
21/2/2023	14,01939158
22/2/2023	10,79587403
23/2/2023	11,30250083
24/2/2023	12,79333813
25/2/2023	11,86158003
26/2/2023	10,35116131
27/2/2023	13,40802058
28/2/2023	9,672497816

Πίνακας 12: Κρητικά

Date	Average PM _{2.5} per day
1/12/2022	10,96088232
2/12/2022	9,97837808
3/12/2022	24,00764907
4/12/2022	20,50845769
5/12/2022	14,34304803
6/12/2022	14,72940177
7/12/2022	14,14526242
8/12/2022	12,30327174
9/12/2022	18,06380644
10/12/2022	13,35105228
11/12/2022	7,380423819
12/12/2022	9,449993896
13/12/2022	13,01108242
14/12/2022	11,81365169
15/12/2022	10,20511837
16/12/2022	13,61402417
17/12/2022	12,90695785
18/12/2022	11,47350003
19/12/2022	10,46252384
20/12/2022	10,11299126
21/12/2022	11,76367258
22/12/2022	23,06372821
23/12/2022	16,6334445
24/12/2022	14,72587307
25/12/2022	16,50213607
26/12/2022	19,02344906
27/12/2022	15,62495226
28/12/2022	16,22349281
29/12/2022	41,07400225
30/12/2022	20,19220026
31/12/2022	18,47956511
1/1/2023	19,65594543
2/1/2023	15,14093742
3/1/2023	15,74139746
4/1/2023	17,30044329
5/1/2023	29,7100974
6/1/2023	14,52379675
7/1/2023	12,82042842

8/1/2023	20,32192665
9/1/2023	12,06505229
10/1/2023	11,10820653
11/1/2023	9,212081004
12/1/2023	14,79390233
13/1/2023	13,17986011
14/1/2023	14,89917033
15/1/2023	16,29610838
16/1/2023	10,07497723
17/1/2023	5,6189725
18/1/2023	5,576804792
19/1/2023	4,991675521
20/1/2023	5,992126319
21/1/2023	8,034944965
22/1/2023	44,68227144
23/1/2023	8,445067386
24/1/2023	9,603250611
25/1/2023	9,874171583
26/1/2023	10,10540942
27/1/2023	12,00010346
28/1/2023	9,553855796
29/1/2023	17,18234271
30/1/2023	11,93574321
31/1/2023	10,18044156
1/2/2023	8,80899
2/2/2023	9,590406426
3/2/2023	8,168720566
4/2/2023	10,5908033
5/2/2023	9,369117383
6/2/2023	10,06979392
7/2/2023	7,307952309
8/2/2023	7,331289215
9/2/2023	6,942475747
10/2/2023	14,02651179
11/2/2023	18,51601334
12/2/2023	20,17299486
13/2/2023	12,88613042
14/2/2023	20,39484302
15/2/2023	20,71574635
16/2/2023	35,91826542
17/2/2023	18,29496815

18/2/2023	14,85145625
19/2/2023	16,97956052
20/2/2023	16,74164107
21/2/2023	21,92706354
22/2/2023	17,15034083
23/2/2023	15,20396225
24/2/2023	16,59618
25/2/2023	13,96367785
26/2/2023	11,68621448
27/2/2023	13,19020157
28/2/2023	13,53386958

Πίνακας 13: Κυψέλη

Date	Average PM _{2.5} per day
1/12/2022	9,806662917
2/12/2022	14,77428222
3/12/2022	16,28718736
4/12/2022	23,14303459
5/12/2022	15,63385759
6/12/2022	16,63063867
7/12/2022	17,68552875
8/12/2022	19,57229753
9/12/2022	22,16753353
10/12/2022	21,03037568
11/12/2022	8,734475382
12/12/2022	13,30040087
13/12/2022	20,14533872
14/12/2022	18,03636304
15/12/2022	14,4301462
16/12/2022	16,41626821
17/12/2022	21,69476825
18/12/2022	15,15840975
19/12/2022	13,0211084
20/12/2022	14,50357423
21/12/2022	17,01487375
22/12/2022	16,98642417
23/12/2022	19,52450342
24/12/2022	15,86173011
25/12/2022	16,74842788

26/12/2022	22,56770021
27/12/2022	22,45924841
28/12/2022	19,59371172
29/12/2022	22,41769161
30/12/2022	17,67104114
31/12/2022	29,55561453
1/1/2023	24,62721897
2/1/2023	25,64005228
3/1/2023	15,79588361
4/1/2023	17,16761608
5/1/2023	20,55612064
6/1/2023	22,22198348
7/1/2023	20,08050263
8/1/2023	22,91685482
9/1/2023	16,90777377
10/1/2023	12,96366863
11/1/2023	18,27394287
12/1/2023	22,72029739
13/1/2023	22,54591241
14/1/2023	17,21022276
15/1/2023	27,59521067
16/1/2023	15,90327299
17/1/2023	5,334485208
18/1/2023	5,37812
19/1/2023	6,124477743
20/1/2023	7,237560625
21/1/2023	11,72521153
22/1/2023	26,07571597
23/1/2023	19,83240783
24/1/2023	22,05577094
25/1/2023	32,94306125
26/1/2023	20,1917194
27/1/2023	22,80574896
28/1/2023	22,1283657
29/1/2023	32,03967227
30/1/2023	22,37905719
31/1/2023	13,66881889
1/2/2023	15,4341081
2/2/2023	31,90145153
3/2/2023	20,27438882
4/2/2023	17,56410923

5/2/2023	20,31963108
6/2/2023	18,47131236
7/2/2023	14,26334726
8/2/2023	14,85861302
9/2/2023	16,6184155
10/2/2023	13,99143917
11/2/2023	19,46074227
12/2/2023	31,76659298
13/2/2023	16,33823883
14/2/2023	17,98987567
15/2/2023	25,14450391
16/2/2023	33,11074188
17/2/2023	26,05674319
18/2/2023	19,74879455
19/2/2023	16,87840323
20/2/2023	16,74598292
21/2/2023	22,48877563
22/2/2023	19,15542667
23/2/2023	18,05206771
24/2/2023	17,13513042
25/2/2023	17,10903257
26/2/2023	14,62413903
27/2/2023	13,28069198
28/2/2023	14,03117292

Πίνακας 14: Λεύκα

Date	Average PM_{2.5} per day
1/12/2022	14,61659495
2/12/2022	26,99293438
3/12/2022	38,19041875
4/12/2022	39,60396667
5/12/2022	34,72390986
6/12/2022	40,7406134
7/12/2022	45,83920792
8/12/2022	46,59313067
9/12/2022	43,01215292
10/12/2022	38,62135625
11/12/2022	6,19665625
12/12/2022	11,8538409
13/12/2022	22,5502066

14/12/2022	29,76652323
15/12/2022	24,76523517
16/12/2022	37,11202743
17/12/2022	37,76300313
18/12/2022	24,97726542
19/12/2022	11,59300969
20/12/2022	19,25569758
21/12/2022	35,97211
22/12/2022	43,90198417
23/12/2022	27,59376917
24/12/2022	31,19477333
25/12/2022	35,82279854
26/12/2022	33,41055625
27/12/2022	30,60315667
28/12/2022	28,484
29/12/2022	36,14890958
30/12/2022	33,43529542
31/12/2022	45,686885
1/1/2023	45,72195208
2/1/2023	37,36215615
3/1/2023	31,8579475
4/1/2023	39,68467375
5/1/2023	44,8306399
6/1/2023	32,66595896
7/1/2023	42,52084625
8/1/2023	37,96307552
9/1/2023	19,81576656
10/1/2023	14,52380134
11/1/2023	22,93423239
12/1/2023	29,52867271
13/1/2023	36,57918646
14/1/2023	39,61123719
15/1/2023	44,49262375
16/1/2023	18,78023469
17/1/2023	4,829801979
18/1/2023	4,5942075
19/1/2023	7,085582215
20/1/2023	4,255939597
21/1/2023	5,67918441
22/1/2023	14,90653726
23/1/2023	18,08570076

24/1/2023	23,4530283
25/1/2023	26,69344375
26/1/2023	20,57706775
27/1/2023	20,57404555
28/1/2023	24,59407708
29/1/2023	37,24425208
30/1/2023	25,62753212
31/1/2023	13,74739802
1/2/2023	18,69561441
2/2/2023	32,58062458
3/2/2023	28,76150717
4/2/2023	16,78791656
5/2/2023	17,85350547
6/2/2023	15,61797885
7/2/2023	7,682726792
8/2/2023	9,07540941
9/2/2023	13,46159507
10/2/2023	20,99043
11/2/2023	36,46379073
12/2/2023	36,79121208
13/2/2023	16,4444217
14/2/2023	20,93897696
15/2/2023	36,14304708
16/2/2023	42,25457938
17/2/2023	26,136795
18/2/2023	20,77997889
19/2/2023	14,37203792
20/2/2023	25,53767934
21/2/2023	26,94594906
22/2/2023	20,53047823
23/2/2023	21,23000826
24/2/2023	21,07237375
25/2/2023	21,26849333
26/2/2023	13,80929625
27/2/2023	15,57766965
28/2/2023	16,19025656

Πίνακας 15: Παραλία

Date	Average PM _{2.5} per day
1/12/2022	12,32820319
2/12/2022	18,57404288
3/12/2022	27,05992
4/12/2022	31,49639808
5/12/2022	28,33871792
6/12/2022	25,82793167
7/12/2022	30,58900597
8/12/2022	30,135356
9/12/2022	31,7790225
10/12/2022	27,83717667
11/12/2022	6,564215313
12/12/2022	10,43705427
13/12/2022	19,03149774
14/12/2022	13,23653924
15/12/2022	15,89141417
16/12/2022	28,12814538
17/12/2022	26,77054146
18/12/2022	16,58657206
19/12/2022	12,52732196
20/12/2022	16,18297535
21/12/2022	29,19699002
22/12/2022	33,78784235
23/12/2022	24,44852552
24/12/2022	30,7384725
25/12/2022	22,31014
26/12/2022	24,31113375
27/12/2022	22,03490462
28/12/2022	27,26655067
29/12/2022	26,95010458
30/12/2022	23,08286125
31/12/2022	30,4645275
1/1/2023	29,189425
2/1/2023	22,39104104
3/1/2023	26,13335479
4/1/2023	21,26220719
5/1/2023	37,20856375
6/1/2023	18,415935
7/1/2023	34,23247583

8/1/2023	29,24241135
9/1/2023	31,15054938
10/1/2023	15,92070479
11/1/2023	15,4974679
12/1/2023	27,45323031
13/1/2023	28,61404469
14/1/2023	29,40450583
15/1/2023	32,6967925
16/1/2023	20,8196176
17/1/2023	5,940064396
18/1/2023	5,285042167
19/1/2023	8,048119743
20/1/2023	8,240682986
21/1/2023	9,230357326
22/1/2023	13,11047191
23/1/2023	21,13330438
24/1/2023	20,01640333
25/1/2023	22,94702479
26/1/2023	15,84590182
27/1/2023	18,8782422
28/1/2023	17,96103502
29/1/2023	25,44173875
30/1/2023	20,64615906
31/1/2023	10,46030108
1/2/2023	17,28858612
2/2/2023	23,42958292
3/2/2023	19,13274667
4/2/2023	16,00688913
5/2/2023	13,86848878
6/2/2023	13,72325969
7/2/2023	8,047080972
8/2/2023	8,566044493
9/2/2023	12,73534799
10/2/2023	13,95887021
11/2/2023	22,48616958
12/2/2023	33,66654406
13/2/2023	16,17521458
14/2/2023	21,66657254
15/2/2023	27,48692073
16/2/2023	31,24246455
17/2/2023	27,51754865

18/2/2023	19,71350667
19/2/2023	15,18808625
20/2/2023	17,59138155
21/2/2023	24,26319823
22/2/2023	20,29619377
23/2/2023	18,84152888
24/2/2023	17,67649175
25/2/2023	17,41824174
26/2/2023	11,58432292
27/2/2023	7,144589444
28/2/2023	13,5815807

Πίνακας 16: Πειραματικό Λάγγουρα

Date	Average PM _{2.5} per day
7/12/2022	34,64239438
8/12/2022	29,34139378
9/12/2022	32,46771653
10/12/2022	27,44142875
11/12/2022	7,557273521
12/12/2022	9,656730243
13/12/2022	18,24701586
14/12/2022	22,9176122
15/12/2022	24,12960941
16/12/2022	24,09959531
17/12/2022	21,27663667
18/12/2022	8,25604925
19/12/2022	14,36247663
20/12/2022	13,23073701
21/12/2022	17,22734545
22/12/2022	27,94051806
23/12/2022	17,98792948
24/12/2022	20,51179188
25/12/2022	25,39073646
26/12/2022	20,74927125
27/12/2022	16,8841391
28/12/2022	21,40394678
29/12/2022	19,74051875
30/12/2022	18,082175
31/12/2022	30,18584656

1/1/2023	36,45356708
2/1/2023	21,14998538
3/1/2023	17,76005833
4/1/2023	21,13915448
5/1/2023	34,9824551
6/1/2023	19,54073875
7/1/2023	27,00785167
8/1/2023	20,94418917
9/1/2023	13,35032302
10/1/2023	10,11572596
11/1/2023	15,60360129
12/1/2023	21,37254833
13/1/2023	19,26790986
14/1/2023	24,64312333
15/1/2023	24,09258573
16/1/2023	12,17944906
17/1/2023	4,282850174
18/1/2023	4,578876042
19/1/2023	4,514124111
20/1/2023	6,549615439
21/1/2023	10,0348588
22/1/2023	21,73083591
23/1/2023	16,36942506
24/1/2023	10,57986518
26/1/2023	25,64033273
27/1/2023	20,90142623
28/1/2023	17,59784691
29/1/2023	33,84264292
30/1/2023	22,69737271
31/1/2023	10,06162191
1/2/2023	8,992332194
2/2/2023	25,68297674
3/2/2023	12,63524692
4/2/2023	5,934777792
6/2/2023	9,548715064
7/2/2023	6,162492319
8/2/2023	5,963227047
9/2/2023	8,380883701
10/2/2023	18,31915708
11/2/2023	22,31106337
12/2/2023	22,38156115

13/2/2023	17,58499344
14/2/2023	15,81291208
15/2/2023	26,072605
16/2/2023	29,81823111
17/2/2023	19,38758021
18/2/2023	14,84808458
19/2/2023	15,85865193
20/2/2023	17,93476642
21/2/2023	20,10985431
22/2/2023	18,26624972
23/2/2023	17,18792908
24/2/2023	18,36188294
25/2/2023	16,96708083
26/2/2023	14,24873875
27/2/2023	13,65989681
28/2/2023	13,47849229

Πίνακας 17: Πλατάνι

Date	Average PM _{2.5} per day
8/12/2022	5,352885
9/12/2022	9,66373875
10/12/2022	9,064243194
11/12/2022	2,403905069
12/12/2022	2,962673872
13/12/2022	4,778597443
14/12/2022	5,515006029
15/12/2022	5,116502049
16/12/2022	6,242872049
17/12/2022	6,572259479
18/12/2022	5,385276042
19/12/2022	3,308171146
20/12/2022	1,879749342
21/12/2022	4,129992101
22/12/2022	7,374638125
23/12/2022	7,639089497
24/12/2022	5,265272222
25/12/2022	7,13504684
26/12/2022	6,336237222
27/12/2022	5,363657222

28/12/2022	9,504919688
29/12/2022	9,369764125
30/12/2022	8,358696667
31/12/2022	8,795366097
1/1/2023	6,1533175
2/1/2023	6,914664528
3/1/2023	7,0173765
4/1/2023	8,455063333
5/1/2023	8,961637
6/1/2023	5,755927667
7/1/2023	6,528263264
8/1/2023	8,878021854
9/1/2023	7,230786278
10/1/2023	3,758466076
11/1/2023	3,713208646
12/1/2023	8,194278528
13/1/2023	5,761747222
14/1/2023	8,570745674
15/1/2023	5,358848806
16/1/2023	5,807560773
17/1/2023	2,714155261
18/1/2023	3,755387292
19/1/2023	4,492998875
20/1/2023	2,691084075
21/1/2023	3,016898944
22/1/2023	3,400727508
23/1/2023	4,324303556
24/1/2023	5,326105806
25/1/2023	4,100653465
26/1/2023	3,512309308
27/1/2023	4,646595427
28/1/2023	5,845782725
29/1/2023	4,909244688
30/1/2023	5,133068958
31/1/2023	3,869799715
1/2/2023	3,4673566
2/2/2023	4,60908169
3/2/2023	3,235940309
4/2/2023	3,133939875
5/2/2023	5,538779378
6/2/2023	3,259139767

7/2/2023	3,216159257
8/2/2023	2,677089233
9/2/2023	2,380614028
10/2/2023	2,488321326
11/2/2023	5,002046896
12/2/2023	7,252712417
13/2/2023	5,157190667
14/2/2023	7,406136521
15/2/2023	9,310685636
16/2/2023	12,03636367
17/2/2023	7,793824132
18/2/2023	5,789125
19/2/2023	7,117971591
20/2/2023	7,448897917
21/2/2023	11,09614642
22/2/2023	7,910340833
23/2/2023	8,166620799
24/2/2023	8,028359521
25/2/2023	10,04444075
26/2/2023	7,775454917
27/2/2023	8,104949583
28/2/2023	9,108386847

Πίνακας 18 :Τριών Ναυάργων

Date	Average PM_{2.5} per day
1/12/2022	12,58619536
2/12/2022	21,90010917
3/12/2022	39,71560792
4/12/2022	35,33762125
5/12/2022	21,07525551
6/12/2022	16,70109493
7/12/2022	18,75650359
8/12/2022	21,2584126
9/12/2022	28,66104847
10/12/2022	28,30196281
11/12/2022	8,743756458
12/12/2022	11,02930313
13/12/2022	16,86133232
14/12/2022	12,94157409
15/12/2022	25,68797493

16/12/2022	22,86976735
17/12/2022	28,39532225
18/12/2022	22,16138356
19/12/2022	13,33099926
20/12/2022	11,32121844
21/12/2022	24,11924188
22/12/2022	37,61652545
23/12/2022	27,33067708
24/12/2022	29,78813296
25/12/2022	31,7121234
26/12/2022	25,15876569
27/12/2022	23,4759304
28/12/2022	27,96718356
29/12/2022	31,61203998
30/12/2022	30,19200997
31/12/2022	37,33365949
1/1/2023	30,6892651
2/1/2023	29,96997546
3/1/2023	23,71657925
4/1/2023	32,4448554
5/1/2023	43,67500856
6/1/2023	28,75684991
7/1/2023	30,61418144
8/1/2023	33,07396353
9/1/2023	14,8538591
10/1/2023	11,38707884
11/1/2023	13,86601167
12/1/2023	26,33009453
13/1/2023	29,33491976
14/1/2023	32,05649428
15/1/2023	31,13785578
16/1/2023	14,47170435
17/1/2023	6,219756007
18/1/2023	7,097050306
19/1/2023	7,367801944
20/1/2023	9,333990625
21/1/2023	15,46311747
22/1/2023	17,55458354
23/1/2023	15,26068913
24/1/2023	28,47343321
25/1/2023	28,22026817

26/1/2023	12,73946644
27/1/2023	26,1650251
28/1/2023	26,45430207
29/1/2023	35,87943559
30/1/2023	30,06256373
31/1/2023	11,56003894
1/2/2023	17,5936394
2/2/2023	37,84775215
3/2/2023	22,61453728
4/2/2023	19,35075924
5/2/2023	9,544834903
6/2/2023	13,42424108
7/2/2023	8,071377049
8/2/2023	5,981183368
9/2/2023	8,980429764
10/2/2023	19,83606953
11/2/2023	30,57061542
12/2/2023	24,88370293
13/2/2023	15,55476574
14/2/2023	25,5670179
15/2/2023	26,18914236
16/2/2023	43,08162938
17/2/2023	27,70172229
18/2/2023	27,96426823
19/2/2023	20,78088238
20/2/2023	23,82531669
21/2/2023	28,90951226
22/2/2023	23,81719833
23/2/2023	22,83608291
24/2/2023	23,765013
25/2/2023	26,77222525
26/2/2023	26,92885925
27/2/2023	17,44577078
28/2/2023	18,36414516

Πίνακας 19: Πανεπιστήμιο Πατρών

Date	Average PM _{2.5} per day
6/12/2022	6,3388315
7/12/2022	5,671369649
8/12/2022	6,248125694

9/12/2022	9,975485889
10/12/2022	10,50542619
11/12/2022	3,039269549
12/12/2022	3,358574257
13/12/2022	6,085713104
14/12/2022	5,357777708
15/12/2022	5,305203236
16/12/2022	6,398667792
17/12/2022	9,106758715
18/12/2022	4,981915771
19/12/2022	3,465867622
20/12/2022	1,834660427
21/12/2022	4,820367632
22/12/2022	8,5885125
23/12/2022	6,892035521
24/12/2022	6,017250965
25/12/2022	7,149782083
26/12/2022	6,918524688
27/12/2022	7,2996375
28/12/2022	10,34430694
29/12/2022	10,20177576
30/12/2022	9,908902569
31/12/2022	8,288408889
1/1/2023	5,799189882
2/1/2023	5,942754535
3/1/2023	7,103513444
4/1/2023	9,118107708
5/1/2023	12,29797272
6/1/2023	7,714560653
7/1/2023	6,910476389
8/1/2023	8,595213785
9/1/2023	7,913891632
10/1/2023	2,407332892
11/1/2023	2,6735195
12/1/2023	7,371158444
13/1/2023	5,749614326
14/1/2023	7,305530382
15/1/2023	5,81529467
16/1/2023	5,795425486
17/1/2023	3,360028993
18/1/2023	3,585483219

19/1/2023	3,836327757
20/1/2023	1,65927795
21/1/2023	1,775296854
22/1/2023	3,296188243
23/1/2023	3,322349549
24/1/2023	4,116576111
25/1/2023	3,449860576
26/1/2023	2,845749688
27/1/2023	2,713332917
28/1/2023	3,796779075
29/1/2023	5,013904215
30/1/2023	6,699895438
31/1/2023	4,245348208
1/2/2023	3,408226556
2/2/2023	4,776998719
3/2/2023	3,133336861
4/2/2023	2,889988667
5/2/2023	2,048711932
6/2/2023	3,030342556
7/2/2023	2,700817701
8/2/2023	2,710685682
9/2/2023	2,381690813
10/2/2023	2,288209361
11/2/2023	6,150066632
12/2/2023	7,533541528
13/2/2023	5,150968056
14/2/2023	7,985251674
15/2/2023	11,48065617
16/2/2023	13,54771889
17/2/2023	10,2529251
18/2/2023	7,029167708
19/2/2023	9,154095729
20/2/2023	8,563366944
21/2/2023	13,69611704
22/2/2023	9,456130903
23/2/2023	9,127137757
24/2/2023	10,32555813
25/2/2023	10,14110973
26/2/2023	9,165270646
27/2/2023	8,436254868
28/2/2023	10,02556593

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Βερούκιος Ξ., (2003). Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους, Τόμος Α', ΕΑΠ
- Γεντενάκης Ι., Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, έλεγχος και εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα
- Ζάνης Π. , (2014). Σημειώσεις για τη ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογία – Κλιματολογία, ΑΠΘ.
- Καλδέλλης Ι. και Χαλβατζής Κ. (2005). Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη, Αειφορία και Ανάπτυξη, Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Τόμος 1, Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη
- Καραθανάσης Σ. ,(2006). Ατμοσφαιρική ρύπανση: Ορισμός, επιπτώσεις, πηγές από βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες, τεχνολογία αντιμετώπισης, νομοθεσία. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μαραζιώτης Ε., (2009), Ατμοσφαιρική ρύπανση. Διαχείριση και Τεχνολογικός έλεγχος. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών μηχανικών
- Νέζου Χ., (2018), Αιωρούμενα σωματίδια – Υπεριώδης ακτινοβολία – Όζον. Οι επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία κα το περιβάλλον. Τρόποι αντιμετώπισής τους, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, ΕΑΠ
- Παρασχά Γ. Α. , (2014), Η Χωροχρονική Εξέλιξη της Φωτοχημικής Ρύπανσης στην Ελλάδα. Συγκρίσεις με άλλες Ευρωπαϊκές Πόλεις, Διπλωματική Εργασία του Μεταπτυχιακού «Διαχείριση Αποβλήτων» Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
- Σκούλλος Μιχαήλ, Σίσκος Παναγιώτης, (2010). Χημεία Περιβάλλοντος
- Σούλη Αντιγόνη, (2021). Αιωρούμενα σωματίδια και ποιότητα αέρα σε αστικές περιοχές: εφαρμογή στην πόλη της Ορεστιάδας
- Τσιούρης Σ. , (2004), Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και του όζοντος στη διαμόρφωση του κλίματος. Οι επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου
- Φυτιανός,Κ., Σαμαρά,Κ. ,(2009), Χημεία Περιβάλλοντος, University Studio Press.

Ξενογλώσση

- Brunekreef B., Holgate S.T. (2002), Air pollution and health
- Calderón-Garcidueñas, L., Calderón - Garcidueñas, A., Torres-Jardón, R., Avila- Ramírez, J., Kulesza, R.J., Angiulli, A.D. (2015), Air pollution and your brain: what do you need to know right now (Review), Primary health care research & development
- Choobari O.A., Zawar-Reza P., Sturman A. (2014), The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review, Atmospheric Research,
- Eleftheriadis K. Etal., Emission inventories for the three urban areas, for anthropogenic and natural sources, for the past decade (2000-2010).
- European Environment Agency,(2012), Particulate matter from natural sources and related reporting under the EU, Air Quality Directive in 2008 and 2009. EEA Technical Report
- Harrison R.M. and Yin J. ,(2020), Particulate Matter in the Atmosphere: Which Particles Properties are Responsible for its Effects on Health, Science of the Total Environment
- Holland H.D, (2006), The oxygenation of the atmosphere and oceans
- Jacobson Z.M., (2002), Atmospheric Pollution, History, Science and Regulation. Cambridge University Press
- Kassomenos P.A. ,Kelessis A., Petrakakis M., Zoumakis N., Christidis Th., Paschalidou A.K. (2012), Air Quality indices. Ecological Indicators.
- Lagzi I., Meszaros R., Gelybo G., and Leelossy A., (2013), Atmospheric Chemistry
- Ruchjana B.N., (2021), Application of the Ordinary Kriging method for prediction of the positive spread of Covid-19 in West Java
- Samara C., Kouras A., Kaidoglou K., Emmanouil-Nikoloussi E.N., Simou C., Bousnaki M., Kelessis A., (2015). Ultrastructural alterations in the mouse lung caused by real-life ambient PM₁₀ at urban traffic sites.
- PyKryge Developers (2022), PyKryge Documentation, Release 1.71.dev2
- Wallace J. & Hobbs P. (2006), Atmospheric Science: An Introductory Survey

Διαδικτυακή

- <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/kriging>
- <https://www.britannica.com/topic/evolution-of-the-atmosphere-1703862>
- <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AC%CF%84%CF%81%CE%B1>

- <https://acp.copernicus.org/articles/21/12463/2021/>
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-01155-5>
- <http://www.sfu.ca/geog/geog455spring04/group3/geostat.html>
- <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Patras>
- <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>
- <https://www.dccew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/particulate-matter-pm10-and-pm25>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9223652/>
- <https://www.eea.europa.eu/ims/health-impacts-of-exposure-to>
- <https://www.nature.com/articles/s41598-021-81935-9>
- <https://www.aspen.gov/302/Particulate-Matter-PM-25>