



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



«Μελέτη ετήσιας διακύμανσης μετρούμενων συγκεντρώσεων PM2.5 του δικτύου “Purple Air” για τον αστικό ιστό της Πάτρας»

«Study of annual variation of PM2.5 concentrations measured by the “Purple Air” network for the urban Patras’ area»

Όνοματεπώνυμο φοιτητή : Νίκου Γεώργιος

AM: 51204377

Επιβλέπων καθηγητής : Δρ. Μουστρής Κωνσταντίνος

Αιγάλεω, 2023

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Α/Α	Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
1	ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	
2	ΝΤΟΥΡΟΥ ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ	
3	ΤΣΙΤΣΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νίκου Γεώργιος του Αντωνίου, με αριθμό μητρώου 51204377 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Νίκου Γεώργιος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας , ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας μου , Καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Μουστρή και το Μέλος Ε.Δι.Π. κύριο Χρήστο Τσίτση για την βοήθεια και την σωστή καθοδήγηση τους που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Πανεπιστήμιο Πατρών για την διάθεση των δεδομένων των σημειακών σταθμών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους και συμφοιτητές για την στήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τίτλος : Μελέτη ετήσιας διακύμανσης μετρούμενων συγκεντρώσεων PM_{2.5} του δικτύου “Purple Air” για τον αστικό ιστό της Πάτρας.

Ονοματεπώνυμο Σπουδαστή : Γεώργιος Νίκου

Επιβλέπων καθηγητής : Μουστρήs Κωνσταντίνος , Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ

Η εμφάνιση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5}, είναι αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αποτελεί μεγάλο πρόβλημα τις τελευταίες δεκαετίες , ιδίως στις μεγαλουπόλεις όπου και εμφανίστηκε και αυτό οφείλεται κυρίως λόγω της αυξημένης ανθρώπινης δραστηριότητας σε αυτές τις περιοχές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και σχολιασμός των συγκεντρώσεων που καταγράφηκαν από ειδικούς σταθμούς μέτρησης στην ατμόσφαιρα της Πάτρας και της ευρύτερης περιοχής το ημερολογιακό έτος 2019. Η ανάλυση της σωματιδιακής ρύπανσης πραγματοποιήθηκε αρχικά με την δειγματοληψία των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} και έπειτα με τον κατάλληλο σχολιασμό τους , έπειτα από την κατασκευή ειδικών διαγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων που λήφθηκαν από τους σημειακούς σταθμούς. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) διαφορετικοί σταθμοί που είναι τοποθετημένοι τόσο αστικά όσο και περιαστικά της πόλης της Πάτρας με ημερήσιο-εβδομαδιαίο-μηνιαίο βήμα.

Στόχος της εργασίας είναι , η ανάδειξη του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ειδικά των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} στα μεγάλα αστικά κέντρα , η σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ σταθμών που βρίσκονται εντός και εκτός αστικού ιστού καθώς και σχολιασμός και συζήτηση των αποτελεσμάτων όπως και εισηγήσεις-προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Τέλος, κατά την διάρκεια της μελέτης οι ληφθήσες μετρήσεις συγκρίθηκαν με τα προτεινόμενα όρια που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή επιτροπή.

ABSTRACT

Title: Study of annual variation of measured PM_{2.5} concentrations of the "Purple Air" network for the urban area of Patras.

Student's name : Georgios Nikou

Supervising Professor: Moustris Konstantinos, Professor UNIWA

The occurrence of PM_{2.5} particulate matter, is a result of atmospheric pollution and is a major problem in the last decades, especially in megacities where it occurred and this is mainly due to the increased human activity in these areas.

In this thesis, an analysis of the content of particulate matter and commentary of the concentrations recorded by special measuring stations in the atmosphere of Patras and the wider region in the calendar year 2019 was carried out. The analysis of particulate pollution was carried out initially by sampling PM_{2.5} particulate matter and then by appropriate annotation of the particulate matter, followed by the construction of special diagrams used for the graphical representation of the measurements obtained from the point stations. For this purpose, six (6) different stations located both urban and suburban of the city of Patras were used with daily-weekly-monthly step.

The aim of the study is to highlight the problem of air pollution and especially PM_{2.5} in large urban centres, to compare the measurements between stations located inside and outside the urban area and to comment and discuss the results as well as to make suggestions and proposals for dealing with the problem.

Finally, during the study the measurements obtained were compared with the proposed limits established by the European Commission.

Περιεχόμενα

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	2
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	11
1.1 : Η Ποιότητα της Ατμόσφαιρας	11
1.2: Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης - Κύριοι ρυπαντές	13
1.3 Αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2,5}$	15
1.3.2 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.....	16
1.3.3 Διαχωρισμός αιωρούμενων σωματιδίων	17
1.3.4 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων	18
1.3.5 Νομοθεσία και αιωρούμενα σωματίδια.....	20
Κεφάλαιο 2 ^ο : Περιοχή Έρευνας – Σταθμοί Μέτρησης	22
2.1 Περιοχή έρευνας	22
2.2 Σταθμοί μέτρησης	24
Κεφάλαιο 3 ^ο : Μεθοδολογία Έρευνας.....	28
3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση	28
3.1.1. Δίκτυο Purple Air	29
3.1.2 Αισθητήρες - Όργανα μέτρησης Purple air	31
3.2 Στάδια Μεθοδολογίας.....	34
Κεφάλαιο 4 ^ο Αποτελέσματα – Σύγκριση-Συζήτηση	38
4.1.1 Σταθμός ID 741 – Λιμάνι Πάτρας (Σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας).....	38
4.1.2 Σταθμός ID 749 – ΑΓΥΙΑ (σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας).....	40
4.1.3 Σταθμός ID 1030 – Τριών ναυάρχων (Κέντρο) (Σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας) .	41
4.1.4 Σταθμός ID 1566 – Πανεπιστήμιο Πατρών (Περιαστικός σταθμός)	43
4.1.5 Σταθμός ID 1672 – Καστελλόκαμπος (Περιαστικός σταθμός)	45
4.1.6 Σταθμός ID 14852- Δεμένικα (Περιαστικός σταθμός).....	47
4.2 Συγκρίσεις μέσων συγκεντρώσεων $PM_{2,5}$ των Σταθμών.....	49
4.2.1 Σύγκριση μέσων ωριαίων μετρήσεων $PM_{2,5}$ των σταθμών	49
4.2.2 Σύγκριση μέσων ημερησίων τιμών $PM_{2,5}$ των σταθμών.....	50
4.2.3 Σύγκριση μέσων μηναίων τιμών $PM_{2,5}$ των σταθμών.....	51
4.2.4 Διερεύνηση οριακής τιμής για τα $PM_{2,5}$ στους σταθμούς αναφοράς.	52

Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα – Συζήτηση - Προτάσεις.....	53
5.1 Συμπεράσματα – Συζήτηση	53
5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες και περιοχές.....	55
5.3 Προτάσεις για βελτίωση.....	57
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αποτύπωση της διακύμανσης αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ σε μία μεγάλη πόλη όπως είναι η Πάτρα που βρίσκεται μέσα στις τέσσερις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας και αποτελεί πόλη-λιμάνι συγκεντρώνοντας αρκετό πληθυσμό και δραστηριότητες.

Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των μεγαλουπόλεων αποτελούσε και συνεχίζει να αποτελεί ανησυχία για την ανθρωπότητα σήμερα. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει τόσο από τους ρύπους όσο και από εκείνους που μεταφέρονται σε διάφορες χωροχρονικές κλίμακες. Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι νέο φαινόμενο. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές σε νομαδική ζωή ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων.

- Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα γεμίζοντας τον αέρα στις περιοχές κατοικίας με προϊόντα ατελούς καύσης.
- Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης.
- Η βιομηχανική επανάσταση τον 19^ο αιώνα οδήγησε στην εντατική χρήση του κάρβουνου κυρίως και σε μικρότερο βαθμό του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τον καπνό και την στάχτη. (Μελάς, 2017)

Η ατμοσφαιρική ρύπανση ήταν ανέκαθεν ένα μεγάλο πρόβλημα στον πλανήτη και όχι μόνο την σημερινή εποχή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα :

- Στην πόλη Donora των Ηνωμένων Πολιτειών ένα ξέσπασμα επεισοδίου ατμοσφαιρικής ρύπανσης προκάλεσε 20 θανάτους και 6,000 ασθένειες οι οποίες συνδέθηκαν με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόλις 14,000 κάτοικοι.
- Το μεγαλύτερο, όμως, επεισόδιο συνέβη στο Λονδίνο το 1952 όταν μια εβδομάδα υψηλών επιπέδων ρύπανσης είχε σαν αποτέλεσμα να συμβούν 4,000 θάνατοι. (Μελάς, 2017).

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονο στις μεγαλουπόλεις. Εκεί υπάρχουν συγκεντρωμένες βιομηχανικές δραστηριότητες και ένας τεράστιος αριθμός οχημάτων. Οι εκπομπές των καυσαερίων από τα αυτοκίνητα και τη βιομηχανία συνδυάζονται με κατάλληλες κλιματικές συνθήκες,

όπως η ηλιοφάνεια και η άπνοια, και σχηματίζουν το «νέφος». (Θεοδωρακάκης, 2013).

Έχουν καταβληθεί προσπάθειες για τη μείωση του φαινομένου, κυρίως με τη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών συστατικών (που δρουν ως πρωτογενείς ρύποι), οι οποίοι, με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, μετατρέπονται εν μέρει σε δευτερογενείς ρύπους, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο που είναι γνωστό ως φωτοχημικό νέφος. Παρά τις προσπάθειες αυτές, η διερεύνηση των μεγαλουπόλεων και η αύξηση του πληθυσμού τους δεν εξάλειψαν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς σε ορισμένες μεγαλουπόλεις ενισχύθηκε (Varotsos et al., 2021).

Όσο αναφορά τον Ελλαδικό χώρο, η βιομηχανική παραγωγή είναι αρκετά περιορισμένη και η κοινή πεποίθηση φαίνεται να είναι, πως το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται κυρίως στις μεγάλες πόλεις, όπου και κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος το πληθυσμού και λιγότερο για τις περιοχές με μικρότερο πληθυσμό αλλά με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Όμως, η πραγματικότητα είναι, ότι η αέρια ρύπανση από κινητές πηγές, η μικρής κλίμακας αλλά συνεχής από τις κατοικίες και τις επιχειρήσεις, καθώς και οι μηχανισμοί μεταφοράς αέριων ρύπων, έχουν ως αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική ρύπανση να μας αφορά όλους σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό (Ρεμουντάκη, 2010).

Η παρούσα διπλωματική εργασία, απαρτίζεται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την κατανόηση του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ορισμός, πηγές και επιπτώσεις) και ειδικότερα την ανάλυση των χαρακτηριστικών των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης που εξετάστηκε και μελετήθηκε, καθώς και μια μικρή αναφορά στους σταθμούς μέτρησης και τις περιοχές που είναι τοποθετημένοι αυτοί.

Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την μελέτη του φαινομένου, η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και η επεξεργασία τους.

Όσον αφορά το τέταρτο κεφάλαιο, αποτυπώνονται τα αποτελέσματα με την βοήθεια των διαγραμμάτων, καθώς παράλληλα πραγματοποιείται και ο σχολιασμός τους.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης και προτάσεις για βελτίωση του φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1.1 : Η Ποιότητα της Ατμόσφαιρας

Η Γη περιβάλλεται από ένα στρώμα αερίων, το οποίο ονομάζεται ατμόσφαιρα και συγκρατείται λόγω βαρύτητας. Η ατμόσφαιρα ξεκινάει από την επιφάνεια της Γης και φτάνει περίπου στα 1.600 Km, επιπλέον αποτελεί προστατευτικό στρώμα όπου συντηρεί τη ζωή στη γη . Επίσης, παράγει διοξείδιο του άνθρακα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την φωτοσύνθεση. Εξίσου σημαντική είναι η παροχή οξυγόνου για την αναπνοή και η προμήθεια αζώτου στους οργανισμούς για τη σύνθεση των δομικών τους μορίων. Η σύστασή της μεταβάλλεται με το ύψος και, για να τη μελετήσουμε καλύτερα, τη χωρίζουμε σε στρώματα. Κατά αυξανόμενο υψόμετρο αυτά είναι: τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα , μεσόσφαιρα και ιονόσφαιρα (θερμόσφαιρα) (ebooks.ebu.gr).

Η ατμόσφαιρα είναι ο λόγος που διατηρεί την ζωή στη γη, στην ουσία αποτελεί το προστατευτικό της σώμα. Συγκεκριμένα, είναι πηγή του διοξειδίου του άνθρακα για την φωτοσύνθεση και του οξυγόνου για την αναπνοή και προμηθεύει με άζωτο τους οργανισμούς για την σύνθεση των δομικών τους μορίων. Η ατμόσφαιρα, απορροφά ένα μεγάλο κομμάτι της υπεριώδους ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος, η οποία αποτελεί μέρος της κοσμικής ακτινοβολίας, δηλαδή σωματιδίων υψηλών ενεργειών που προέρχεται από το σύμπαν. Στην ουσία, κρατάει σταθερή την θερμοκρασία στη γη και κατόπιν συμβάλλει στην μείωση της διαφοράς των θερμοκρασιών που θα υπήρχαν μεταξύ ημέρας και νύχτας. (Ρεμουντάκη, 2010)(ζουριδάκης, 2016).

1.1.1 Στρώματα της ατμόσφαιρας

Η τροπόσφαιρα έρχεται πρώτη σε επαφή με το έδαφος, το πάχος της εκτιμάται στα 11-12 χλμ. Όσο αυξάνεται το υψόμετρο, η πίεση του αέρα ελαττώνεται. Η μέση θερμοκρασία του εδάφους (δηλ. περίπου 20°C), μεταβάλλεται και μπορεί να φτάσει έως και τους -55°C στο ανώτατο όριο.

Η τροπόπαυση είναι ένα πολύ λεπτό στρώμα, που χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα και η θερμοκρασία φθάνει ακόμη και τους -85°C.

Η στρατόσφαιρα είναι η περιοχή που λαμβάνει χώρα από τα 11-12 χλμ. έως και τα 30-40 χλμ.

Η μεσόσφαιρα εκτείνεται πάνω από την στρατόσφαιρα και μεταξύ 30-40 χλμ. έως 80 χλμ. Η θερμοκρασία στο σημείο αυτό αυξάνεται στο ύψος των 50-55 χλμ. και μειώνεται στο ύψος των 80 χλμ. Η χαμηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί ανήκει στην μεσόσφαιρα και έχει φθάσει έως τους -90°C

Στη θερμόσφαιρα ο αέρας είναι πολύ αραιός που σημαίνει ότι τα μόρια του αέρα είναι λιγότερα. Η θερμόσφαιρα εκτίθεται αρκετά στις ακτίνες του ηλίου και φτάνει έως και τους 1.500 °C ή και περισσότερους. (Ζουριδάκης, 2016).



Εικόνα 1.1: Στρώματα της Ατμόσφαιρας (<http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/atms1.htm>)

1.1.2 Χημική Σύσταση της ατμόσφαιρας

Η σύσταση της ατμόσφαιρας δεν είναι σταθερή. Πάντως, το κατώτερο στρώμα της, δηλαδή ο αέρας, αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο και σε μικρότερο βαθμό από άλλα συστατικά. (ebooks.ebu.gr).

Πίνακας 1.1: σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα (ebooks.ebu.gr).

ΠΙΝΑΚΑΣ. Σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα		
Συστατικό	Σύμβολο	Περιεκτικότητα % v/v
Άζωτο	N ₂	78,08
Οξυγόνο	O ₂	20,95
Αργό	Ar	0,93
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	0,03
Άλλα αέρια		0,01

1.2: Ορισμός Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης - Κύριοι ρυπαντές

Με τον όρο «ρύπανση» , εννοούμε την παρουσία ρύπων στο περιβάλλον (κάθε είδους) , σε τέτοια ποσότητα ή συγκέντρωση που θα είναι ικανή να γίνει επιβλαβής τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο για τους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα εξίσου και γενικά να καταστήσει ακατάλληλο το περιβάλλον για τις επιθυμητές χρήσεις του. Η ρύπανση πρακτικά είναι μια μορφή μόλυνσης, όπου αποτελείται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον η δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών (Θεοδωρακάκης, 2013). Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές και προκαλούν την μόλυνση του περιβαλλοντικού αέρα καλούνται ως ατμοσφαιρικοί ρυπαντές. Η ατμοσφαιρική ρύπανση γενικά , προκαλεί μία ανισοροπία στην ποιότητα της ατμόσφαιρας.

1.2.1 Πρωτογενείς και δευτερογενείς Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Κύριοι ρύποι, λέγονται αυτοί για τους οποίους έχουν θεσπιστεί νόμοι από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από τις Η.Π.Α. Πλέον, έχουν αναπτυχθεί εξελιγμένες μέθοδοι καταμέτρησης των ατμοσφαιρικών ρύπων με καινούργια και σύγχρονα μηχανήματα στα σημεία των εκπομπών και στον αέρα. Επιπλέον, έχουν θεσπιστεί όρια εκπομπών ρύπων και όρια στον ατμοσφαιρικό αέρα τα οποία λειτουργούν και ελέγχονται από δίκτυα παρακολούθησης ή αλλιώς σταθμοί (Ρεμουντάκη, 2010).

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- **Οι πρωτογενείς** ρύποι, είναι αυτοί που αποδίδονται απευθείας στην ατμόσφαιρα από τις πηγές τους. Παράδειγμα πρωτογενών ρύπων, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα από τα καυσαέρια των οχημάτων και το διοξείδιο του θείου από τις καύσεις γαιανθράκων (άνθρακας, λιγνίτης).
- **Δευτερογενείς** είναι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από μία σειρά χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών, το όζον αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα δευτερογενούς ρύπου. (Ζουριδάκης, 2016). **Τα PM_{2,5} με τα οποία θα ασχοληθούμε στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελούν δευτερογενή ρύπο**, καθώς προκύπτουν από τον χημικό μετασχηματισμό αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

1.2.2 Όρια και στόχοι

Όριο συναγερμού: Το όριο στο οποίο πάνω από αυτό, τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για τα κράτη μέλη.

Όριο ενημέρωσης: Πάνω από το όριο αυτό θα πρέπει να υπάρχει σωστή και έγκυρη πληροφόρηση, ιδίως για τις ευπαθής ομάδες του πληθυσμού .

Οριακή τιμή: η συγκέντρωση (ποσότητα ρύπου ανά μονάδα όγκου αέρα) ενός ρύπου στον ατμοσφαιρικό αέρα ή η εναπόθεσή του σε μια επιφάνεια σε μια δεδομένη χρονική στιγμή (ΓΓΠΠ, 2008).

Σκοπός των ορίων κοινού – συναγερμού είναι:

- α) Η λήψη μέτρων βάσει των καθορισμένων επιπέδων συγκεντρώσεων ρύπων.
- β) Ο καθορισμός των κύριων σταθμών ή των ομάδων σταθμών των οποίων οι μετρήσεις θα λαμβάνονται υπόψη για τη λήψη μέτρων.
- γ) Ο καθορισμός των σταδίων λήψης μέτρων σε συνάρτηση με τα επίπεδα συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων και τις μετεωρολογικές προβλέψεις και του περιεχομένου του κάθε σταδίου.
- δ) Ο καθορισμός των χωρικών ζωνών εφαρμογής των μέτρων σε συνάρτηση με τη θέση των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παρουσιάζουν υπερβάσεις και τις γεωμορφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες.
- ε) Ο καθορισμός των εμπλεκόμενων φορέων και υπηρεσιών και των διαδικασιών.
- στ) Ο καθορισμός των απαιτούμενων ενεργειών σε περιπτώσεις διασυνοριακής ρύπανσης. (ΓΓΠΠ, 2008).

1.3 Αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5}

1.3.1 Ορισμός

Ως αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter- PM) ορίζετε το σύνολο των σωματιδίων (στερεά ή υγρά) με διαστάσεις 0,0002-5000 μm, τα οποία βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Τα αιωρούμενα σωματίδια διαχωρίζονται σε σχήματα και μεγέθη και μπορεί να είναι είτε υγρής (σταγονίδια) είτε ξηρής μορφής (σκόνη), επίσης έχουν ιδιότητες φυσικές και χημικές . Η σκόνη, ο καπνός, η ομίχλη, η αχλύς, η ιπτάμενη τέφρα θεωρούνται αιωρούμενα σωματίδια (Λύτρα & Παπαθανασίου , 2012).

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα έχουν διαφορετικά μεγέθη και σχήματα. Για τον λόγο αυτόν, χαρακτηρίζονται από την <<αεροδυναμική τους διάμετρο>>, όπου εν συντομία αναφέρεται πολλές φορές ως διάμετρος, είναι πολύ μικρή και γι' αυτό την εκφράζουμε σε εκατομμυριοστά του μέτρου η μικρόμετρα (μm) : **1μm = 1 εκατομμυριοστό του μέτρου** (Λύτρα & Παπαθανασίου , 2012).

Σημαντικό χαρακτηριστικό των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η κατανομή μεγέθους(όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα). Η μονάδα μέτρησης του μεγέθους τους είναι το μικρόμετρο (μm), γνωστό και ως μικρό.

Τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες βάση του μεγέθους τους: α) Στα σωματίδια διαμέτρου 10 μm = PM₁₀ , β) στα 2.5 μm = PM_{2,5} και γ) στα 1 μm = PM₁ . Τα PM₁ , λόγω της μικρής διαμέτρου τους εισχωρούν πολύ πιο εύκολα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (Αλμπάνης, 2009).

Η διάμετρος των σωματιδίων έχει να κάνει και με το χρόνο παραμονής στον αέρα. Οι μετεωρολογικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραμονή των αιωρούμενων σωματιδίων στον αέρα , π.χ η βροχή μπορεί να απομακρύνει από την ατμόσφαιρα τα PM₁₀ σε μικρό χρονικό διάστημα, αντίθετα τα PM_{2,5} δεν απομακρύνονται εύκολα παραμένουν στην ατμόσφαιρα για ημέρες ή και εβδομάδες και με αυτό τον τρόπο καθίσταται πιο εύκολη η μετακίνηση τους από περιοχή σε περιοχή (Αλμπάνης, 2009).

Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη του 1 μm έχουν μικρό βεληνεκές εναπόθεσης από την πηγή που προέρχονται. Προέρχονται από συσσωμάτωση μικρότερων σωματιδίων, από προϊόντα καύσης, στάχτες, σκόνη και κονιορτοποιήσεις από οχήματα και πεζούς. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν οι σταγόνες βροχής, οι νιφάδες του χιονιού, η γύρη και τα έντομα.

Τα PM₁₀ με διάμετρο μικρότερη η ίσα των 10μm , εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στην ατμόσφαιρα ως στερεά από την επιφάνεια της γης και της θάλασσας, αφορούν επίσης συσσωματώματα που προέκυψαν από πήξη, συμπύκνωση (τα σωματίδια αυτά είναι κυρίως άμμος, αλουμίνια, θαλασσινό αλάτι και σωματίδια από φυτικούς

οργανισμούς). Συνήθως, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι της τάξης των $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα αιωρούμενα σωματίδια, ποικίλουν καθώς, καθορίζονται από την τοποθεσία, την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. (Αλμπάνης, 2009).

Παλαιότερα, δεν υπήρχε η δυνατότητα διαχωρισμού των σωματιδίων κατά μεγέθη από τα όργανα προσδιορισμού των συγκεντρώσεων τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Όμως η εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου και η εκτίμηση του χρόνου που αυτά παραμένουν στην ατμόσφαιρα (η συσχέτιση δηλαδή αυτών των δύο), δημιούργησε την ανάγκη να κατασκευαστούν συσκευές οι οποίες θα μας πληροφορούν για την συγκέντρωση ορισμένων τάξεων μεγεθών των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι συσκευές αυτές λαμβάνουν δείγματα και αποτελούνται από κατάλληλα στόμια που επιτρέπουν την κατακράτηση και άρα τον προσδιορισμό των σωματιδίων που έχουν, διάμετρο $> 10 \mu\text{m}$, όπου αφορούν τα PM_{10} ή μικρότερη των $2,5 \mu\text{m}$, όπου αφορούν τα $\text{PM}_{2,5}$.

1.3.2 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτές οι πηγές συμπεριλαμβάνουν, την βιομηχανική δραστηριότητα με ή χωρίς καύση (όπως βιομηχανίες τσιμέντου, γύψου), κίνηση οχημάτων ΜΕΚ και από αποτεφρώσεις απορριμμάτων. Αυτά τα σωματίδια έχουν πολλά μεγέθη και σχήματα και μπορεί να αποτελούνται από εκατοντάδες διαφορετικές χημικές ουσίες.

Ορισμένα σωματίδια εκπέμπονται άμεσα από κάποια πηγή, όπως βιομηχανίες, μη ασφαλισμένοι δρόμοι, χωράφια, καμινάδες ή πυρκαγιές. Σωματίδια που προκύπτουν από διάφορες χημικές αντιδράσεις, όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, είναι ρύποι που διαρρέουν απευθείας από σταθμούς παραγωγής ενέργειας και από τα αυτοκίνητα.

Τα λεπτά σωματίδια περιλαμβάνουν πρωτογενή σωματίδια από μεταλλουργικές διεργασίες και καύσεις υψηλής θερμοκρασίας, τα δευτερογενή σωματίδια από ατμοσφαιρικές αντιδράσεις και μια άγνωστη αλλά θεωρητικά μικρή ποσότητα λεπτών σωματιδίων που έχουν εναποτεθεί και ανασταλεί από τον άνεμο ή τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα σωματίδια της χονδροειδούς κατάστασης περιλαμβάνουν χονδροειδή σκόνη που φυσάει ο άνεμος και η οδική σκόνη, γύρη και σπόρια, καθώς και ορισμένα βιομηχανικά σωματίδια (Tucker, 2000).

Οι πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: **φυσικές** και **ανθρωπογενείς**.

Φυσικές πηγές

- Επιφάνεια ωκεανών: Σταγονίδια που περιέχουν διάφορα άλατα πχ χλωριούχο νάτριο (δημιουργούνται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας).
- Επιφάνεια εδαφών : Εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών. Όπως για παράδειγμα, οι μεγάλες ποσότητα μεταφοράς σκόνης στις χώρες τις Μεσογείου συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, και από τις ερημοποιημένες περιοχές της Αφρικής.
- Ηφαιστειακές εκρήξεις: περιλαμβάνουν πρωτογενή και δευτερογενή αερολύματα.
- Καύση βιογενούς ύλης (αιθάλη) (Ρεμουντάκη, 2010).

Ανθρωπογενείς πηγές

- Από την εκπομπή πρωτογενούς σωματιδιακής ύλης από ανθρώπινες δραστηριότητες (αιθάλη, σκόνη).
- Από τις Καύσεις ορυκτών καυσίμων όπως (SO_2 , NO_2), βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους.

1.3.3 Διαχωρισμός αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται βάσει του τρόπου σχηματισμού τους, την διάμετρο τους ή αλλιώς το μέγεθος και το πόσο εύκολα εισχωρούν στον ανθρώπινο οργανισμό (Αλμπάνης, 2009).

Α) Διαχωρισμός με βάση τον τρόπο σχηματισμού

Σκόνη: Μικρά στερεά σωματίδια που δημιουργούνται από μεγαλύτερα με διεργασίες σύγκρουσης, κοσκινίσματος η θραύσης . Μέγεθος : 1,0 έως 1000 μm

Καπνός: Μικρά στερεά σωματίδια που αποτελούνται από στερεά σωματίδια άνθρακα που προέρχονται από την ατελή καύση εξατμιζόμενων στερεών. Μέγεθος: 0.5 έως 1 μm .

Ιπτάμενη τέφρα: Μικρά, μη καύσιμα ορυκτά ή μεταλλικά σωματίδια που η βασική τους πηγή είναι η καύση του ορυκτού άνθρακα . Μέγεθος: 1 έως 1000 μm .

Ομίχλη: Υγρά σωματίδια ή σταγονίδια που προέρχονται από τη συμπύκνωση ατμών. Μέγεθος: 0.1 έως 10 μm (Βλυσίδης , 2015).

B) Διαχωρισμός με βάση το μέγεθος

Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2,5 μm, χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα σωματίδια. Ο σχηματισμός τους προκύπτει, από την επίδραση μηχανικών δυνάμεων, όπως η τριβή και η σύνθλιψη. Τα σωματίδια αυτά εμφανίζονται κυρίως σε μορφή σκόνης ή χύματος και οι κύριες πηγές τους είναι συνήθως, είτε από τον άνεμο του είτε από άλλες μηχανικές δράσεις. Στην κατηγορία χονδρόκοκκων σωματιδίων μπορεί να συμπεριληφθεί και η γύρη (Αλμπάνης, 2009).

Λεπτόκοκκα σωματίδια ονομάζονται τα σωματίδια με διάμετρο έως 2,5 μm. Η προέλευση τους δεν είναι συγκεκριμένη, καθώς προκύπτει από διάφορες πηγές όπως (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καυσαέρια αυτοκινήτων και από οικιακές εστίες) (ec.europa.eu, 2010) .

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια, χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: Στους πυρήνες αιτκεν με διάμετρο 0,01 - 0,08 μm και στην περιοχή συσσώρευσης με διάμετρο από 0,08 μm έως 2 μm. Τα σωματίδια συσσώρευσης προκαλούνται από συμπυκνώσεις επιπρόσθετου υλικού στις συσσωματώσεις αυτές και από χημικές αντιδράσεις που γίνονται στα σύννεφα (Αλμπάνης, 2009).

Υπάρχει και η κατηγορία των υπό μικρών σωματιδίων , που αφορά σωματίδια και έχουν διάμετρο μικρότερη των 0,01 ή 10 μm.

1.3.4 Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Τα σωματίδια με μικρή διάμετρο, έχουν την ικανότητα να διεισδύουν εύκολα στο αναπνευστικό σύστημα δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα κυρίως σε ευπαθής κοινωνικές ομάδες (π.χ. ηλικιωμένους, παιδιά και άτομα που πάσχουν από άσθμα). Επιπρόσθετα, προκαλούν σημαντικές φθορές στο περιβάλλον αλλά και σε μνημεία και αγάλματα και προσβάλλουν την χλωρίδα και την πανίδα.

1.3.4.1 Επιπτώσεις στην δημόσια υγεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια συνδέονται με μια ευρεία ποικιλία επιπτώσεων στην υγεία με βάση το καρδιαγγειακό και το αναπνευστικό σύστημα, με τις αντιδράσεις στην έκθεση να είναι τόσο οξείες (π.χ. αυξημένες εισαγωγές σε νοσοκομεία για αναπνευστικές παθήσεις ή πρόωρη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές παθήσεις) όσο και χρόνιες (μειωμένη μακροζωία σε πόλεις με υψηλότερα επίπεδα PM₁₀), υπάρχουν επίσης ενδείξεις για αναπαραγωγικές και αναπτυξιακές επιπτώσεις. (Russell & Brunekreef, 2009).

Τα σωματίδια στο εύρος μεγέθους 2,5μm έχουν την δυνατότητα να εισχωρούν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα , φτάνοντας στους πνεύμονες (Βλυσίδης , 2015).

Η έκθεση σε λεπτά σωματίδια μπορεί να προκαλέσει βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία, όπως ερεθισμό των ματιών, της μύτης, του λαιμού και των πνευμόνων, βήχας, φτάρνισμα, ρινική καταρροή και δύσπνοια. Η συνεχής έκθεση σε λεπτά σωματίδια μπορεί να προσβάλλει τη λειτουργία των πνευμόνων και να επιδεινώσει τις ιατρικές παθήσεις όπως το άσθμα και οι καρδιακές παθήσεις. Οι Ευπαθείς κοινωνικές ομάδες με αναπνευστικά και καρδιακά προβλήματα, όπως είναι τα παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στα PM_{2,5} (www.health.ny.gov, 2018).

Επιπτώσεις στην υγεία βάσει μεγέθους:

- Μεγαλύτερα από 11μm: δεν προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα.
- Από 7 έως 11 μm : εισέρχονται στη ρινική κοιλότητα.
- 4,7 - 7μm: εισχωρούν στο φάρυγγα.
- 2,1 - 3,3 μm: εισχωρούν στο μέσο των βρόγχων.
- 1,1 - 2,1 μm: εισχωρούν στα τελευταία τμήματα των βρόγχων.
- 0,65 - 1,1 μm: εισχωρούν στα βρογχιόλια.
- 0,43 - 0,65 μm: εισχωρούν στις κυψελίδες των πνευμόνων (Ρεμουντάκη, 2010).

Όπως είναι κατανοητό, τα αιωρούμενα σωματίδια είναι αρκετά επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου. Η Ευρωπαϊκή επιτροπή, εκτιμά ότι τα επίπεδα PM_{2,5} , είναι υπεύθυνα για την απώλεια 3.000.000 έτη ζωής στην Ευρώπη και έχουν κοστίσει περίπου 288.000 πρόωρους θανάτους ανά έτος, κυρίως λόγω αναπνευστικών και καρδιακών προβλημάτων (Ρεμουντάκη, 2010).

1.3.4.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν επηρεάζει μόνο την υγεία του ανθρώπου προφανώς, αλλά και τον χώρο που τον περιβάλλει. Έχει παρατηρηθεί, ότι υπάρχουν επιδράσεις τόσο σε ζωντανούς οργανισμούς, όσο και στο κλίμα, το οικοσύστημα και τις κατασκευές (Εφιετζής, 2016).

Τα αιωρούμενα σωματίδια, που προέρχονται από ατελής καύσης και είναι ανθρωπογενούς προέλευσης έχουν την εξής ιδιότητα: Συγκεκριμένα, απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλοντας τις οπτικές ιδιότητες και τη διάρκεια ζωής των νεφών. Επιπλέον, αποτέλεσμα αυτής της απορρόφησης είναι συνήθως η επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο με αυξομειώσεις στην θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Επίσης η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει άμεσα τα παρακάτω:

- Υλικά. Η όξυνση του νερού της βροχής που προκαλείται από την ρύπανση στην ατμόσφαιρα, λόγω της διάλυσης στις σταγόνες ενώσεων του θείου και του αζώτου μπορεί να επηρεάσει και να διαβρώσει ιστορικά μνημεία και σύγχρονα κτίρια. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να διαβρώσει τα υλικά και να καταστρέψει ιστορικά μνημεία αλλά και σύγχρονα κτίρια . Ειδικά σε αστικές η βιομηχανικές περιοχές παρατηρούνται: κτίρια καλυμμένα από

αιθάλη, διαβρωμένες μεταλλικές επιφάνειες, βρώμικα παράθυρα κτιρίων κτλ. (Εφιετζής, 2016).

- Φυτά. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να καταστρέψει τα φυτά και να τους δημιουργήσει πρόβλημα στην ανάπτυξή τους. Το μεγαλύτερο μέρος του προβλήματος προκαλείται και πάλι εξαιτίας της όξινης βροχής , όπου σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση της παίζουν οι ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Η υπανάπτυξη των φυτών μπορεί να οφείλεται και στα αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του θείου ή του όζοντος.
- Ορατότητα. Η ορατότητα μειώνεται αρκετά , κυρίως λόγω της αιθολομίχλης (Μελάς, 2017).

1.3.5 Νομοθεσία και αιωρούμενα σωματίδια

1.3.5.1 Νομοθεσία Ευρωπαϊκής Ένωσης – Δείκτες ποιότητας Αέρα

Από την Ευρωπαϊκή επιτροπή , έχουν θεσπιστεί οριακές και ενδεικτικές τιμές στόχοι για τη μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα, έτσι ώστε να διατηρηθεί επιτρεπτά επίπεδα η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Σε περίπτωση υπέρβασης των τιμών που έχουν θεσπιστεί, λαμβάνονται μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης, με την κατάρτιση σχεδίου για την ποιότητα του αέρα.

Τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας που έχουν καθοριστεί με συγκεκριμένες μεθόδους και είναι σημαντικά ως προς τον καθορισμό των θέσεων δειγματοληψίας, αναφέρονται και υπολογίζονται βάσει των ωριαίων μετρήσεων που γίνονται στη διάρκεια ημερολογιακών χρόνων. Ο καθορισμός των τελικών ορίων έχει καθοριστεί σύμφωνα με τους επιθυμητούς στόχους που έχει θεσπίσει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, W.H.O.) (World health organization).

Κατά τον ΠΟΥ, τα $PM_{2,5}$ είναι ο πλέον επιβλαβής ατμοσφαιρικός ρύπος. Οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ περιλαμβάνουν βραχυπρόθεσμη τιμή για τα $AS_{2,5}$, όχι όμως και η οδηγία ΠΑΑ. Αυτό σημαίνει ότι το πρότυπο της ΕΕ στηρίζεται μόνο σε ετήσιο μέσο όρο και ότι οι υψηλές και επιβλαβείς εκπομπές $AS_{2,5}$ από την οικιακή θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα αντισταθμίζονται από τα χαμηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια του θέρους.

Η ετήσια οριακή τιμή που καθορίζεται στην οδηγία ΠΑΑ ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$) είναι υπερδιπλάσια της τιμής των κατευθυντήριων γραμμών του ΠΟΥ ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Η οδηγία ΠΑΑ πρόβλεψε δυνατότητα επικαιροποίησης της οριακής τιμής σε $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, αλλά η Επιτροπή δεν έκανε κάποια προσαρμογή όταν εξέτασε το ζήτημα το 2013. (op.europa.eu, 2018).

Πίνακας 1.2: Οριακές τιμές $PM_{2,5}$ (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0050-20150918&from=DE>)

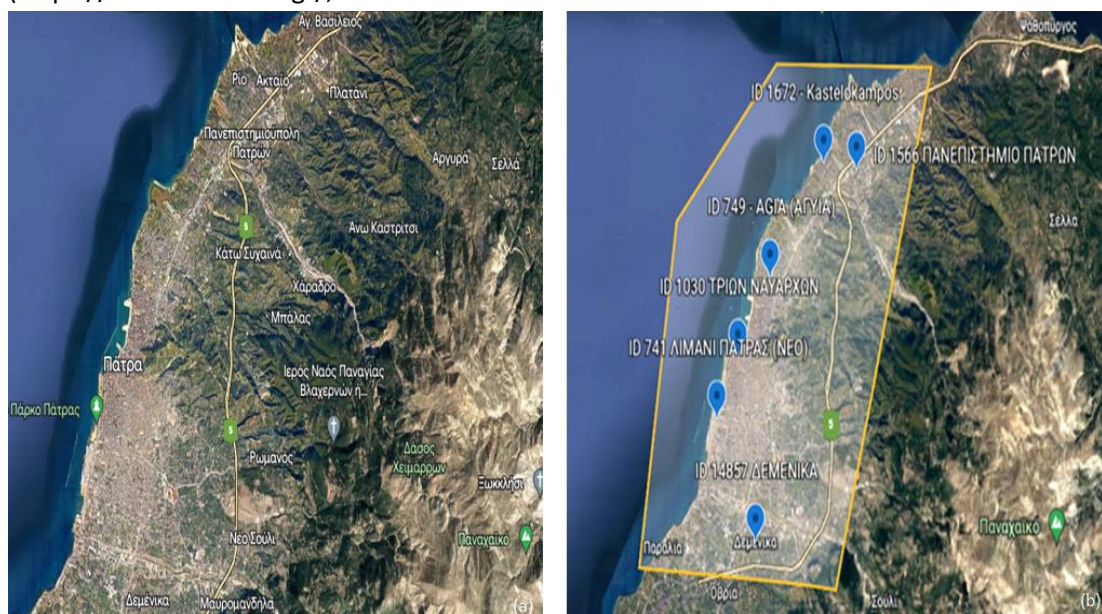
Περίοδος μέσου όρου	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να έχει επιτευχθεί η οριακή τιμή
ΣΤΑΔΙΟ 1			
Ημερολογιακό έτος	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	20% κατά τις 11-6-2008 μειούμενο έως την 1η του επόμενου Ιανουαρίου και εν συνεχεία ανά εφεξής δωδεκάμηνο κατά ίσα ετήσια ποσοστά ώστε να καταλήξει σε 0% έως την 1η Ιανουαρίου 2015	1η Ιανουαρίου 2015
ΣΤΑΔΙΟ 2 ⁽¹⁾			
Ημερολογιακό έτος	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$		1 Ιανουαρίου 2020

⁽¹⁾ Στάδιο 2 – ενδεικτική οριακή τιμή που θα επανεξετασθεί από την Επιτροπή το 2013 υπό το φως περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τις επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον, του τεχνικός εφικτού και της εμπειρίας από την τιμή στόχο στα κράτη μέλη.

Κεφάλαιο 2^ο: Περιοχή Έρευνας – Σταθμοί Μέτρησης

2.1 Περιοχή έρευνας

Η Πάτρα βρίσκεται ανάμεσα στις τρεις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας μετά την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη με πληθυσμό 305.979 κατοίκων στο σύνολο του νομού Αχαΐας, εκ των οποίων οι 215.922 κατοικούν στον δήμο Πατρών, σύμφωνα με την τελευταία επίσημη απογραφή πληθυσμού της ΕΛΣΤΑΤ το 2021. (<https://www.statistics.gr/>, 2023)



Εικόνα 2.1: (α) Δορυφορική άποψη της Πάτρας, (β) Ακριβείς τοποθεσία σταθμών μέτρησης (google earth, 2023)

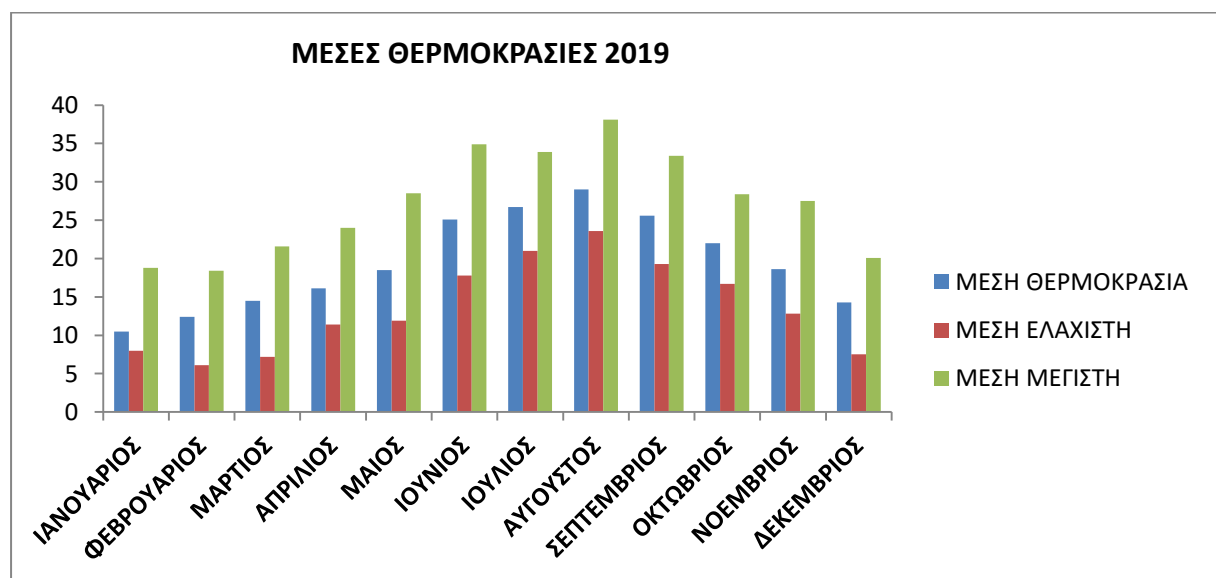
Η πόλη της Πάτρας βρίσκεται στην δυτική πλευρά της Ελλάδας και στα βόρεια παράλια της Πελοποννήσου. Εκτείνεται στα δυτικά του Παναχαϊκού όρους (υψόμετρο 1928 μέτρα) έως τον Πατραϊκό κόλπο, που στην ουσία είναι μία εγκόλπωση του Ιονίου πελάγους.

Η Πάτρα είναι το μεγαλύτερο οικονομικό, εμπορικό και πολιτιστικό κέντρο της Πελοποννήσου και της δυτικής Ελλάδας, καθώς έχει ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της Ελλάδας και της Μεσογείου.

Η γεωγραφική της θέση αποτελεί δίαυλο επικοινωνίας με την Ιταλία και κατ' επέκταση με την υπόλοιπη δυτική Ευρώπη και όχι μόνο, πράγμα εξαιρετικά σημαντικό τόσο από συγκοινωνιακή όσο και από εμπορική άποψη (wikipedia).

Σημαντικό χαρακτηριστικό της αστικής γεωγραφίας της Πάτρας είναι ο διαχωρισμός της στην Άνω και Κάτω πόλη, που συνδέονται μεταξύ τους σε σημεία με σκάλες. Αυτό είναι αποτέλεσμα μιας αλληλεπίδρασης ανάμεσα στη φυσική γεωγραφία της περιοχής και του μοντέλου ανθρώπινης κατοίκησης. Η Κάτω πόλη, η οποία περιλαμβάνει τον αστικό πυρήνα του 19ου αιώνα και το λιμάνι, βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα και απλώνεται μαζί με τις συνοικίες μεταξύ των εκβολών των ποταμών Γλαύκου και Χαράδρου, είναι χτισμένη πάνω σε ένα αρχικά ποταμογενές και ελώδες έδαφος, ενώ η Άνω πόλη καλύπτει την περιοχή των παλαιότερων οικισμών, γύρω από το φρούριο και ευρύτερα, πάνω στις δυτικότερες υπώρειες του Παναχαϊκού όρους πριν τον Πατραϊκό Κόλπο (wikipedia).

Το κλίμα στη Πάτρα χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, με γενικά ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα (www.meteo.gr) η μέση θερμοκρασία για το έτος μελέτης (2019) για την περιοχή ήταν περίπου 19,4°C. Ο θερμότερος μήνας στην πόλη ήταν ο Αύγουστος με μέση μέγιστη θερμοκρασία τους 38,1°C, ενώ ο ψυχρότερος ο Φεβρουάριος με μέση ελάχιστη τους 6,1°C. Η μέση μέγιστη του έτους υπολογίζεται στους 27,3 °C και μέση ελάχιστη 13,6 °C.



Διάγραμμα 1.1: Πίνακας μέσων θερμοκρασιών στην περιοχή της Πάτρας για το έτος 2019.

Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που σαφώς επηρεάζει την ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς με τις αυξομειώσεις της απομακρύνει η συγκρατεί τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

2.2 Σταθμοί μέτρησης

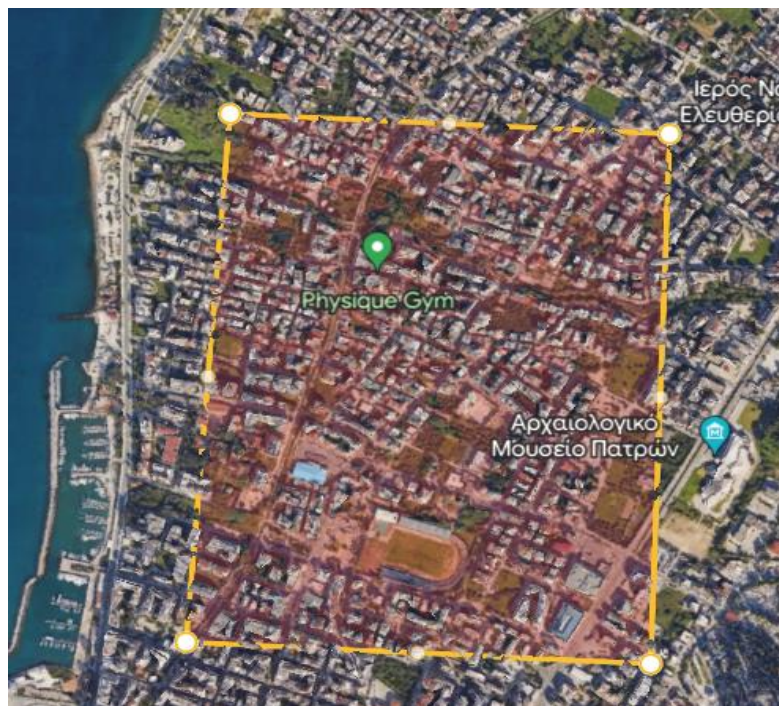
Οι σταθμοί μέτρησης από τους οποίους συλλέχθηκαν τα στοιχεία για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Οι σταθμοί στο κέντρο της Πάτρας λέγονται σταθμοί υποβάθρου ή αυξημένης κυκλοφορίας, ενώ οι σταθμοί εκτός αστικού ιστού ονομάζονται περιαστικοί. Οι σταθμοί είναι έξι στον αριθμό και είναι οι εξής και αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα 2.2:

Πίνακας 2.2: Περιοχή και τύπος των σταθμών μέτρησης.

Σταθμοί μέτρησης – κωδικός	Περιοχή	Τύπος σταθμού
ID 741	ΛΙΜΑΝΙ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΡΑΘΡΟΥ
ID 749	ΑΓΥΑ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ
ID 1030	ΤΡΙΩΝ ΝΑΥΑΡΧΩΝ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ
ID 1566	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ
ID 1672	ΚΑΣΤΕΛΟΚΑΜΠΟΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ
ID 14857	ΔΕΜΕΝΙΚΑ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ



Εικόνα 2.2 Το λιμάνι της Πάτρας (google earth, 2023)



Εικόνα 2.3 ΑΓΥΑ (google earth, 2023)



Εικόνα 2.4 Τριών Ναυάρχων (google earth, 2023)



Εικόνα 2.5 Πανεπιστήμιο Πατρών (google earth, 2023)



Εικόνα 2.6 Καστελλόκαμπος (google earth, 2023)



Εικόνα 2.7 Τα Δεμένικα (google earth, 2023)

Κεφάλαιο 3^ο : Μεθοδολογία Έρευνας

3.1 Μεθοδολογική προσέγγιση

Για να μελετηθεί η ετήσια διακύμανση των αιωρούμενων σωματιδίων για το έτος 2019 στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας, επιλέχθηκαν 6 (έξι) σημειακοί σταθμοί που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή έρευνας και έχουν χαρακτηριστικά αστικά και περιαστικά.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης

Σταθμοί μέτρησης - κωδικός	Περιοχή	Τύπος σταθμού- χαρακτηρισμός	Υψόμετρο (m)	Χιλ.απόσταση από το Κέντρο (km)	Μετρούμενοι ρύποι (PM _{2,5})	Όργανο
ΠΑΤΡΑ						
ID 741	ΛΙΜΑΝΙ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΡΑΘΡΟΥ	0 m	4,4 km	✓	PA-II
ID 749	ΑΓΥΙΑ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	0 m	3,5 km	✓	PA-II
ID 1030	ΤΡΙΩΝ ΝΑΥΑΡΧΩΝ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ - ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	0 m	1,6 km	✓	PA-II
ID 1566	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	50 m	6 km	✓	PA-II
ID 1672	ΚΑΣΤΕΛΟΚΑΜΠΟΣ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	0 m	8 km	✓	PA-II
ID 14857	ΔΕΜΕΝΙΚΑ	ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	25-55 m	6 km	✓	PA-II

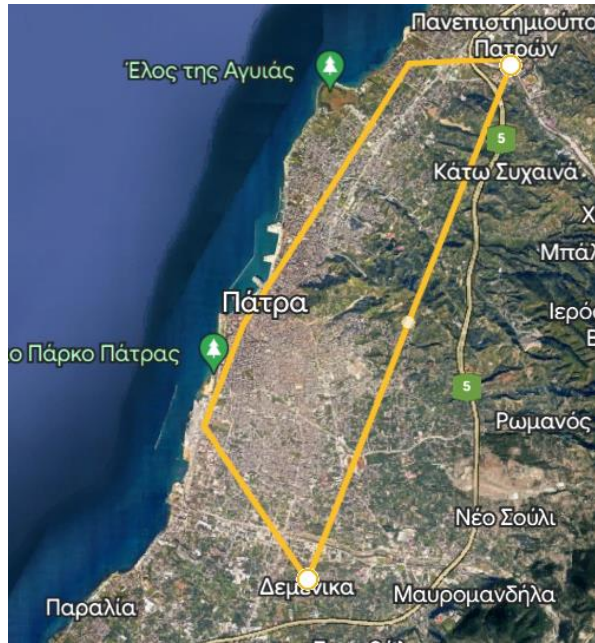
3.1.1. Δίκτυο Purple Air

Ο διαδραστικός χάρτης Purple Air είναι μία διαδικτυακή εφαρμογή που εμφανίζει ένα δίκτυο αισθητήρων και καταγράφει δεδομένα αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ σε πραγματικό χρόνο σε πραγματικό χρόνο στην κλίμακα δείκτη ποιότητας αέρα της US EPA και με δυνατότητα καταγραφής μετρήσεων σε βήμα δεκαλέπτου.

Οι σταθμοί μέτρησης στην περιοχή της Πάτρας είναι περίπου τριάντα (30), ωστόσο τα δεδομένα συλλέχθηκαν από 6 (έξι) οι οποίοι βρίσκονται εντός όσο και εκτός αστικού ιστού. Τα δεδομένα αυτά θα μας βοηθήσουν να έχουμε μία πλήρη εικόνα των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων διότι οι σταθμοί που επιλέχθηκαν καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος της πόλης των Πατρών και με αυτό τον τρόπο μπορούμε να συγκρίνουμε τυχόν διαφορές μεταξύ των μετρήσεων των σταθμών εντός και εκτός πόλης.



Εικόνα 3.1: Χαρτογράφηση των σταθμών στην πόλη της Πάτρας (<https://www2.purpleair.com/>)



Εικόνα 3.2: Περιοχή κάλυψης των σημειακών σταθμών.

3.1.2 Αισθητήρες - Όργανα μέτρησης Purple air

Οι αισθητήρες Purple air είναι υψηλής ποιότητας αισθητήρες που λαμβάνουν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες είναι χαμηλού σχετικά κόστους όπως προαναφέρθηκε, αλλά αρκετά ακριβείς. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιεί το purple air για την καταγραφή των μετρήσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής : PurpleAir Touch, PA-II , PA-II-SD , PurpleAir Flex και ο PurpleAir Zen.

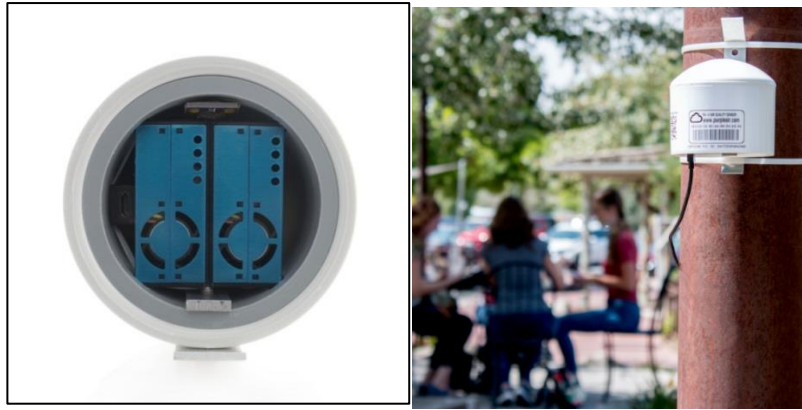
Στην συγκεκριμένη περίπτωση οι αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στους σταθμούς που επιλέχθηκαν είναι τύπου PA-II.

Το PurpleAir PA-II είναι ένας αισθητήρας χαμηλού κόστους για την παρακολούθηση των μεταβολών στις συγκεντρώσεις σωματιδίων (PM) διαφόρων μεγεθών.

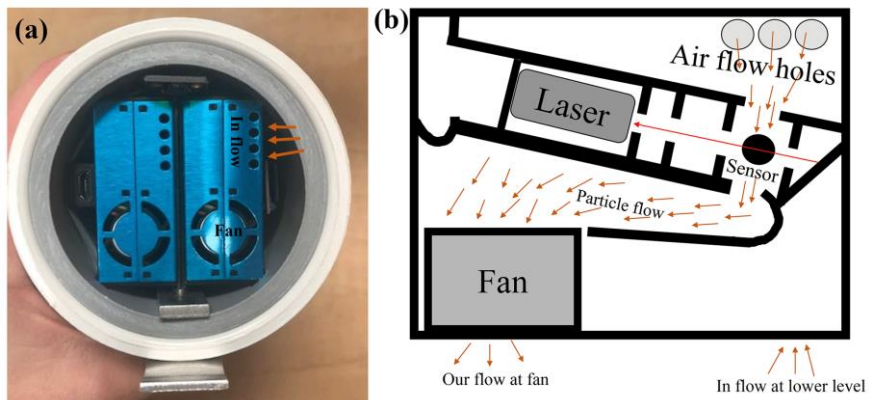
Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περισσότερες από 10.000 μονάδες PA-II σε χρήση παγκοσμίως ορισμένες από τις μονάδες βρίσκονται σε περιοχές όπου δεν υπάρχει άλλο σύστημα παρακολούθησης του αέρα αναφοράς. (Ardon-Dryer et al., 2020)

Ο PA-II είναι αισθητήρας που περιέχει δύο μετρητές λέιζερ, οι οποίοι και οι δύο είναι σε λειτουργία έτσι ώστε σε περίπτωση που ο ένας έχει κάποια βλάβη, ο άλλος να συνεχίζει κανονικά την καταγραφή. Οι μετρήσεις που λαμβάνουν οι δύο αισθητήρες συγκρίνονται μεταξύ τους και βγάζουν εν τέλει μια ακριβή τιμή (έναν μέσο όρο). Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.

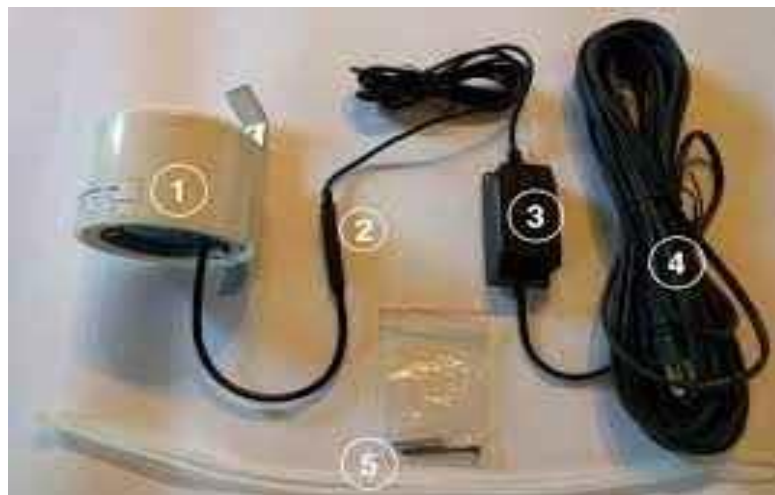
Τέλος, ο κάθε αισθητήρας είναι συνδεδεμένος με τοπικό ή δημόσιο δίκτυο wi-fi για να στέλνει απευθείας τις πληροφορίες στον διαδραστικό χάρτη του δικτύου, καθώς και να ενημερώνει τον ιδιοκτήτη του αισθητήρα αν πρόκειται για ιδιώτη. Επιπρόσθετα οι αισθητήρες διαθέτουν υποδοχή εσωτερικής κάρτας μνήμης δίνοντας την δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων που βοηθά σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει η δυνατότητα διασύνδεσης με ίντερνετ.



Εικόνα 3.3: Αισθητήρας PA-II (Ardon-Dryer et al., 2020)



Εικόνα 3.4: Διαδικασία συλλογής δεδομένων (Ardon-Dryer et al., 2020)



Εικόνα 3.5 : τυπική συναρμολόγηση μονάδας PurpleAir



Εικόνα 3.6 : Οθόνη ένδειξης μετρήσεων

3.2 Στάδια Μεθοδολογίας

Για τις ανάγκες της ανάλυσης των δεδομένων ακολουθήσαμε κάποια στάδια επεξεργασίας. Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκε μία σειρά διαδικασιών για την συλλογή πληροφοριών και καταγραφής των αιωρούμενων ρύπων $PM_{2,5}$.

- **Στάδιο 1^ο :**

Για το υπολογιστικό κομμάτι συλλέχθηκαν τα αρχεία από την ιστοσελίδα (<https://www2.purpleair.com/>) σε αρχείο της μορφής CSV. Μετατρέπουμε το αρχείο CSV σε αρχείο Microsoft excel, για να μπορέσουμε να το επεξεργαστούμε κι εκεί αποφασίστηκε το βάθος της ανάλυσης σε επίπεδο επεξεργασίας των μετρήσεων ωριαίου βήματος. Η ανάλυση που ακολουθήσαμε περιελάμβανε τη διερεύνηση της διακύμανσης των $PM_{2,5}$ για το έτος 2019, σε ανάλυση ημερήσιας-εβδομαδιαίας-μηνιαίας και συνολικής ετήσιας διακύμανσης.

- **Στάδιο 2^ο :**

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του μέσου όρου των δύο αισθητήρων του οργάνου και πάλι για βήμα ωριαίο-εβδομαδιαίο-μηνιαίο και χωρίσαμε στο αρχείο excel σε στήλες τις μετρήσεις ανά χρονική περίοδο. Στην συνέχεια, για να διασφαλιστεί η υψηλή ποιότητα των μετρήσεων, εφαρμόστηκε η παρακάτω εξίσωση διόρθωσης Εικόνα 3.7 (Kosmopoulos et al., 2022). Με αυτό τον τρόπο, δημιουργήθηκε άλλη μία στήλη στο αρχείο excel (di) (Εικόνα 3.6), όπου αναγράφονται οι διορθωμένες τιμές πλέον των μέσων όρων. Οι μέσοι όροι των έγκυρων μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για τη μετέπειτα ανάλυση για το έτος 2019 .

Η εξίσωση της διόρθωσης έχει ως εξής : $PM_{2,5} = 0,42 * Pair_{2,5} + 0,26 (\mu g m^{-3})$, σύμφωνα με (Kosmopoulos et al., 2022)

A	B	C	D	E	F	G	H
DATE	day	month	TIME	pm2.5_cf_1_a	pm2.5_cf_1_b	average	di
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	00:00:00	86,449	79,1425	82,7958	35
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	01:00:00	76,01983333	69,48	72,74991667	31
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	02:00:00	43,558	40,39183333	41,97491667	18
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	03:00:00	32,52716667	30,48183333	31,5045	13
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	04:00:00	24,76666667	23,32733333	24,047	10
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	05:00:00	25,78683333	24,24183333	25,01433333	11
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	06:00:00	20,442	18,992	19,717	9
02/01/2019	ΤΕΤΑΡΤΗ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	07:00:00	22,31566667	20,96566667	21,64066667	9

Εικόνα 3.4 : Παράδειγμα από το αρχείο excel με τις μετρήσεις από τον σταθμό ID 741 (λιμάνι της Πάτρας).

- **Στάδιο 3^ο:**

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη επεξεργασία και μορφοποίηση των μετρήσεων σε βήμα ωριαίο/μηνιαίο/ετήσιο και κατ' επέκταση ο υπολογισμός των μέσων όρων για κάθε χρονικό διάστημα και για κάθε σταθμό.

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q	
ID 741 ΛΙΜΑΝΙ						ID 749 ΑΓΙΑ - ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ						ID 1030 ΤΡΙΩΝ ΝΑΥΑΡΧΩΝ - ΚΕΝΤΡΟ						ID 1566 ΠΑΝ ΠΑΤΡΩΝ- ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ						ID 1672 - ΚΑΣΤΕΛΟΚΑΜΠΟΣ - ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ						ID 14857 - ΔΕΜΕΝΙΚΑ - ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟΣ			
ΩΡΑ	M.O PM 2,5			ΩΡΑ	M.O PM2,5			ΩΡΑ	M.O PM2,5			ΩΡΑ	M.O PM 2,5			ΩΡΑ	M.O PM 2,5			ΩΡΑ	M.O PM 2,5			ΩΡΑ	M.O			ΩΡΑ	M.O				
1	12			1	8			1	12			1	6			1	8			1	8			1	9			1	9				
2	9			2	7			2	11			2	6			2	7			2	7			2	8			2	8				
3	8			3	7			3	10			3	6			3	7			3	7			3	7			3	7				
4	7			4	6			4	8			4	5			4	7			4	7			4	6			4	6				
5	7			5	6			5	6			5	5			5	6			5	6			5	6			5	6				
6	7			6	6			6	6			6	5			6	6			6	6			6	6			6	6				
7	8			7	7			7	6			7	5			7	7			7	7			7	7			7	7				
8	9			8	8			8	8			8	6			8	6			8	7			8	8			8	8				
9	9			9	7			9	11			9	6			9	7			9	7			9	9			9	9				
10	8			10	7			10	11			10	6			10	7			10	7			10	10			10	10				
11	7			11	7			11	10			11	6			11	7			11	7			11	9			11	9				
12	6			12	7			12	9			12	6			12	7			12	7			12	8			12	8				
13	6			13	7			13	8			13	6			13	7			13	7			13	8			13	8				
14	6			14	6			14	8			14	5			14	7			14	7			14	8			14	8				
15	6			15	6			15	8			15	5			15	7			15	7			15	7			15	7				
16	7			16	7			16	8			16	5			16	7			16	7			16	8			16	8				
17	8			17	8			17	10			17	6			17	8			17	8			17	11			17	11				
18	12			18	9			18	15			18	6			18	10			18	10			18	14			18	14				
19	15			19	11			19	18			19	6			19	11			19	11			19	16			19	16				
20	17			20	11			20	22			20	6			20	11			20	11			20	17			20	17				
21	17			21	12			21	26			21	6			21	12			21	12			21	17			21	17				
22	18			22	12			22	29			22	6			22	12			22	12			22	16			22	16				
23	17			23	10			23	22			23	6			23	10			23	10			23	13			23	13				
24	13			24	9			24	16			24	7			24	9			24	9			24	11			24	11				

Εικόνα 3.5 : Παράδειγμα από το συγκεντρωτικό αρχείο excel με τις μετρήσεις από τους έξι σημειακούς σταθμούς.

- **Στάδιο 4^ο:**

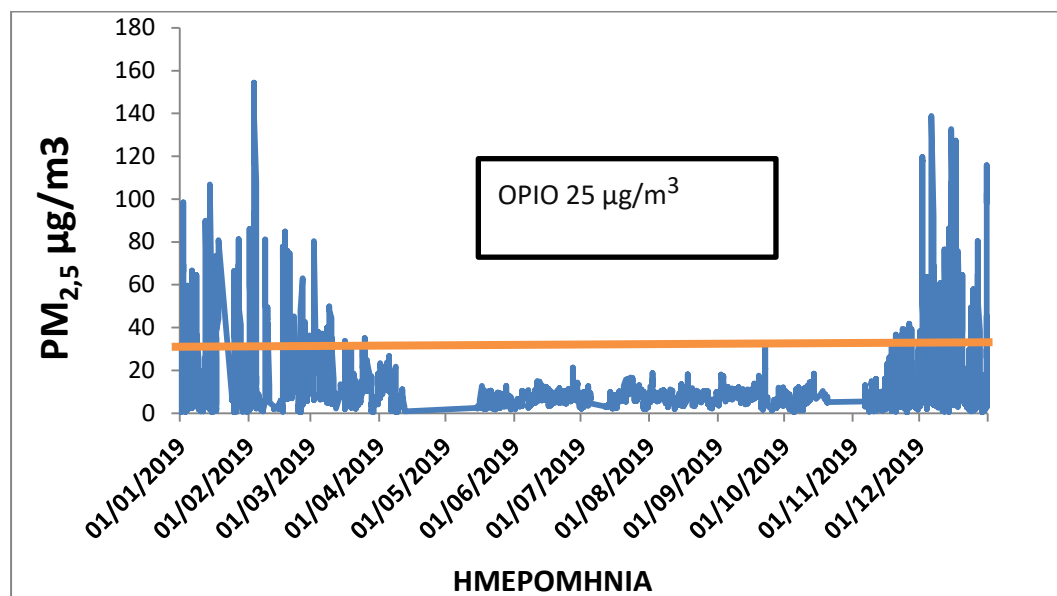
Επιπλέον, διερευνήθηκαν και οι μηνιαίες υπερβάσεις για το σύνολο των υπερβάσεων μηνιαίας-ετήσιας για όλους τους σταθμούς, στοιχείο που βοήθησε για την αξιολόγηση και των 6 (έξι) σημειακών σταθμών μέτρησης.

- **Στάδιο 5^ο:**

Τέλος, δημιουργήθηκε ακόμη ένα αρχείο Microsoft excel, όπου εκεί συγκεντρώθηκαν οι μετρήσεις των μέσων όρων των συγκεντρώσεων και των υπερβάσεων και των έξι σταθμών με σκοπό να μελετηθούν και να σχολιαστούν οι διαφορές που μπορούν να προκύψουν (Εικόνα 3.8). Με βάση όλα τα παραπάνω, με την βοήθεια του excel δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα για κάθε σταθμό ξεχωριστά και κατόπιν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα όπου συμπεριλαμβάνουν και τους έξι σταθμούς, έτσι ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία σύγκρισής τους. Όλα τα παραπάνω θα σχολιαστούν εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

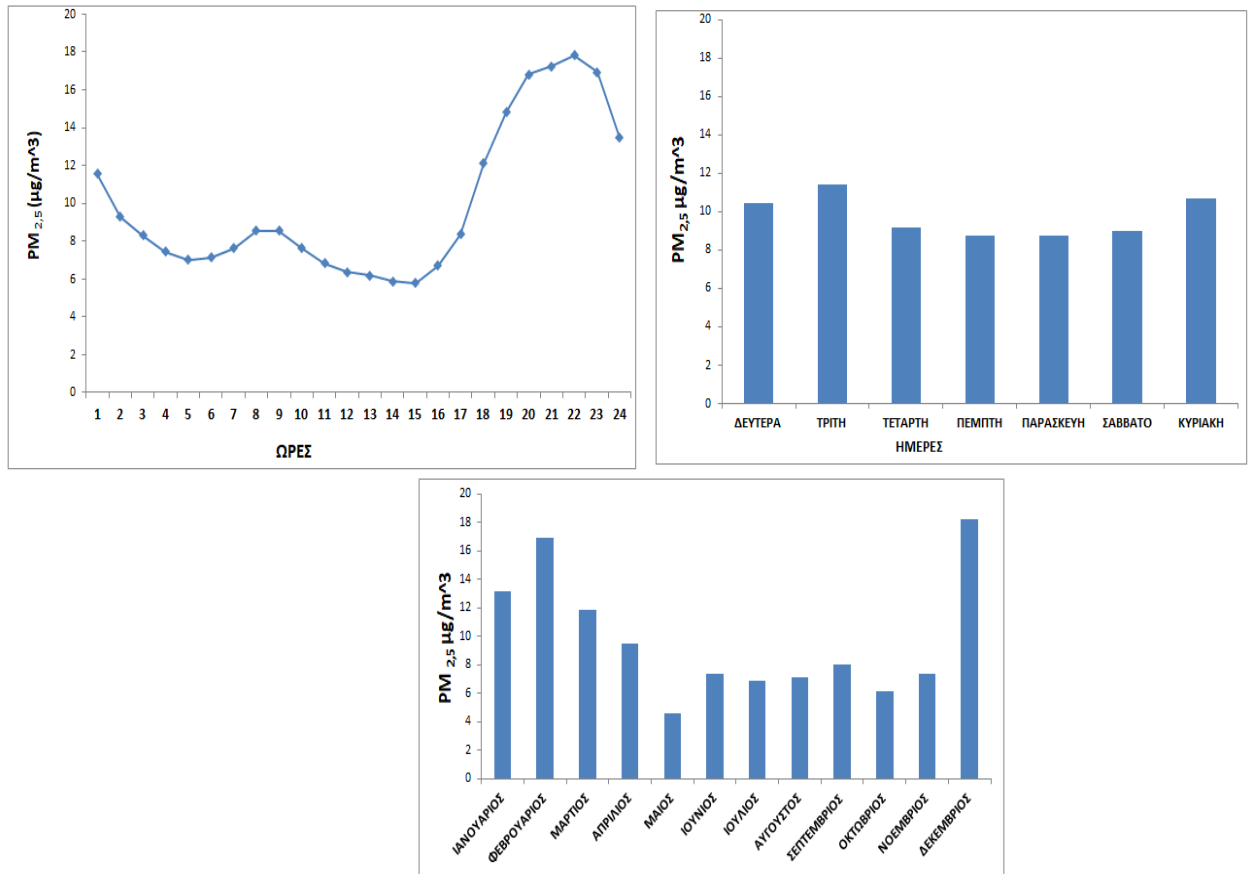
Κεφάλαιο 4^ο Αποτελέσματα - Σύγκριση-Συζήτηση

4.1.1 Σταθμός ID 741 - Λιμάνι Πάτρας (Σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας)



Σχήμα 4.1: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Στο σχήμα 4.1 της ετήσιας διακύμανσης διακρίνουμε ότι εμφανίζεται εποχικότητα στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά του χειμερινούς μήνες, όπου και υπάρχει αρκετή κίνηση στο λιμάνι των Πατρών, λόγω πολλών αφίξεων αναχωρήσεων πλοίων, καθώς και των αρκετών αυτοκινήτων και φορτηγών που καταφθάνουν διότι το λιμάνι είναι εμπορικό και επιβατικό άρα λειτουργεί όλες τις ημέρες του έτους. Επίσης, παρατηρούμε ότι συγκεντρώσεις ξεπερνάνε την οριακή τιμή των 25 µg/m³.

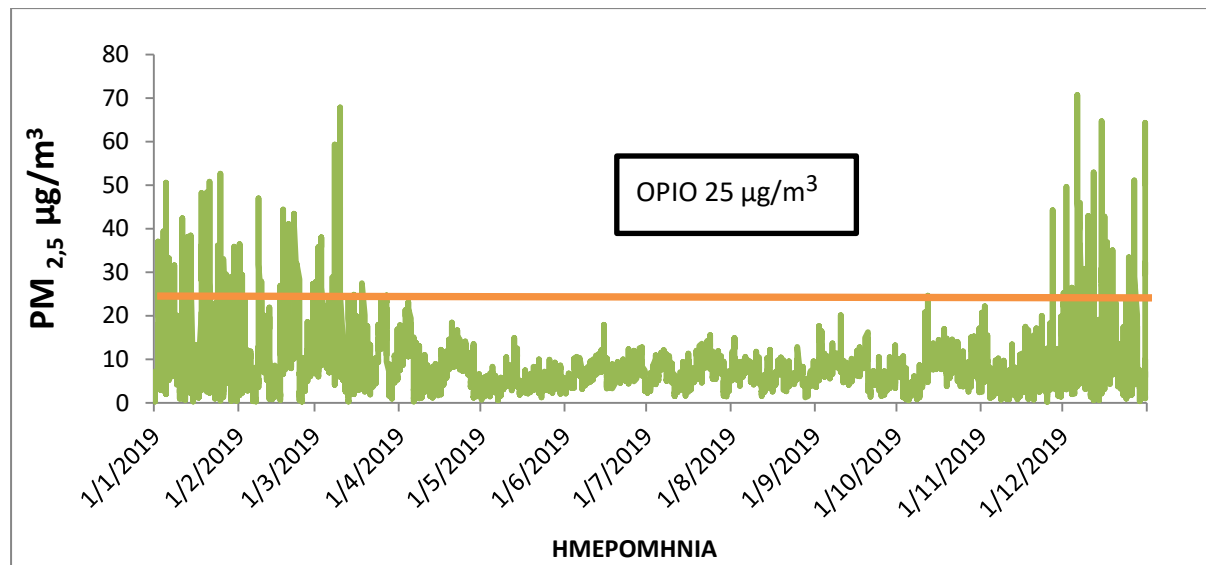


Σχήμα 4.2. (α) : Μέσες ωριαίες τιμές , (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) μέσες μηνιαίες τιμές.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι για τις ημερήσιες μετρήσεις υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις στην διακύμανση μέσα στην εβδομάδα, οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται κυρίως στις αρχές τις εβδομάδας, πράγμα που σημαίνει ότι στο λιμάνι υπάρχει αρκετή κίνηση τότε, καθώς καταφθάνουν πολλά φορτηγά και Ι.Χ, διότι η Πάτρα όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί σημείο σύνδεσης μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας και έτσι πολλοί άνθρωποι εξυπηρετούνται από το συγκεκριμένο λιμάνι. Με την παρουσία Ι.Χ οχημάτων και φορτηγών αυξάνονται οι τιμές της ρύπανσης.

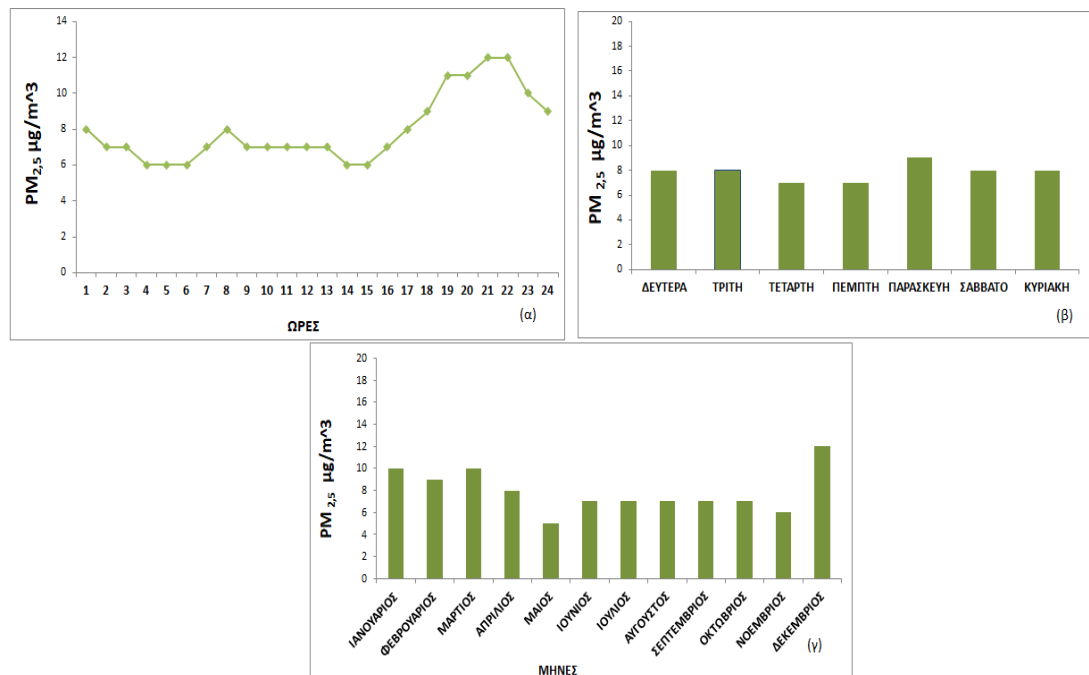
Κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να σχολιαστούν και τα υπόλοιπα διαγράμματα, διότι παρατηρούμε εποχικότητα τους χειμερινούς μήνες και στις ωριαίες τιμές φαίνεται ότι υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση σωματιδίων τις βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες, προφανώς διότι εκείνη την ώρα εκτελούν δρομολόγια τα πλοία και γενικά στο λιμάνι υπάρχει κινητικότητα.

4.1.2 Σταθμός ID 749 – ΑΓΥΙΑ (σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας)



Σχήμα 4.3: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Στο διάγραμμα της ετήσιας διακύμανσης, η εποχικότητα εμφανίζεται και πάλι την χειμερινή περίοδο. Πράγμα, που μπορεί να αποδοθεί στα καυσαέρια που εξέρχονται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων και γενικώς των μηχανοκίνητων οχημάτων. Επιπρόσθετα, μπορεί να οφείλεται και στην εκπομπή ρυπογόνων αερίων από τις καμινάδες των σπιτιών όπου τον χειμώνα οι άνθρωποι ανάβουν τα καλοριφέρ, τα τζάκια η ακόμη και σόμπες.

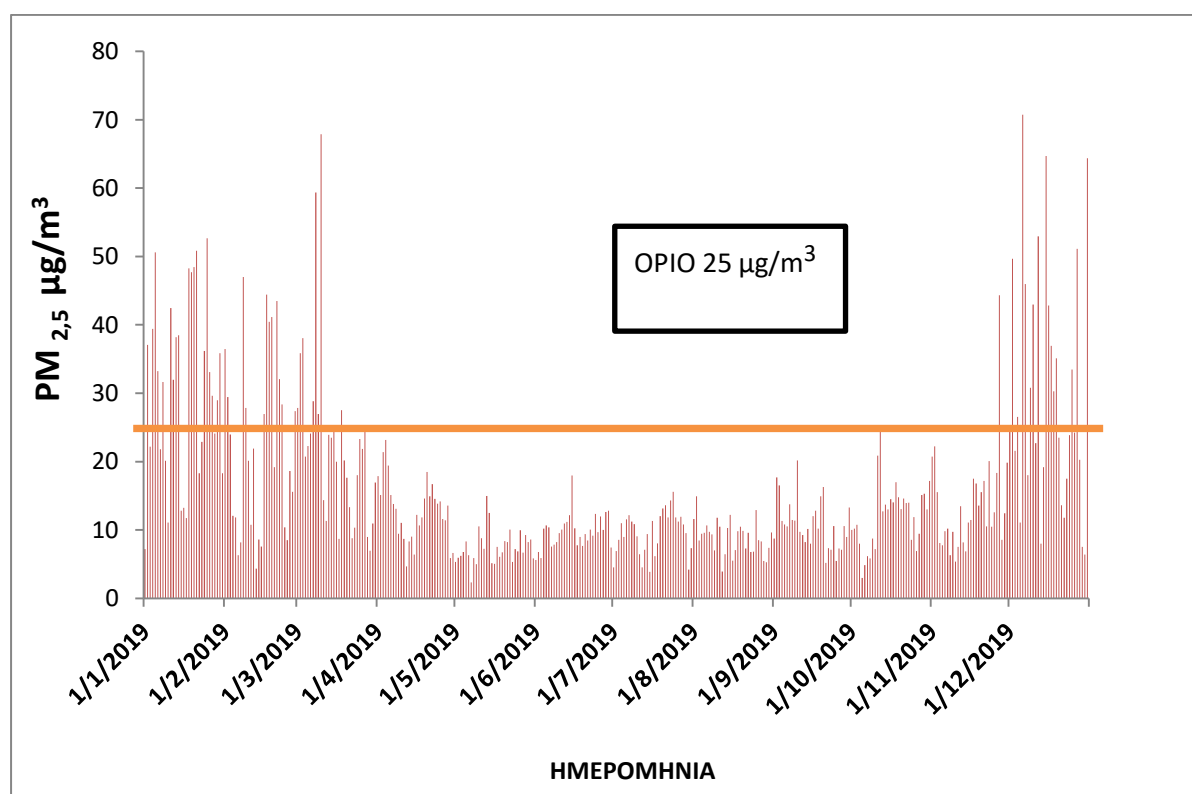


Σχήμα 4.4. (α) : Μέσες ωριαίες τιμές , (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) Μέσες μηνιαίες τιμές.

Στο σχήμα 4.4.α των μέσων ωριαίων τιμών παρατηρούμε, ότι οι συγκεντρώσεις παραμένουν σταθερές στο μεγαλύτερο κομμάτι της ημέρας, ενώ υπάρχει κάποια έξαρση κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες κάτι που μπορεί να οφείλεται στο ότι ο κόσμος επιστρέφει από την εργασία του και έτσι όσο περισσότερα οχήματα κυκλοφορούν τόσο αυξάνονται και οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων.

Από τα σχήματα 4.4.β & 4.4.γ παρατηρούμε, ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων εντοπίζονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες και πρὸς τα τέλη της εβδομάδας. Αυτό συμβαίνει, διότι η Αγυιά βρίσκεται σχετικά κοντά στο κέντρο της πόλης της Πάτρας και ο σταθμός συγκεκριμένα είναι τοποθετημένος κοντά σε πολυσύχναστα μέρη και σε δρόμο με αρκετή κίνηση.

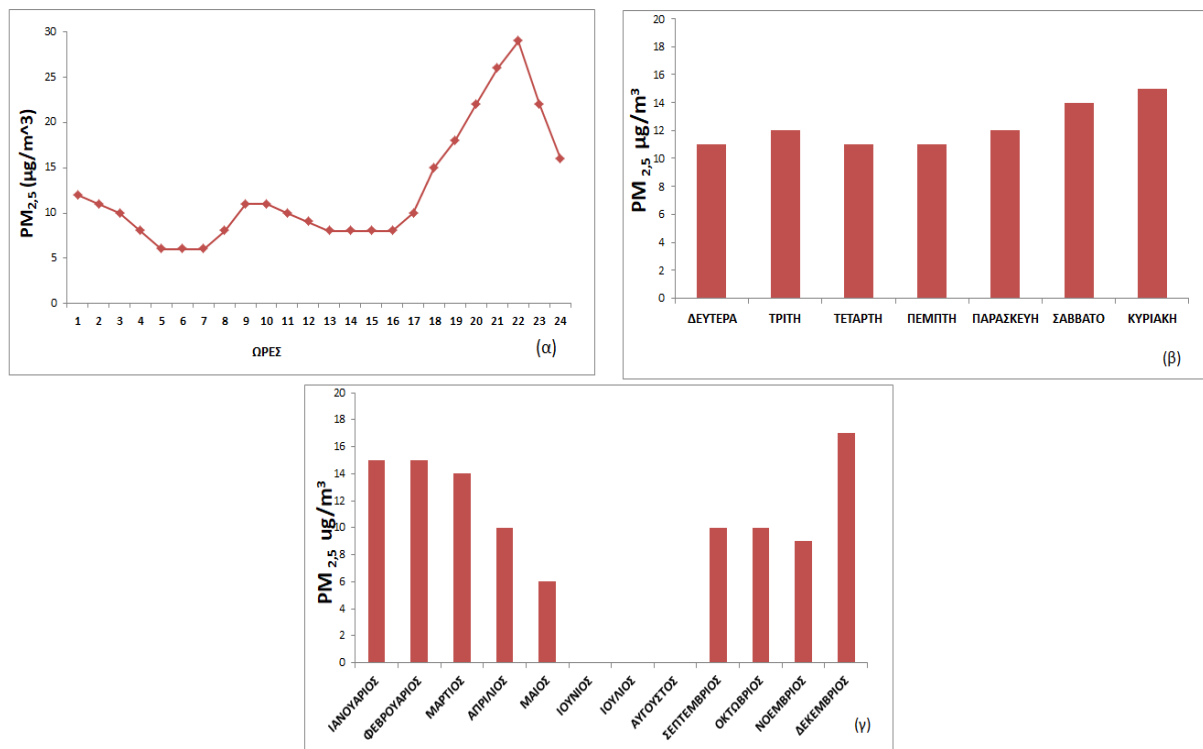
4.1.3 Σταθμός ID 1030 - Τριών ναυάρχων (Κέντρο) (Σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας)



Σχήμα 4.5: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε στο σχήμα 4.5 ότι του χειμερινούς μήνες και τον μήνα Μάρτιο οι μετρήσεις ξεπερνάνε το όριο για την συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ και εκεί παρατηρείται εποχικότητα. Ο συγκεκριμένος σταθμός, βρίσκεται στο κέντρο της πόλης των Πατρών σε πολυσύχναστο σημείο όπου κυκλοφορεί κόσμος καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας. Επίσης, μέρος του πληθυσμού εκτός αστικού ιστού

κατευθύνεται προς το κέντρο της πόλης για δουλειά διασκέδαση κ.τ.λ. , πράγμα που συνεισφέρει την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επίσης , αξίζει να αναφερθεί ότι την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου δεν καταγράφηκαν μετρήσεις ίσως λόγω κάποιας βλάβης στο μηχάνημα καταγραφής.



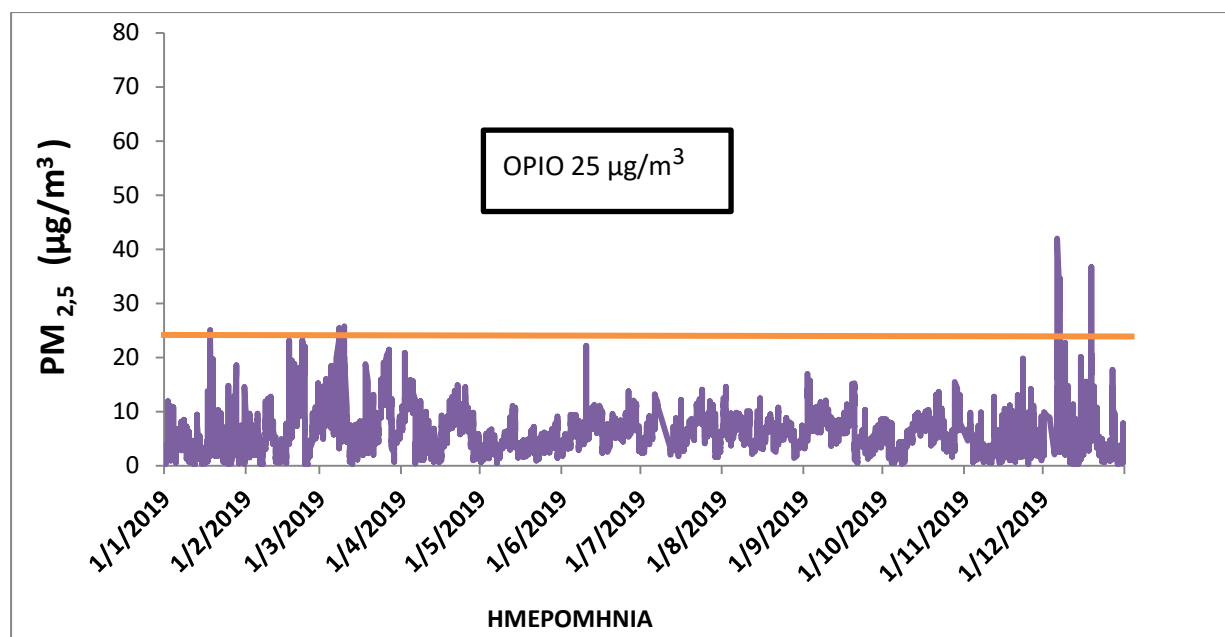
Σχήμα 4.6 (α) : Μέσες ωριαίες τιμές , (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) μέσες μηνιαίες τιμές.

Από το σχήμα 4.6 (α) , διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση τις πρωινές ώρες, πράγμα λογικό διότι εκείνη την ώρα ο κόσμος ξεκινά για την εργασία του και παρατηρείται αυξημένη κίνηση. Το βράδυ , παρατηρούνται εξίσου αυξημένες τιμές διότι το συγκεκριμένο σημείο αποτελεί μέρος διασκέδασης και πολύς κόσμος καταφθάνει εκείνες τις ώρες στο κέντρο της πόλης.

Στο σχήμα 4.6 (β) , οι μετρήσεις είναι σταθερά στα ίδια επίπεδα όλη την εβδομάδα, παρά μόνο το Σαββατοκύριακο παρατηρείται μια μικρή αύξηση, εξαιτίας της έντονης κινητικότητας στο συγκεκριμένο σημείο της πόλης καθώς καταφθάνει και κόσμος από τις γύρο περιοχές της Πάτρας (π.χ για λόγους διασκέδασης).

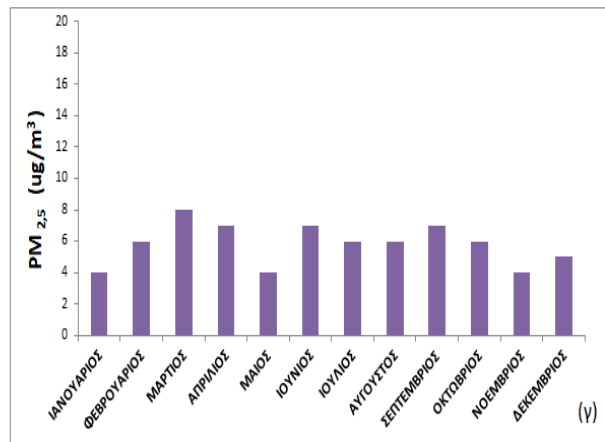
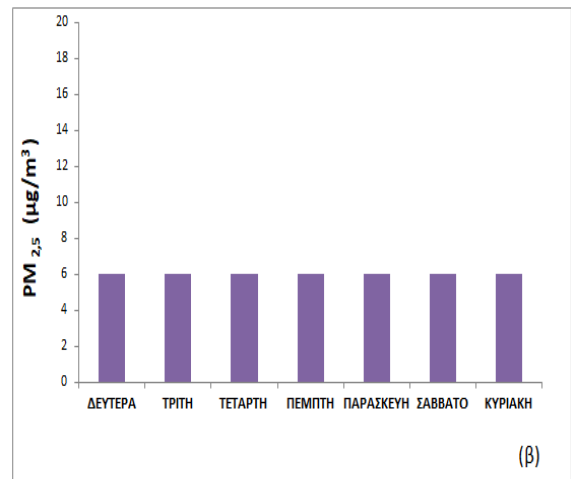
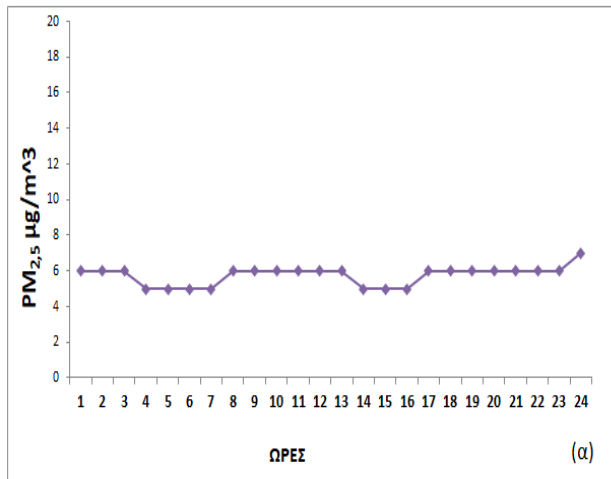
Όσον αφορά το σχήμα των μηνιαίων μετρήσεων 4.6(γ), παρατηρούμε ότι η εποχικότητα εμφανίζεται τον χειμώνα, ενώ αξίζει να αναφερθεί τους θερινούς μήνες δεν υπάρχει κάποια μέτρηση, αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι το μηχάνημα ήταν εκτός λειτουργίας ή στο ότι μπορεί ο αισθητήρας να αντιμετώπισε κάποια βλάβη.

4.1.4 Σταθμός ID 1566 – Πανεπιστήμιο Πατρών (Περιαστικός σταθμός)



Σχήμα 4.7: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Οι χαμηλές τιμές αποτυπώνονται σε ετήσια κλίμακα, όπου όπως φαίνεται οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων δεν ξεπερνάνε το επιτρεπτό όριο των 25µg/m³, καθ'όλη την διάρκεια του έτους. Εντοπίζονται κάποιες εξάρσεις μόνο τον μήνα Δεκέμβριο και αυτό μπορεί να οφείλεται, στο ότι μπορεί εκείνη την χρονική στιγμή να υπήρξε μεγάλη κινητικότητα κοντά στον σταθμό μέτρησης.



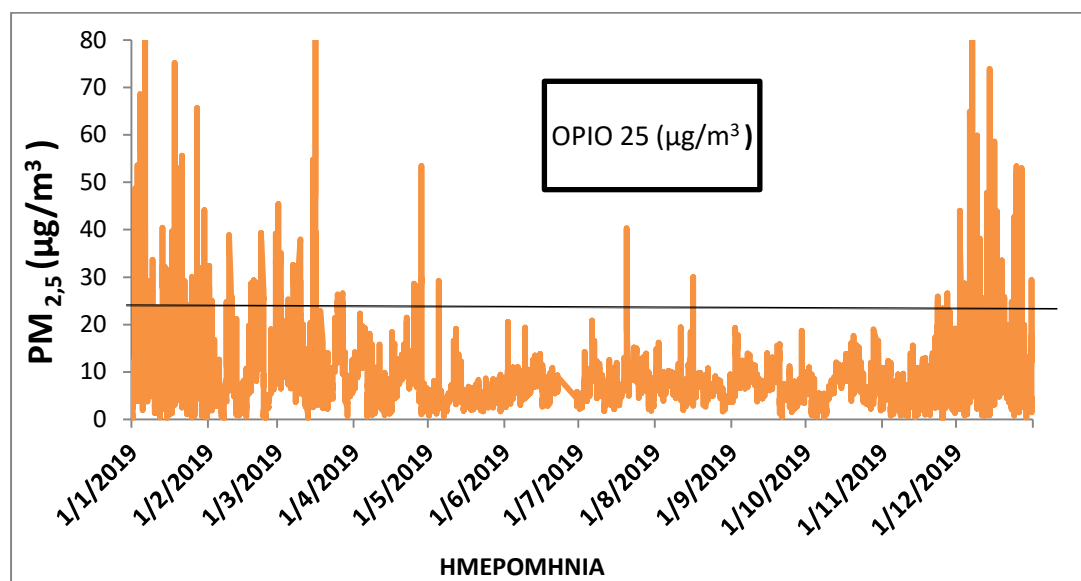
Σχήμα 4.8 (α) : Μέσες ωριαίες τιμές, (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) μέσες μηνιαίες τιμές ,

Στο σχήμα 4.8.α των ωριαίων μετρήσεων , παρατηρούνται χαμηλές τιμές των PM_{2,5} για όλη την ημέρα και με πολύ μικρές μεταβολές .

Ο σταθμός του Πανεπιστημίου Πατρών βρίσκεται εκτός αστικού ιστού, πράγμα το οποίο μπορεί να δικαιολογήσει τις χαμηλές μέσες τιμές αιωρούμενων σωματιδίων εβδομαδιαία σχήμα 4.8.β , επιπλέον δεν παρατηρείται κάποια διακύμανση στις μετρήσεις.

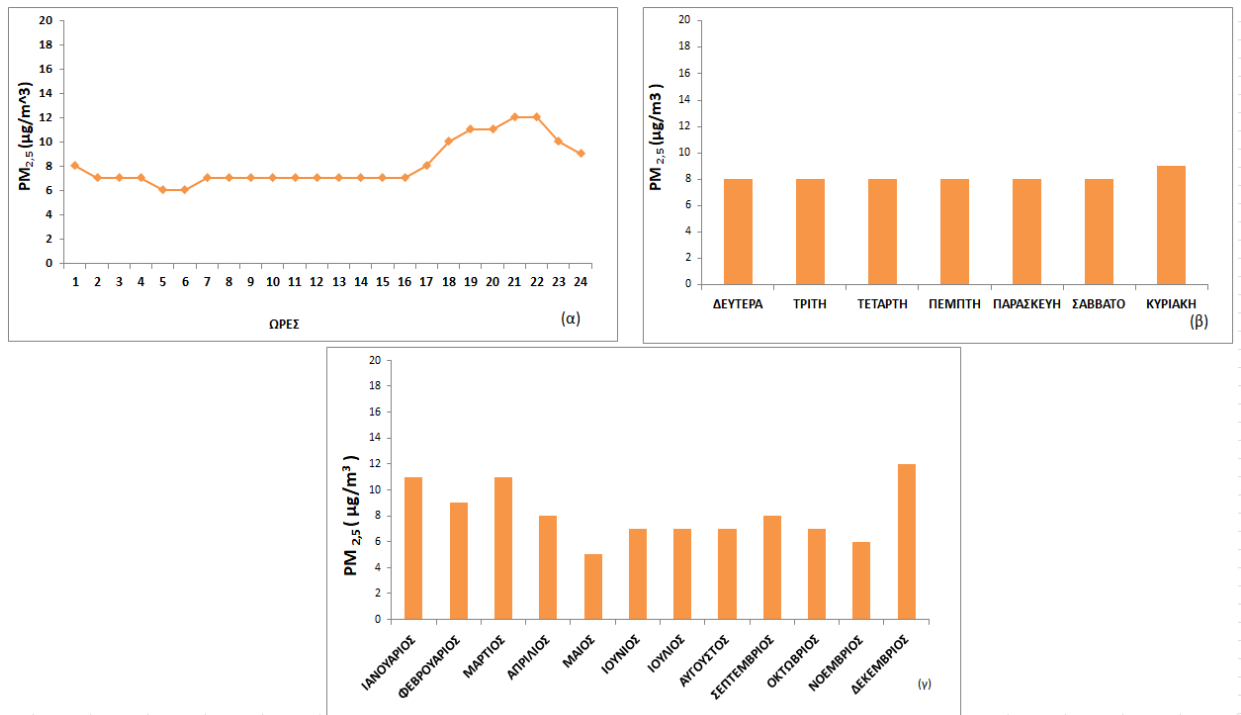
Όσο αναφορά τις μηνιαίες συγκεντρώσεις 4.7.γ και αυτές είναι σχετικά χαμηλές, εκτός από κάποιες περιπτώσεις μέσα στο έτος κυρίως τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες όπου και διακρίνεται μία αύξηση και αυτό διότι το Πανεπιστήμιο βρίσκεται κοντά στην γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου, σημείο στο οποίο κινούνται πολλά οχήματα, καθώς υπάρχει η τάση του κόσμου να μετατοπίζεται από τα αστικά κέντρα προς τις πιο περιστατικές περιοχές αυτή την εποχή.

4.1.5 Σταθμός ID 1672 - Καστελλόκαμπος (Περιαστικός σταθμός)



Σχήμα 4.9: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Το παραπάνω διάγραμμα επαληθεύει όλα τα παραπάνω διαγράμματα, ειδικότερα των μηνιαίων μετρήσεων. Εμφανίζεται εποχικότητα στις αρχές και στα τέλη του έτους (δηλ. χειμερινούς μήνες), εκτός από κάποιες μικρές εξάρσεις τον Μάιο και τον Αύγουστο και αυτό διότι, επειδή ο Καστελλόκαμπος είναι μία περιοχή εκτός της πόλης των Πατρών κοντά σε θάλασσα και ενδεχομένως να έχει αρκετή επισκεψιμότητα τους καλοκαιρινούς μήνες, άρα αρκετά οχήματα καταφθάνουν και ανεβάζουν τις τιμές της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.



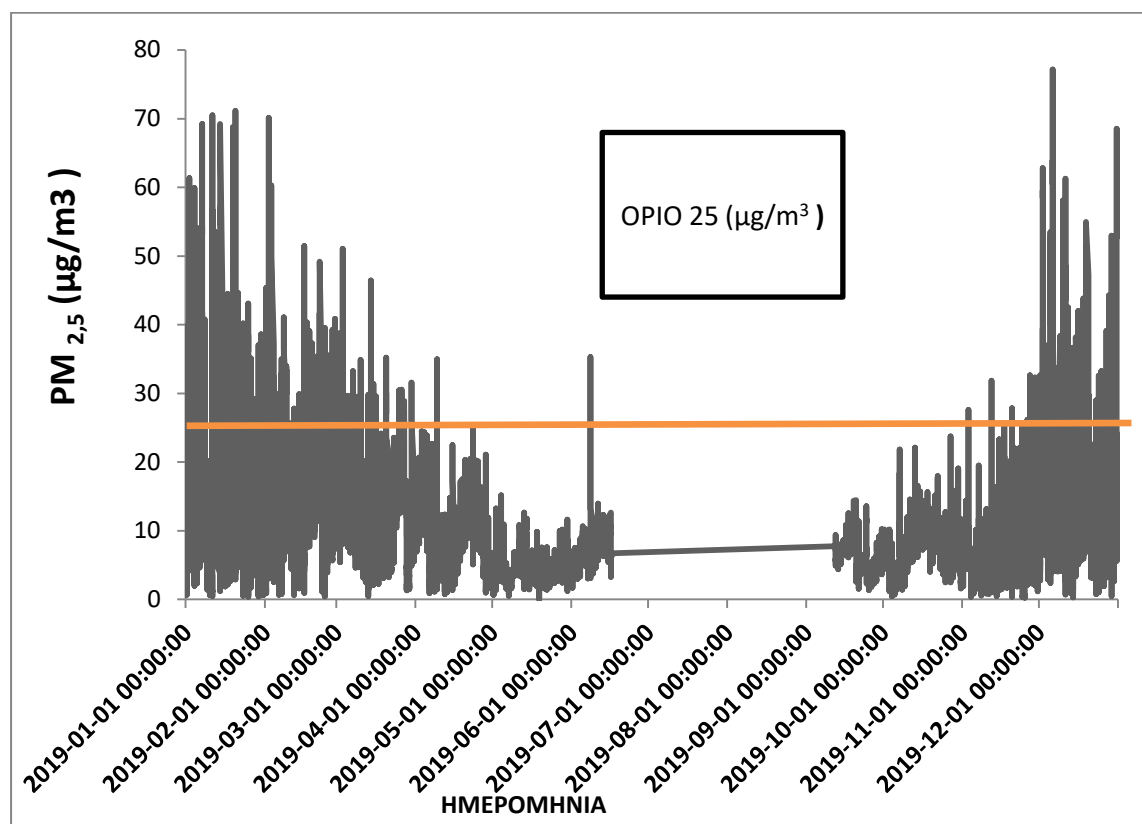
Σχήμα 4.10 (α) : Μέσες ωριαίες τιμές, (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) μέσες μηνιαίες τιμές.

Όπως και στον προηγούμενο σταθμό έτσι και σε αυτόν παρατηρούμε χαμηλές συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς πρόκειται για έναν σταθμό που βρίσκεται αρκετά εκτός του αστικού ιστού.

Για τις ωραίες μετρήσεις αυξημένες μετρήσεις εντοπίζονται , κατά τις βραδινές ώρες κάτι που ίσως να οφείλεται στις καύσεις τζακιών και εκπομπών ρυπογόνων ουσιών από τις καμινάδες. Τις υπόλοιπες ώρες, οι συγκεντρώσεις σωματιδίων είναι σαφώς μικρότερες.

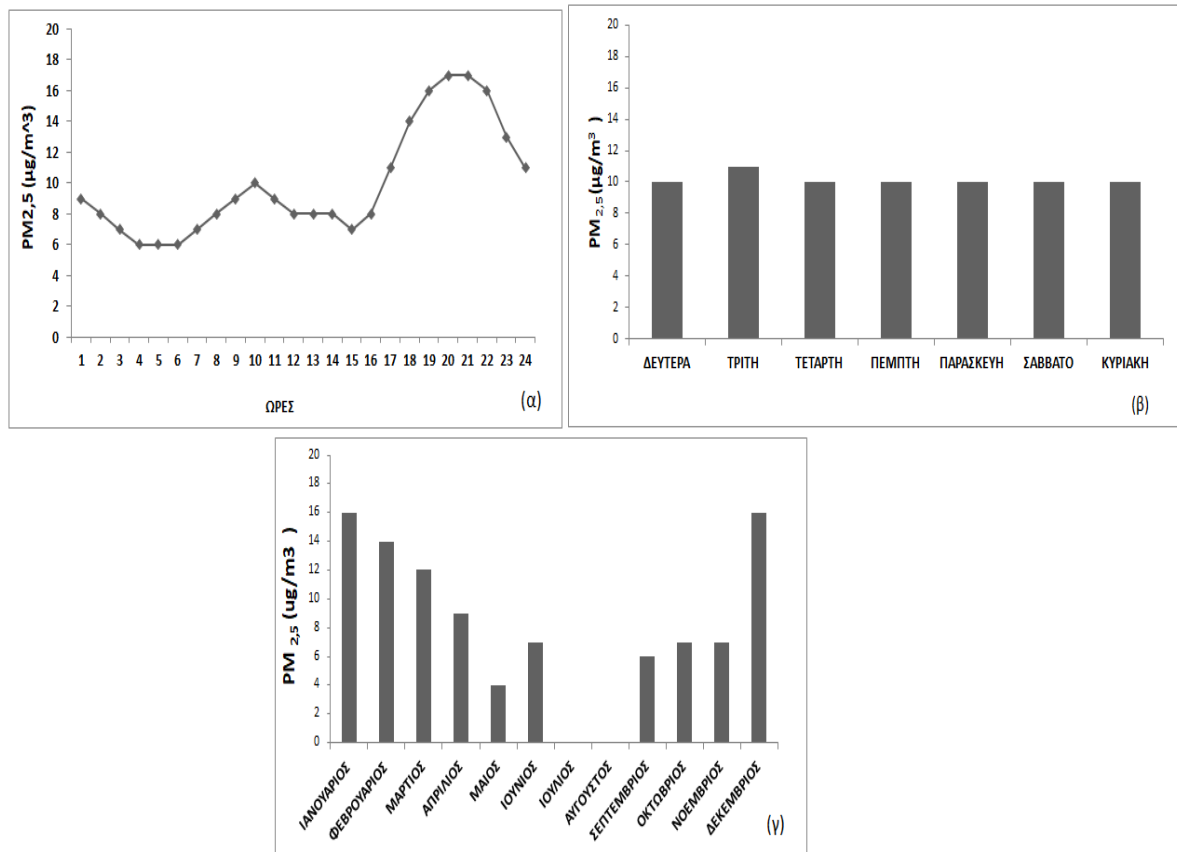
Στις μηνιαίες μετρήσεις σχήμα 4.10.γ παρατηρούμε αύξηση την χειμερινή περίοδο, αυτό μπορεί οφείλεται στις εκπομπές ρυπογόνων ουσιών, από τζάκια ή λέβητες που χρησιμοποιούν τα νοικοκυριά για θέρμανση τον χειμώνα. Στο διάγραμμα των ωριαίων μετρήσεων οι μέγιστες συγκεντρώσεις φαίνεται να εντοπίζονται τις βραδινές ώρες, αφού τότε αρχίζει και πέφτει η θερμοκρασία τους χειμερινούς μήνες.

4.1.6 Σταθμός ID 14852- Δεμένικα (Περιστατικός σταθμός)



Σχήμα 4.11: Συνολική ετήσια διακύμανση.

Το διάγραμμα της συνολικής ετήσιας διακύμανσης έρχεται να επιβεβαιώσει τα επερχόμενα διαγράμματα, καθώς η εποχικότητα εμφανίζεται τους μήνες όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των PM_{2,5}. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα τους συγκεκριμένους μήνες, έχουμε συχνή υπέρβαση του ορίου, και πολλές φορές το ξεπερνά κατά πολύ σε σημείο που γίνεται και επικίνδυνο για την υγεία και το περιβάλλον. Επιπλέον Τα Δεμένικα όπως προαναφέρθηκε είναι μία βιομηχανική περιοχή και είναι φυσιολογικό να έχει υψηλές τιμές αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, ο σταθμός δεν κατέγραψε κάποια μέτρηση την περίοδο Ιουλίου - Σεπτεμβρίου πιθανώς λόγω κάποιας βλάβης.



Σχήμα 4.12 (α) : Μέσες ωριαίες τιμές , (β) Μέσες ημερήσιες τιμές , (γ) μέσες μηνιαίες τιμές.

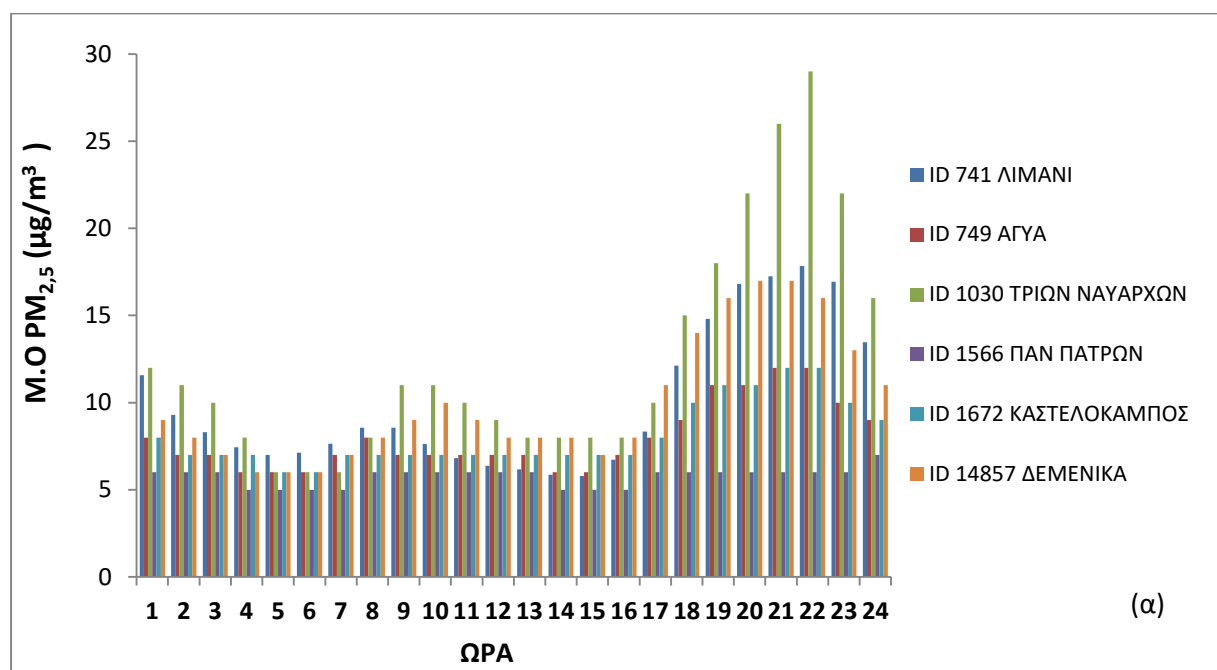
Οι ημερήσιες μετρήσεις είναι σχεδόν ίδιες καθ' όλη την διάρκεια της εβδομάδας, σε πολύ καλά επίπεδα βάσει του πίνακα δεικτών ποιότητας του αέρα και η διακύμανσή τους σχεδόν μηδενική.

Στο διάγραμμα των μηνιαίων μετρήσεων παρατηρούμε πιο υψηλές τιμές τους χειμερινούς μήνες, διότι τα Δεμένα είναι μία Βιομηχανική περιοχή και εκεί έχουν τις εγκαταστάσεις τους εργοστάσια που εκπέμπουν από τις καμινάδες τους ρυπογόνες ουσίες προς το περιβάλλον. Το καλοκαίρι παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων, καθώς κάποια από αυτά τα εργοστάσια, ενδεχομένως να μην λειτουργούν. Επιπρόσθετα, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο ο σταθμός δεν κατέγραψε κάποια μέτρηση, πράγμα που σημαίνει ότι εκείνη την περίοδο μπορεί να προέκυψε κάποια βλάβη στους αισθητήρες.

4.2 Συγκρίσεις μέσωσν συγκεντρώσεων PM_{2,5} των Σταθμών

Στα ακόλουθα διαγράμματα αποτυπώνονται οι συγκρίσεις των μέσων συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ των έξι σημειακών σταθμών. Σκοπός των συγκρίσεων, είναι να αποδείξουμε την ύπαρξη εποχικότητας στις μετρήσεις, αλλά και τον σχολιασμό τυχόν διαφορών που έχουν προκύψει.

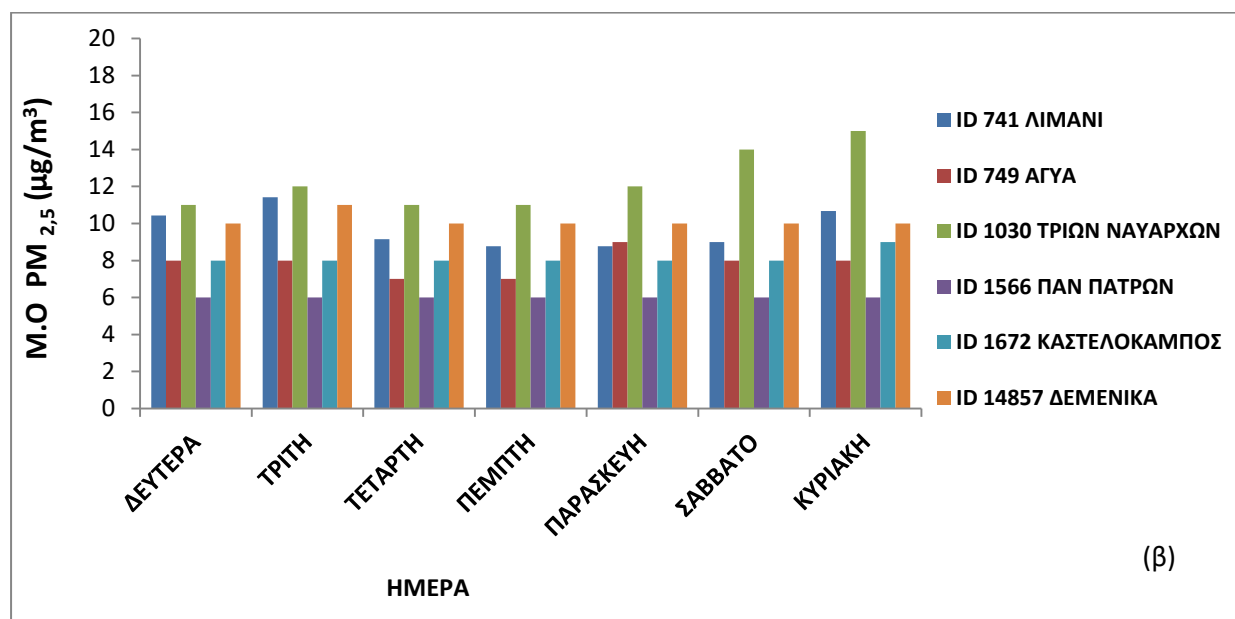
4.2.1 Σύγκριση μέσωσν ωριαίων μετρήσεων PM_{2,5} των σταθμών



Διάγραμμα 4.2.1 : Σύγκριση μέσωσν ωριαίων μετρήσεων των έξι σημειακών σταθμών

Όσον αφορά τις μετρήσεις 24ώρων παρατηρούμε ότι έχουμε μεγάλες συγκεντρώσεις τις βραδινές ώρες σε όλους τους σταθμούς, ξεπερνώντας μάλιστα και το όριο των 25 µg/m³ που αντιστοιχεί για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2,5} με τον μέσο όρο να κυμαίνεται από 20-25 µg/m³ και ειδικά στους πιο κεντρικούς σταθμούς που η κινητικότητα είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με τους περιφερειακούς.

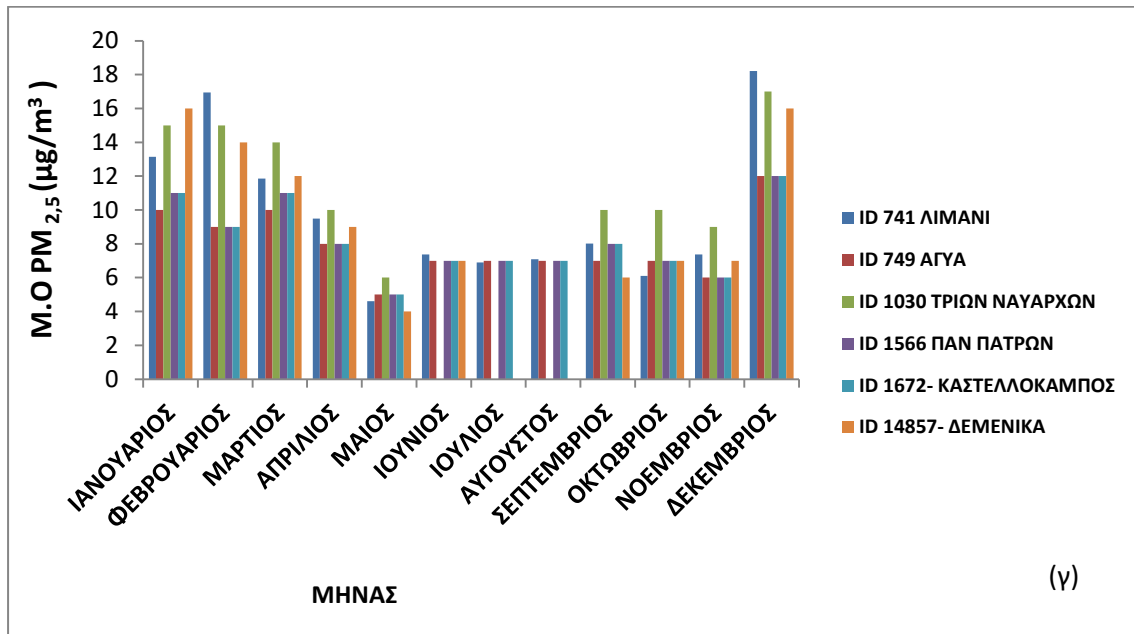
4.2.2 Σύγκριση μέσων ημερησίων τιμών PM_{2,5} των σταθμών



Διάγραμμα 4.2.2 : Σύγκριση μέσων ημερήσιων μετρήσεων των έξι σημειακών σταθμών

Μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, ότι για κάθε χρονική περίοδο οι συγκεντρώσεις των PM_{2,5}, κυμαίνονται στην ίδια κλίμακα όσο αναφορά τις εβδομαδιαίες μετρήσεις με μικρές διακυμάνσεις και με μικρή ανοδική τάση τα σαββατοκύριακα του έτους.

4.2.3 Σύγκριση μέσων μηνιαίων τιμών PM_{2,5} των σταθμών



Διάγραμμα 4.2.3 : Σύγκριση μέσων μηνιαίων μετρήσεων των έξι σημειακών σταθμών

Στις μηνιαίες συγκεντρώσεις παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στις μετρήσεις στους χειμερινούς μήνες και τους καλοκαιρινούς μήνες, επίσης για το σύνολο των σταθμών. Την χειμερινή περίοδο (Νοέμβριο-Φεβρουάριο), εμφανίζονται τιμές κατά μέσο όρο από 12-18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στους σταθμούς στον αστικό ιστό της Πάτρας και γύρω στα 8-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στους σταθμούς εκτός αυτού. Την καλοκαιρινή περίοδο υπάρχει αποκλιμάκωση σε όλους τους σταθμούς με μέση τιμή τα 7-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Εδώ γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι εμφανίζεται το φαινόμενο της εποχικότητας.

Ειδικότερα και ανά σταθμό, διαπιστώνεται ότι οι σταθμοί στο λιμάνι της Πάτρας, και στον σταθμό Τριών Ναυάρχων (Σταθμοί αυξημένης κυκλοφορίας), συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Αυτό είναι λογικό, διότι και οι δύο αυτοί σταθμοί βρίσκονται σε αρκετά αστικό κλοιό σε περιοχή που κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της Πάτρας, δηλαδή σε περιοχή που υπάρχει αρκετή κίνηση. Ο σταθμός στα Δεμένικα παρότι είναι περιαστικός, παρατηρείται ότι έχει εξίσου μεγάλες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, επειδή βρίσκεται κοντά σε βιομηχανική ζώνη. Οι υπόλοιποι σταθμοί περιμετρικά της πόλης, είναι λογικό να έχουν μικρότερες τιμές αέριας ρύπανσης.

Συνοπτικά, οι σταθμοί αυξημένης κυκλοφορίας εμφανίζουν μεγαλύτερους μέσους όρους συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2,5}, έναντι των περιαστικών σταθμών για τους λόγους τους οποίους αναφέρθηκαν προηγουμένως. Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε και το φαινόμενο της εποχικότητας όπως και στην

μελέτη του στο μηνιαίο διάγραμμα καθώς, είχαμε μεγάλες συγκεντρώσεις τον χειμώνα και καθοδική τάση τους θερινούς μήνες.

4.2.4 Διερεύνηση οριακής τιμής για τα PM_{2,5} στους σταθμούς αναφοράς.

Στα παρακάτω πίνακα , απεικονίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές όπου φαίνεται ότι δεν προκύπτει υπέρβαση της οριακής τιμής 15 µg/m³ , όπως ορίζει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας.

Πίνακας 4.2.4: Συγκεντρωτικός πίνακας συνολικών μέσων ημερησίων τιμών.

A/A	ID 741- ΛΙΜΑΝΙ	ID 749 - ΑΓΥΑ	ID 1030 - ΤΡΙΩΝ ΝΑΥΑΡΧΩΝ	ID 1566 - ΠΑΝ ΠΑΤΡΩΝ	ID1672- ΚΑΣΤΕΛΟΚΑΜΠΟΣ	ID 14872 - ΔΕΜΕΝΙΚΑ
	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³	pm 2.5 µg/m ³ με οριακή τιμή τα 15 µg/m ³
Δευτέρα	10	8	11	6	8	10
Τρίτη	11	8	12	6	8	11
Τετάρτη	9	7	11	6	8	10
Πέμπτη	9	7	11	6	8	10
Παρασκευή	9	9	12	6	8	10
Σάββατο	9	8	14	6	8	10
Κυριακή	11	8	14	6	9	10

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα – Συζήτηση - Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα – Συζήτηση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της εμφάνισης αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Για τις ανάγκες της επεξεργασίας των μετρήσεων, η ανάλυση έγινε σε βήμα ωριαίο – εβδομαδιαίο – μηνιαίο, από 6 (έξι) σημειακούς σταθμούς, που βρίσκονται τόσο στην αστική, όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν το έτος 2019.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο κέντρο της Πάτρας εμφανίζονται περισσότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, συγκριτικά με τις περιοχές εκτός αστικού ιστού. Το φαινόμενο έχει την τάση να είναι πιο έντονο κατά κύριο λόγο τους χειμερινούς μήνες και κυρίως τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο. Αυτό βέβαια έχει να κάνει με την γεωγραφική θέση του κάθε σταθμού, αλλά και της ανθρώπινης δραστηριότητας που αναπτύσσεται στην ακτίνα μέτρησης των σταθμών. Για παράδειγμα, ένας σταθμός που βρίσκεται στο κέντρο της Πάτρας, εμφανίζει περισσότερες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, κατά την διάρκεια του έτους σε σχέση με έναν σταθμό που βρίσκεται εκτός πόλεως.

Για τις μέσες ημερήσιες-εβδομαδιαίες-μηνιαίες τιμές, παρατηρείται ότι ο σταθμός ID1030 (Τριών Ναυάρχων-ΚΕΝΤΡΟ) που χαρακτηρίζεται ως σταθμός αυξημένης κυκλοφορίας εμφανίζει την μεγαλύτερη μέση ημερήσια τιμή ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), μεγαλύτερη μέση εβδομαδιαία ($17\mu\text{g}/\text{m}^3$) και δεύτερη μεγαλύτερη μέση μηνιαία ($16\mu\text{g}/\text{m}^3$). Οι σταθμοί ID-741 στο Λιμάνι της Πάτρας και ID-14852 στα Δέμενικα, φαίνεται ότι έχουν παρόμοιες συγκεντρώσεις με αυτές του σταθμού των Τριών Ναυάρχων. Τα Δεμένικα παρότι περιστατικός σταθμός, κατά το έτος μελέτης 2019 παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις με αυτές του κέντρου της πόλης, καθώς αποτελεί βιομηχανική περιοχή.

Επιπλέον, το φαινόμενο της εμφάνισης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα έντονο τις βραδινές ώρες. Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο είναι πιο έντονο τις βραδινές ώρες και κυρίως τους χειμερινούς μήνες, διότι η θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή και ο κόσμος χρησιμοποιεί τα τζάκια ή σόμπες για θέρμανση, πράγμα που σημαίνει ότι οι καμινάδες εκπέμπουν ρυπογόνες ουσίες προς την ατμόσφαιρα.

Διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στην πόλη της Πάτρας και γενικότερα στις μεγαλουπόλεις μπορεί να εξαρτηθεί από πολλούς παράγοντες. Στην σημερινή εποχή επικρατεί το φαινόμενο της αστυφιλίας καθώς υπάρχει η τάση του πληθυσμού να φεύγει από τις μικρότερες πόλεις και να

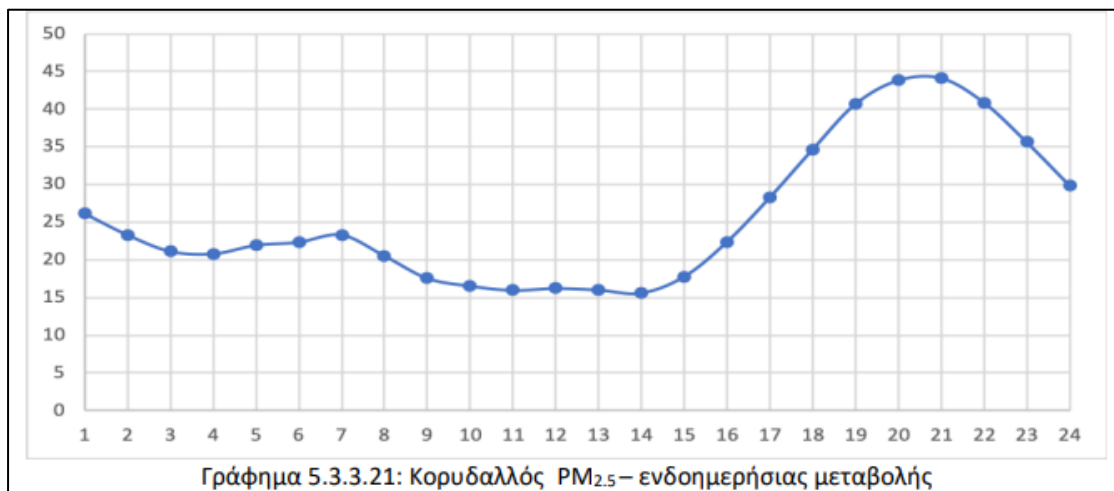
μετατοπίζεται προς τις μεγαλύτερες. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται υπερπληθυσμός και αυτό προκαλεί μεγαλύτερη κινητικότητα στις πόλεις περισσότερος κόσμος , περισσότερα οχήματα και γενικώς περισσότερη ανθρώπινη δραστηριότητα (βιομηχανίες, εργοστάσια κτλ) .

Οι πηγές εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων , τα κλιματικά δεδομένα και οι μετεωρολογικές συνθήκες με την σειρά τους επηρεάζουν επίσης τις συγκεντρώσεις των $PM_{2.5}$. Τα κλιματικά δεδομένα διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή, καθώς όμως και από την αύξηση του πληθυσμού.

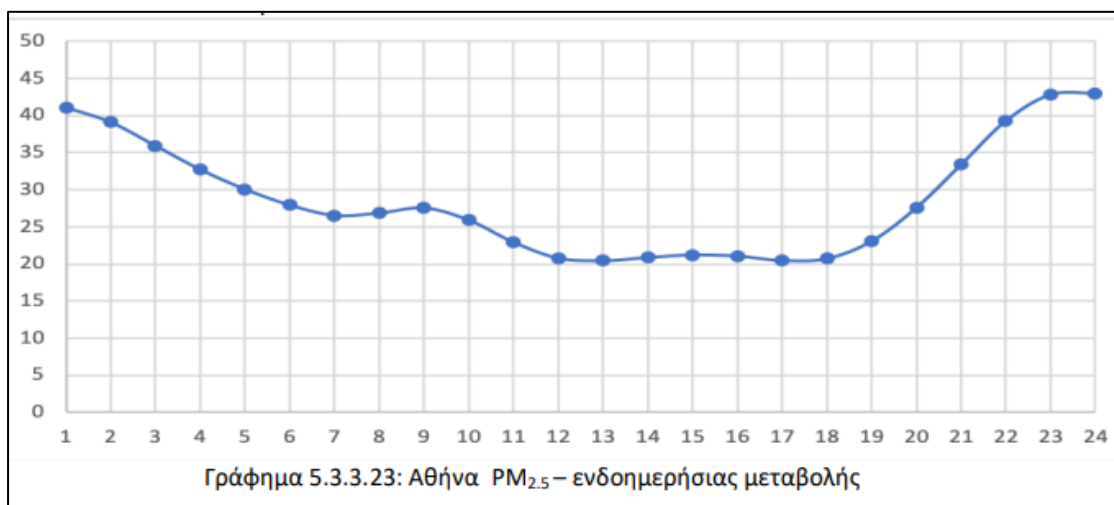
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί όπως προαναφερθήκαμε και προηγουμένως ότι δεν προκύπτουν υπερβάσεις της οριακής τιμής $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, όπως ορίζει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας για ημερήσιες μετρήσεις.

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων με άλλες μελέτες και περιοχές

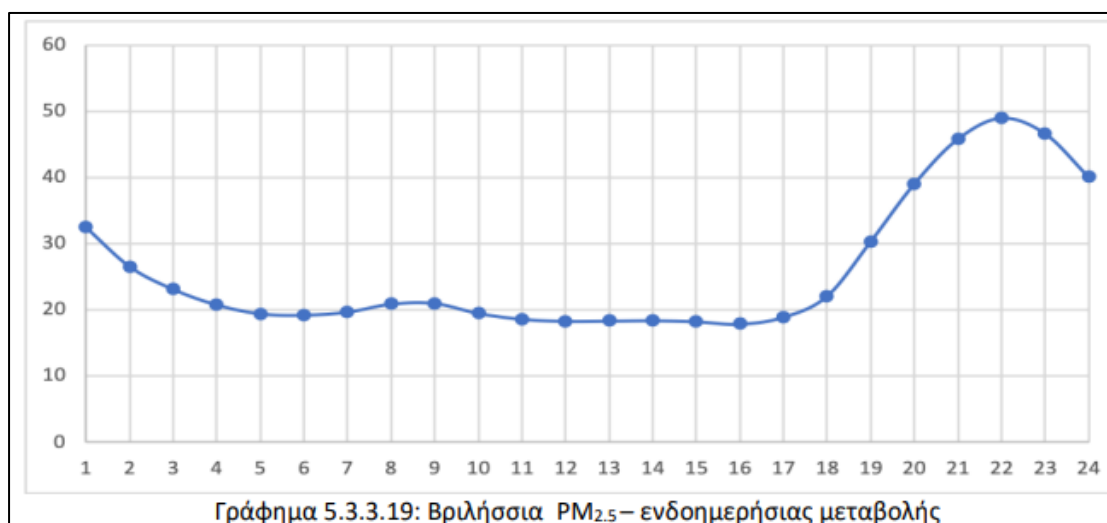
Τα αποτελέσματα για τις ενδοημερήσιες συγκεντρώσεις μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχες μετρήσεις από μελέτη που έγινε για την συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ για την πόλη της Αθήνας όπου επιλέχθηκαν κάποιοι σταθμοί εντός και εκτός αστικού ιστού. Στην παρούσα εργασία παρατηρήθηκε, ότι σε βήμα ημερήσιο οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν τις πρωινές και τις απογευματινές- βραδινές ώρες, διότι εκείνες τις ώρες η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι αυξημένη λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων, τις μεσημβρινές ώρες υπήρξε μία μείωση. Σύμφωνα με (Αγγελάκου, 2022) και στην Αττική σε όλους τους σταθμούς που επιλέχθησαν, παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις τις ίδιες ώρες μέσα στην ημέρα όπως και στην περιοχή της Πάτρας. Στα παρακάτω σχήματα 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 απεικονίζονται συγκεντρώσεις από τρεις σταθμούς στο λεκανοπέδιο της Αττικής:



Σχήμα 5.2.1 : Ημερήσιες συγκεντρώσεις (δυτική Αττική) (Αγγελάκου, 2022)

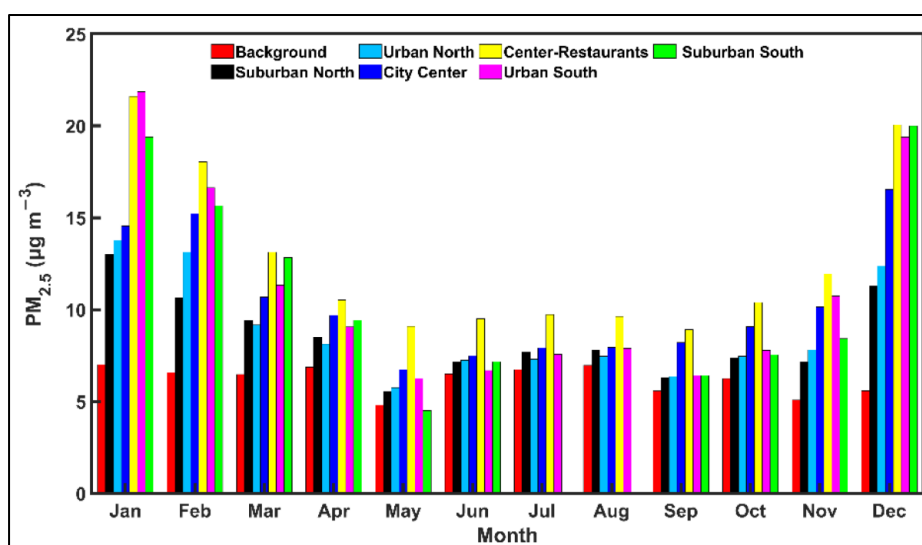


Σχήμα 5.2.2 : Ημερήσιες συγκεντρώσεις (Κέντρο Αθήνας) (Αγγελάκου, 2022)



Σχήμα 5.2.3 : Ημερήσιες συγκεντρώσεις (Ανατολική Αττική) (Αγγελάκου, 2022)

Όσον αφορά τις μετρήσεις με βήμα μηνιαίο, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έρχονται να συμφωνήσουν με τα αποτελέσματα της μελέτης από (Kosmopoulos et al., 2022) που πραγματοποιήθηκε για την πόλη της Πάτρας . Γενικά, και στους έξι σημειακούς σταθμούς τόσο εντός όσο και εκτός αστικού ιστού παρατηρήθηκε εποχικότητα στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων κατά την χειμερινή περίοδο από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο. Το παρακάτω σχήμα 5.2.4 όπου απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις για τους αστικούς και περιαστικούς σταθμούς, συμπίπτει με όλα τα παραπάνω διαγράμματα των ετήσιων διακυμάνσεων των έξι σημειακών σταθμών, καθώς η εποχικότητα εμφανίζεται και πάλι κατά την χειμερινή περίοδο για το σύνολο των σταθμών.



Σχήμα 5.2.4 : Μηνιαίες συγκεντρώσεις (Πάτρα) (Kosmopoulos et al., 2022)

5.3 Προτάσεις για βελτίωση

Για να μπορέσει να μελετηθεί πιο εύκολα και σε βάθος η εμφάνιση των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$ στην πόλη της Πάτρας , θα πρέπει το δίκτυο των οργάνων μέτρησης να ενισχυθεί, να τοποθετηθούν σταθμοί σε περισσότερα σημεία της πόλης με αποτέλεσμα να μας δίνουν μετρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια και κατ'επέκταση να καλύπτουν ακόμη μεγαλύτερο φάσμα της περιοχής και θα μας επιτρέψει να κάνουμε μεγαλύτερη ανάλυση.

Στα πλαίσια των προτάσεων και με βάση την παραπάνω ανάλυση, μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει αρχίσει να εμφανίζεται όλο και περισσότερο και σε άλλες περιοχές πέραν των δύο μεγαλουπόλεων Αθήνα και Θεσσαλονίκη και είναι ένα σοβαρό πρόβλημα με επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην δημόσια υγεία.

Οι αρμόδιες αρχές και η πολιτεία σε συνεργασία με την εκάστοτε τοπική αυτοδιοίκηση , θα πρέπει να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα ώστε να καταπολεμηθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση και κατά συνέπεια να μειωθούν οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2,5}$, έτσι ώστε να προστατευτεί η δημόσια υγεία.

Μέτρα αντιμετώπισης όπως η βελτίωση των μέσων μαζικής μεταφοράς με καινούργια λεωφορεία που θα εκπέμπουν λιγότερες ρυπογόνες ουσίες προς το περιβάλλον, θα ήταν μια αρκετά καλή πρώτη κίνηση αντιμετώπισης το προβλήματος. Με την αύξηση του στόλου των Μ.Μ.Μ και ιδίως των λεωφορείων , θα μειωθούν πιθανώς και οι μετακινήσεις με άλλα οχήματα ιδιωτικής χρήσης εντός πόλης, άρα και πιθανή αποκλιμάκωση των εκπομπών των ρύπων. Εδώ θα πρέπει, να κατασκευαστούν και λεωφορειολορίδες στους δρόμους της πόλης που θα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μόνο από τα λεωφορεία, αυτό θα βοηθήσει στην ομαλή μετακίνησή τους και στην μη καθυστέρηση των δρομολογίων. Επιπλέον , οι αρχές θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν και να προωθήσουν στους πολίτες την μετακίνηση με ποδήλατο με τη κατασκευή κατάλληλων ποδηλατοδρόμων ή και ακόμη την ενθάρρυνση της μετακίνησης με κάθε είδους ηλεκτροκίνητα οχήματα (από δίκυκλα οχήματα μέχρι ηλεκτρικά αυτοκίνητα) .Το τελευταίο, σίγουρα απαιτεί και τις κατάλληλες υποδομές για να πραγματοποιηθεί, όπως δημοτικούς σταθμούς φόρτισης των οχημάτων σε πολλά σημεία της πόλης.

Μία άλλη λύση για την εξάλειψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι η υιοθέτηση πρακτικών ενίσχυσης περιοχών με πράσινο. Στην Πάτρα ήδη έχουν γίνει αρκετά έργα πάνω στο κομμάτι της ανάπτυξης περιοχών με πράσινο, όπου σύμφωνα και με το (e-patras.gr) η επίσημη ιστοσελίδα του Δήμου Πατρέων, η πόλη βρίσκεται ανάμεσα στις τρεις πιο πράσινες πόλεις (άνω των 50.000 κατοίκων) της Ελλάδας με

ποσοστό 36% (20,8 από τα 55,7 τ. χλμ). Αυτές οι μικρές πράσινες οάσεις , δίνουν πνοή στην πόλη και συμβάλλουν στην καλή ποιότητα του αέρα.

Τέλος, θα πρέπει οι πολιτεία να ευαισθητοποιήσει τους πολίτες να τους ενημερώνει έγκαιρα και έγκυρα για το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης , καθώς και να υιοθετήσει προγράμματα που θα αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος. Η Ε.Ε έχει θεσπίσει πολιτικές για την μείωση της ατμόσφαιρας σύμφωνα με (www.europa.europa.eu, 2014) , μελλοντικός της στόχος είναι οι πολίτες της να ζουν σε ένα φυσικό και υγιές περιβάλλον η διαχείριση του οποίου θα εγγυάται τον σεβασμό των περιβαλλοντικών ορίων και θα διασφαλίζει την οικολογική ανθεκτικότητα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ec.europa.eu. (2010, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_10_112
2. patrasair.gr. (2017). Ανάκτηση από <https://www.patrasair.gr/>
3. patrasair.gr. (2017). Ανάκτηση από <https://www.patrasair.gr/>
4. eur-lex.europa.eu. (2018, Μάιος). Ανάκτηση από <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0050-20150918&from=DE>
5. op.europa.eu. (2018). Ανάκτηση από <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/>
7. www.health.ny.gov. (2018, Φεβρουάριος). Ανάκτηση από New York state: https://www.health.ny.gov/environmental/indoor/outdoor/air/pm10_a.htm
8. European environment agency . (2020, Νοέμβριος). Ανάκτηση από www.eea.europa.eu: http://ikee.lib.auth.gr/record/133251/files/LAZOLGOUee.pdf
9. european environment agency. (2021, Ιανουάριος). Ανάκτηση από www.eea.europa.eu: https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2020/grafikes-plirofories/ti-einai-i-rypansi/view
10. google earth. (2023). Ανάκτηση από earth.google.com: https://earth.google.com/web/
11. <https://www.statistics.gr/>. (2023). Ανάκτηση από https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf
12. ebooks.ebu.gr. (n.d.). Ανάκτηση από http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2206/Chimeia_B-Gymnasiou_html-empl/index3_1.html
13. environmental pollution centers. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/: https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/>
14. esa.int. (n.d.). Ανάκτηση από www.esa.int: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMQ3T4SZLG_0.html
15. <https://map.purpleair.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από <https://map.purpleair.com/: https://map.purpleair.com/1/mAQI/a0/p31536000/cC0#20.25/38.2629691/21.7485101>

16. <https://www2.purpleair.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από purple air:
<https://www2.purpleair.com/>
17. <https://zarifopoulos.com>. (n.d.). Ανάκτηση από
<https://zarifopoulos.com/portfolio/patras-university-bms/>
18. Karamfilova, E. (2021, January). erps european parliament research service. Ανάκτηση από european parliament:
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/654216/EPRS_STU\(2021\)654216_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/654216/EPRS_STU(2021)654216_EN.pdf)
19. Neira, D. M. (2016). Ambient air pollution, a global assessment of exposure and burden of disease.
20. wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση από el.wikipedia.org:
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AC%CF%84%CF%81%CE%B1>
21. wikipedia. (n.d.). Ανάκτηση από <https://el.wikipedia.org/wiki/>
22. World health organization. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.who.int/>
23. www.meteo.gr. (n.d.). Ανάκτηση από meteo.gr: <https://www.meteo.gr/>
24. ypen.gov.gr. (n.d.). Ανάκτηση από <https://ypen.gov.gr/perivallon/poriotita-tis-atmosfairas>
25. Αλμπάνης, Τ. (2009). Ρύπανση και τεχνολογίες προστασίας περιβάλλοντος, Αλμπάνης . Εκδόσεις Τζιόλα.
26. Βλυσίδης , Α. (2015). ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ. ΑΘΗΝΑ: Βλυσίδης Απόστολος Καθηγητής ΕΜΠ.
27. ΓΓΠΠ. (2008, Απρίλιος). Γενική Γραμματεία Πολιτικής προστασίας . Ανάκτηση από <https://civilprotection.gov.gr/>: <https://civilprotection.gov.gr/>
28. Εφιετζής, Σ. (2016, Φεβρουάριος). Μελέτη των επιπτώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης στη διαμόρφωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος παράκτιας αστικής περιοχής. ΑΘΗΝΑ.
29. Ζουριδάκης, Χ. (2016). Μελέτη της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στην πόλη της Λάρισας την περίοδο 2001-2013. Διπλωματική εργασ'οα, Πειραιάς.
30. Θεοδωρακάκης, Μ. (2013). www.inedivim.gr. Αθήνα: Γιώργος Κοπελιάδης.
31. Λύτρα, Μ., & Παπαθανασίου , Α. (2012, Ιούλιος). ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ PM2,5 ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΛΗ ΚΑΙ ΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012. ΚΟΖΑΝΗ.
32. Μελάς, Δ. (2017). pms.physics.auth.gr. Ανάκτηση από <http://pms.physics.auth.gr/lap/wp->

content/uploads/sites/4/2017/10/WEB_POLLUTIONsm.pdf:
[http://pms.physics.auth.gr/lap/wp-](http://pms.physics.auth.gr/lap/wp-content/uploads/sites/4/2017/10/WEB_POLLUTIONsm.pdf)
content/uploads/sites/4/2017/10/WEB_POLLUTIONsm.pdf

33. Ρεμουντάκη, Ε. (2010). Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση. Αθήνα: WWF.
34. Στογιάννης, Κ. (2019). Χωρική και χρονική κατανομή των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλες ελληνικές αστικές περιοχές. Πάτρα.
35. Τσιλικιρίδης, Γ. (2015). opencourses.auth.gr. Θεσσαλονίκη.
36. Ardon-Dryer, K., Dryer, Y., Williams, J. N., & Moghimi, N. (2020). Measurements of PM_{2.5} with PurpleAir under atmospheric conditions. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(10), 5441–5458. <https://doi.org/10.5194/amt-13-5441-2020>
37. Kosmopoulos, G., Salamalikis, V., Matrali, A., Pandis, S. N., & Kazantzidis, A. (2022). Insights about the Sources of PM_{2.5} in an Urban Area from Measurements of a Low-Cost Sensor Network. *Atmosphere*, 13(3), 440. <https://doi.org/10.3390/atmos13030440>
38. Russell, A. G., & Brunekreef, B. (2009). A Focus on Particulate Matter and Health. *Environmental Science & Technology*, 43(13), 4620–4625. <https://doi.org/10.1021/es9005459>
39. Tucker, W. G. (2000). An overview of PM_{2.5} sources and control strategies. *Fuel Processing Technology*, 65–66, 379–392. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(99\)00105-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(99)00105-8)
40. Varotsos, C. A., Mazei, Y., Saldaev, D., Efstathiou, M., Voronova, T., & Xue, Y. (2021). Nowcasting of air pollution episodes in megacities: A case study for Athens, Greece. *Atmospheric Pollution Research*, 12(7), 101099. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101099>