



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων
Οικονομικών

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

<<Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου>>

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων και
Καταστροφών

«Μελέτη της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10}) στη περιοχή της
Θεσσαλίας (Λάρισα-Βόλος)»

Παζαϊτή Κωνσταντίνα



Αθήνα, 2020



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας και Εφαρμοσμένων
Οικονομικών

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

<<Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου>>

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων και
Καταστροφών

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κατσαφάδος Πέτρος (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής καθηγητής στο τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Λαζαρίδη Κάτια

Καθηγήτρια , Αναπληρώτρια Πρύτανη, τμήματος Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Αμπελιώτης Κωνσταντίνος

Αναπληρωτής Καθηγητής στο τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Η Παζαΐτη Κωνσταντίνα

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τους ανθρώπους που στάθηκαν αρωγοί, τόσο στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και συγκεκριμένα προς :

- ❖ Τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Πέτρο Κατσαφάδο, για τις σημαντικές γνώσεις που προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, για τις συμβουλές και τη συνεχή βοήθεια που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.
- ❖ Τους υπόλοιπους διδάσκοντες του τμήματος Γεωγραφίας για τις γνώσεις που μου παρείχαν.
- ❖ Την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συνεχή εμπιστοσύνη και υπομονή που επέδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	11
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	23
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	23
2.1 Ιστορική αναδρομή	23
2.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση	26
2.3 Κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιπτώσεις τους.....	27
2.3.1 Το διοξείδιο του θείου (SO ₂)	28
2.3.2 Τα οξείδια του αζώτου (NO _x)	28
2.3.3 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	29
2.3.4 Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ) - Particulate Matter (PM)	30
2.3.5 Τροποσφαιρικό Όζον (O ₃).....	32
2.3.6 Αμμωνία (NH ₃)	32
2.3.7 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ) –Volatile Organic Compounds (VOC)	33
2.4 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων	34
2.5. Συσχέτιση Μετεωρολογικών Συνθηκών- Τοπογραφίας περιοχής και Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	35
2.5.1 Επίδραση των Μετεωρολογικών Παραμέτρων στη Μεταβολή των Αέριων Ρύπων.....	36
2.6. Η ελληνική νομοθεσία.....	38
2.6.1 Το ευρύτερο θεσμικό πλαίσιο	38
2.6.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία	39
2.6.3 Εφαρμογή διατάξεων που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση.....	42
2.6.4 Θεσμικοί κανονισμοί που ρυθμίζουν τα πρότυπα εκπομπών	45

2.6.5 Θεσμικό πλαίσιο αντιμετώπισης επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης	48
2.7 Θεσμικό πλαίσιο για τη ρύθμιση της πρόσβασης του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες.....	49
2.8 Σταθμοί μέτρησης αέριων ρύπων και επιδράσεις σε άνθρωπο και περιβάλλον.....	49
2.9 Μέθοδος μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων.....	52
2.10 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	55
2.10.1 Επιδράσεις στον άνθρωπο.....	55
2.10.2 Επιδράσεις στο περιβάλλον	58
2.10.3 Επιδράσεις στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και στην ορατότητα.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	60
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	60
3.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	67
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	73
3.3 Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ρύπων σε Λάρισα-Βόλο	73
3.4 Παρουσίαση και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων	76
3.5 Υπολογισμός της μεταβολής των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων για τις πόλεις Λάρισα- Βόλος.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	99
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	101
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	101
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	104
ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ.....	108

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι πλέον γεγονός ότι η έντονη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών έχει επιφέρει δυσμενείς συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων της σε συνδυασμό με την έντονη βιομηχανική ανάπτυξη. Όλα αυτά έχουν ως συνέπεια την επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα λόγω της εκπομπής αέριων ρύπων όχι μόνο από τις βιομηχανικές μονάδες αλλά και από την αυξανόμενη κυκλοφορία οχημάτων καθώς και από την ανάγκη του ανθρώπου για θέρμανση. Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης της αέριας ρύπανσης στην αστική περιοχή του Βόλου κα της Λάρισας, επικεντρωνόμενη στην μελέτη των PM_{10} αιωρούμενων σωματιδίων για το ημερολογιακό έτος 2017. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή με στοιχεία ατμοσφαιρικής ρύπανσης και με την κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε Ευρωπαϊκές πόλεις. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας γίνεται μια προσέγγιση για τον ορισμό-προσδιορισμό των αέριων ρύπων και στις επιπτώσεις τους και επίσης ακολουθεί η ισχύουσα νομοθεσία και τα θεσπισμένα μέσω αυτής όρια συγκέντρωσης.

Το τρίτο κεφάλαιο ξεκινάει με τα χαρακτηριστικά των περιοχών Λάρισας και Βόλου όπου μελετήθηκαν τα τοπογραφικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και ο ρόλος τους στη ρύπανση. Στη συνέχεια αναλύονται τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τις μετρήσεις των σταθμών που ανήκουν στη Περιφέρεια Θεσσαλίας κατά τη περίοδο 2017 και επιχειρείται μια λεπτομερέστερη επεξήγηση αυτών. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν γραφήματα με βάση την ημερήσια κατανομή των ρύπων PM_{10} .

Τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται και σχολιάζονται τα βασικά συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η παρούσα εργασία. Τα αποτελέσματα από την ανάλυση δεδομένων δείχνουν ότι τους χειμερινούς μήνες τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι πιο αυξημένα σε σχέση με την θερμή περίοδο (καλοκαιρινούς μήνες). Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός της ύπαρξης πρόσθετων πηγών όπως για παράδειγμα οικιακή θέρμανση, και στο γεγονός ότι οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες κατά τους χειμερινούς μήνες είναι λιγότερο ευνοϊκές για την διασπορά των ρύπων.

Λέξεις κλειδιά: Ατμόσφαιρα, Αέρια ρύπανση, σωματίδια, αστικά κέντρα

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to analyze the evolution of the air pollution in the urban area of Volos and Larissa, focusing mainly on the PM₁₀ particulate matter for the calendar year 2017. In the first part there is an introduction of atmospheric pollution and with the state of air pollution in European cities. The second part of the paper is a theoretical approach to the definition-designation of air pollutants, the factors that contribute to their creation and their consequences. It is now a fact that the intense urbanization of the last decades in Greece, and worldwide has resulted in adverse conditions of living for the residents since industrial development is consequently associated with the air quality of cities due to the emission of air pollutants not only from industrial units but from the increasing vehicle traffic as well. It follows the current legislation and the concentration limits established through it. These limits refer to both the protection of human health and the ecosystem.

The third chapter starts with the characteristics of the regions of Larissa and Volos where the topographical and climatic characteristics of each region were studied and their role in pollution. In the fthird part of the paper is an analysis of the data collected from the measurements of the stations that belong to the Region of Thessaly during the period 2017 and try to explain them in more detail.

The overall goal of the paper is to understand the magnitude of the problem of air pollution in Greek cities , to raise awareness on the issue and to contribute to the literature for the further study of the current situation. Finally in the fourth and final chapter, the main conclusion reached in this paper are presented and commented.

Keywords: atmosphere, air pollution, particles, urban centers

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΤΟ ΝΕΦΟΣ ΤΟΥ ΛΟΝΔΙΝΟΥ,1952	25
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗΣ Β ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 1020.....	52
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗ SEQUENTIAL ΜΕ ΚΑΣΕΤΙΝΑ 16 ΦΙΛΤΡΩΝ (ΔΕΞΙΑ)	53
ΕΙΚΟΝΑ 4. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΕΟΜ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ	54
ΕΙΚΟΝΑ 5. ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	55
ΕΙΚΟΝΑ 6. ΤΥΠΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΚΑΙ PM2.5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΡΙΧΑ ΜΑΛΛΙΟΥ ΚΑΙ ΜΕ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΟΥ ΑΜΜΟΥ. (ΚΟΥΛΛΑΠΗΣ Ν.,2010)..	56
ΕΙΚΟΝΑ 7. ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ PM2.5. (ΚΟΥΛΛΑΠΗΣ Ν.,2010)..	57
ΕΙΚΟΝΑ 8. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ PITTSBURG , 2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΗΜΕΡΩΝ , ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΩΡΑ, ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.	59
ΕΙΚΟΝΑ 9. Ο ΚΛΩΒΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΤΗΝ Π.Ε ΛΑΡΙΣΑΣ	74
ΕΙΚΟΝΑ 10. Η ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΣΕ ΚΛΟΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΟΡΟΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΑΝΩΤΕΡΑ ΚΑΙ ΚΑΤΩΤΕΡΑ ΟΡΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ, ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗΣ)... ..	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΈΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ ΑΝΑ ΜΗΝΑ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 6. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΠΟΛΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ (Ε.Μ.Υ.1955-1997)	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 7. ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ, ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗΣ)	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 8. ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΈΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ ΑΝΑ ΜΗΝΑ ΣΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1. ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ, 1979-2013	16
ΣΧΗΜΑ 2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ PM _{2.5} ΚΑΙ PM ₁₀ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	18
ΣΧΗΜΑ 3. ΜΗ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΚΡΑΤΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ.....	19
ΣΧΗΜΑ 4. ΤΑΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 1990 (ΑΠΟ ΤΟ 2000 ΓΙΑ PM _{2.5})	20
ΣΧΗΜΑ 5. ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ PM ₁₀ ΓΙΑ ΤΟ 2015 (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) - ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ NO ₂ ΓΙΑ ΤΟ 2015 (ΔΕΞΙΑ).....	21
ΣΧΗΜΑ 6. ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΠΑΡ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ	50
ΣΧΗΜΑ 7. ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	60
ΣΧΗΜΑ 8. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	61
ΣΧΗΜΑ 9. ΜΕΣΗ ΈΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΠΟΛΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ.....	64
ΣΧΗΜΑ 10. ΜΕΣΟΎΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	66
ΣΧΗΜΑ 11. ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ	67
ΣΧΗΜΑ 12. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	68
ΣΧΗΜΑ 13. ΜΕΣΗ ΈΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΒΟΛΟΥ	71
ΣΧΗΜΑ 14. ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ 2 ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ ΛΑΡΙΣΑ-ΒΟΛΟΣ	75
ΣΧΗΜΑ 15. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ	78
ΣΧΗΜΑ 16. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ	79
ΣΧΗΜΑ 17. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ	80
ΣΧΗΜΑ 18. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ	80
ΣΧΗΜΑ 19. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟ	81
ΣΧΗΜΑ 20. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟ	82
ΣΧΗΜΑ 21. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM ₁₀ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟ	83

ΣΧΗΜΑ 22. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟ	83
ΣΧΗΜΑ 23. ΦΟΡΤΙΟ ΣΚΟΝΗΣ (MG/M2) ΓΙΑ ΤΙΣ 16 ΜΑΪΟΥ 2017 ΣΤΙΣ 12:00 UTC (15:00 ΤΟΠΙΚΗ ΩΡΑ).....	84
ΣΧΗΜΑ 24. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΙΟ	85
ΣΧΗΜΑ 25. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΜΑΙΟ	85
ΣΧΗΜΑ 26. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟ	86
ΣΧΗΜΑ 27. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟ	86
ΣΧΗΜΑ 28. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟ	87
ΣΧΗΜΑ 29. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟ	87
ΣΧΗΜΑ 30. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΥΓΟΥΣΤΟ	88
ΣΧΗΜΑ 31. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΑΥΓΟΥΣΤΟ	88
ΣΧΗΜΑ 32. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ	89
ΣΧΗΜΑ 33. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ	89
ΣΧΗΜΑ 34. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟ.....	90
ΣΧΗΜΑ 35. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟ	90
ΣΧΗΜΑ 36. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ	91
ΣΧΗΜΑ 37. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ	91
ΣΧΗΜΑ 38. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ	92

ΣΧΗΜΑ 39. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ	92
ΣΧΗΜΑ 40. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	93
ΣΧΗΜΑ 41.ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΓΙΑ ΤΗ ΛΑΡΙΣΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	93
ΣΧΗΜΑ 42. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	94
ΣΧΗΜΑ 43. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΛΟ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	95
ΣΧΗΜΑ 44. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΓΙΑ ΤΟΝ ΒΟΛΟ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	96
ΣΧΗΜΑ 45. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ PM10 ΓΙΑ ΤΟ ΒΟΛΟ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2017	96

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

WHO	World Health Organisation
ΕΕΑ	European Environment Agency
ΕΡΑ	Environmental Protection Agency
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεων
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
ΕΔΠΑΡ	Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
ΕΕΑ	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
ΚΑΠΑ	Διεύθυνση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας Αέρα
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
PM	Particulate Matter
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
Κ.Υ.Α	Κοινή Υπουργική Απόφαση
TSP	Total Suspended Particulate
ΑΡΗΕΑ	Air Pollution and Health: A European Approach
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance

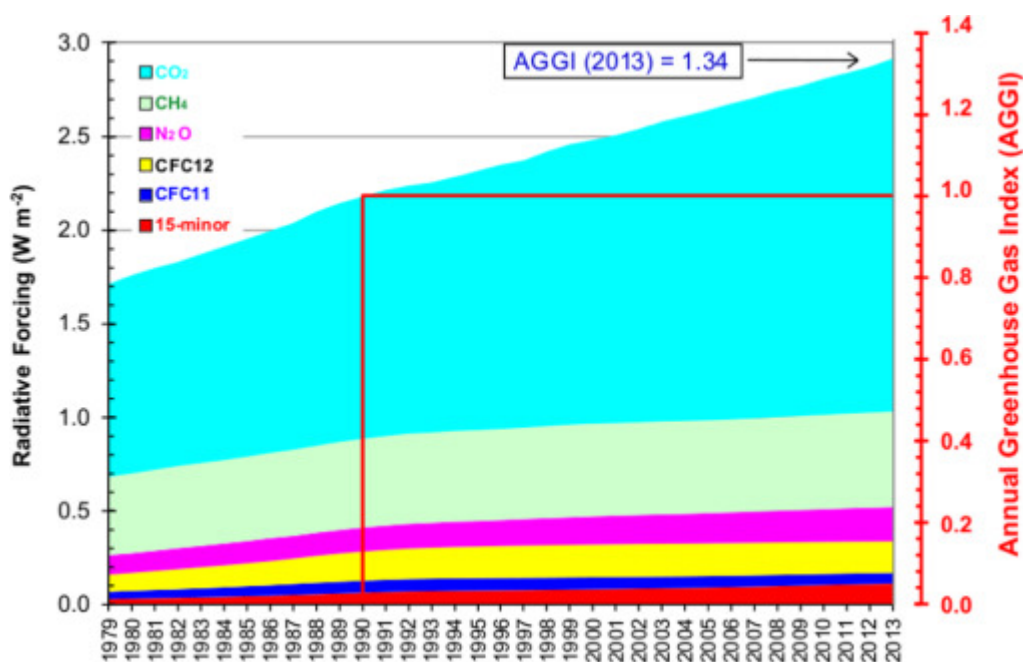
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που χρειάζεται αντιμετώπιση. Το πρόβλημα οφείλεται κυρίως στην υπερκατανάλωση ενέργειας, γι' αυτό και θα ήταν πιο σωστό η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Απελευθερώνονται καθημερινά στην ατμόσφαιρα διάφοροι ρύποι, δηλαδή διάφορα είδη ουσιών, όπως θόρυβοι, ακτινοβολία, ή άλλες μορφές ενέργειας σε ποσότητες που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία μας. Αντίστοιχα προκαλούν και προβλήματα στην χλωρίδα και πανίδα του τόπου μας. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε τέτοια επίπεδα που το περιβάλλον δεν θα μπορεί να μας φιλοξενήσει πλέον, αφού οι συνθήκες διαβίωσης δεν θα είναι οι επιθυμητές (Τσαουλή, 2010).

Σύμφωνα με τον Βερύκιο (2003), ως ατμοσφαιρική ρύπανση αναφέρεται << η παρουσία στην ατμόσφαιρα κάποιας ουσίας, που εκπέμπεται από τη φύση ή τον άνθρωπο και προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα υλικά αγαθά και στο περιβάλλον>>. Από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO 2000), ως ορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δίνεται << η μόλυνση του περιβάλλοντος από οποιαδήποτε χημική, φυσική ή βιολογική αλλαγή, στα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας>>. Σύμφωνα με τον WHO (Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας), σαν κύρια πηγή εκπομπής των ατμοσφαιρικών ρύπων ορίζεται η υπερβολική χρήση των ορυκτών καυσίμων, η μεταφορά στους δρόμους, οι σταθμοί παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Τα αερολύματα, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA, 2004) εκτός από την άμεση επίδραση στην ποιότητα των ατμοσφαιρικών ρύπων ενδεχομένως σημαντικό ρόλο παίζουν και στη θέρμανση του πλανήτη, διαταράσσοντας το περιφερειακό ισοζύγιο ακτινοβολίας που επηρεάζει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία και οδηγεί σε αναγκαστική κλιματική αλλαγή. Συνεπώς η ακριβής εκτίμηση των συγκεντρώσεων στην κατώτερη τροπόσφαιρα θα συμβάλει στη βελτίωση των γνώσεων σχετικά με τη σύνδεση της αστικής / περιφερειακής ρύπανσης με την κλιματική αλλαγή. Η αναγκαστική αλλαγή του κλίματος εντός της πόλης προέρχεται από τους αέριους ρύπους και εμφανίζεται σε δύο μορφές: α) με την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και θερμότητας και β) με ανάκλαση της ηλιακής θερμικής ενέργειας (Αρνητική κατακράτηση ακτινοβολίας) (Khodakarami & Ghobadi, 2016). Στο σχήμα 1. που ακολουθεί φαίνεται η κατακράτηση ακτονοβολίας.



Σχήμα 1. Κατακράτηση ακτινοβολίας που προκαλείται από σημαντικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, 1979-2013

(Khodakarami& Ghobadi,2016).

Όσο αφορά τις αστικές περιοχές, η ατμοσφαιρική ρύπανση εστιάζει στις δομημένες περιοχές και κυρίως όσες από αυτές είναι πυκνοκατοικημένες. Οι πηγές ρύπανσης είναι κυρίως τα οχήματα και έπειτα λόγω της θέρμανσης. Οι πηγές αυτές αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται ραγδαία ακολουθώντας την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της κάθε χώρας. Επειδή τόσο η χρήση των αυτοκινήτων όσο και η χρήση της θέρμανσης μπορούν να θεωρηθούν σε πρώτη προσέγγιση ανάλογες του πληθυσμού, τα προβλήματα αστικής ρύπανσης διαβαθμίζονται κατ' αυξητική έννοια από τις μικρές προς τις μεγάλες πόλεις.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter – PM) είναι μια σημαντική κατηγορία αέριας ρύπανσης , τα οποία υπάρχουν σε μια μεγάλη ποικιλία μεγεθών και σχημάτων, που άλλες φορές είναι υγρής μορφής (σταγονίδια) , ή ξηρής μορφής (σκόνες), με ένα ευρύτατο φάσμα φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μάζα και ειδικό βάρος τέτοια που τους επιτρέπει την αιώρηση τους για μεγάλες χρονικές περιόδους (Ζάνης,2014) και αυτή η ιδιότητά τους τα καθιστά ικανά να ταξιδέψουν για μεγάλες αποστάσεις (όπως για παράδειγμα η αφρικανική σκόνη). Σύμφωνα με το μέγεθός τους τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται σε ολικά αιωρούμενα σωματίδια (Total Suspended Particulates- TSP) τα οποία αποτελούν στο σύνολό τους και τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια (Inspirable Particulates-IPs) τα οποία έχουν μικρή διάμετρο και έχουν την ιδιότητα να εισέρχονται στους πνεύμονες κατά την εισπνοή. Όσο μειώνεται η διάμετρος , αυξάνεται ο χρόνος αιώρησης ,αλλά

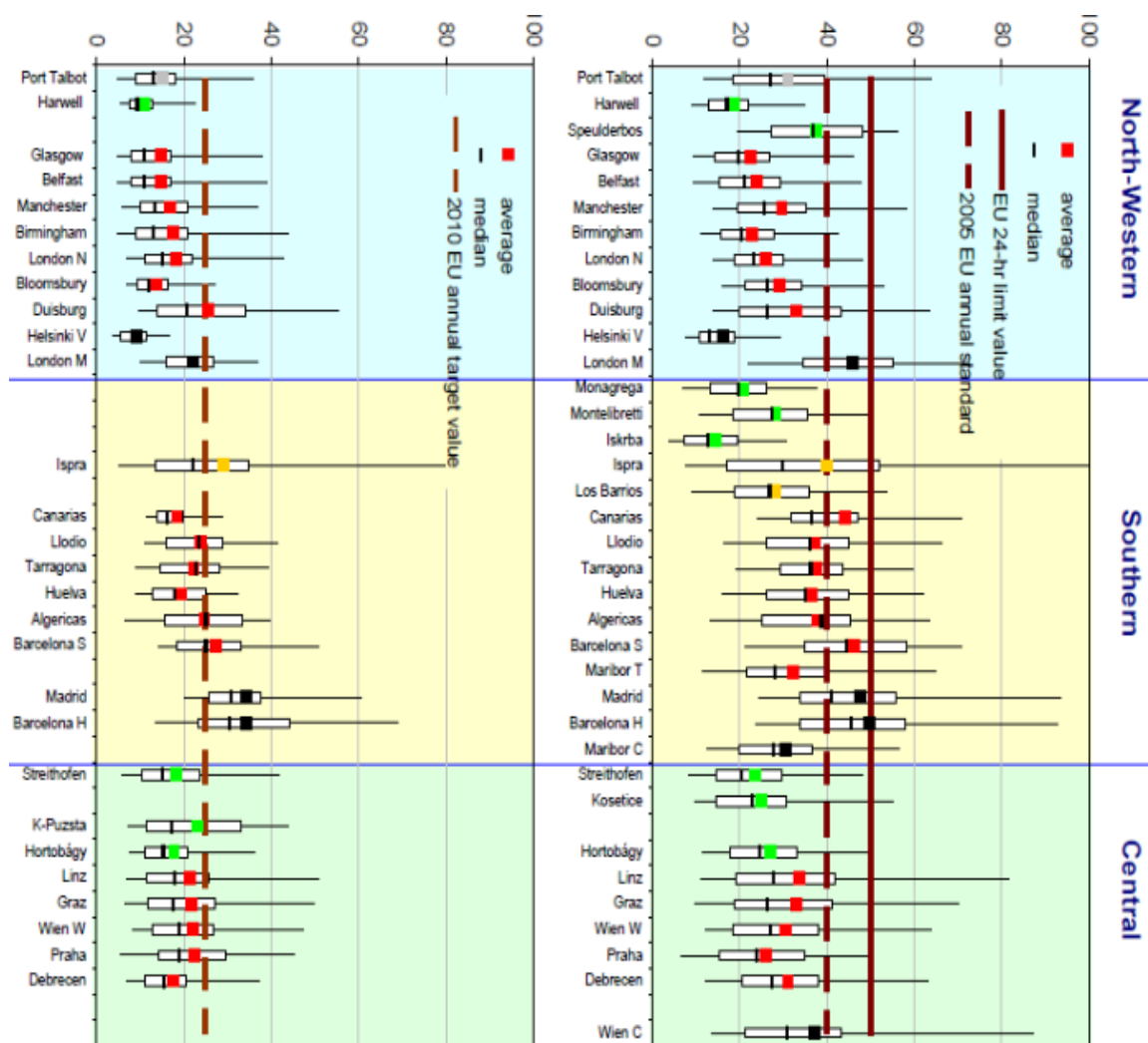
και η διεισδυτικότητα των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.(ΕΡΑ,2017). Έτσι τα εισπνεύσιμα σωματίδια κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μ m (PM₁₀) και,
- Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μ m (PM_{2,5})

Και τα 2 είδη σωματιδίων παράγονται κυρίως από καύσεις (ορυκτά καύσιμα, βιομάζα), αλλά και δευτερογενώς από άλλους ρύπους ενώ σε ποσοστό έως 50% αποτελούνται από άνθρακα.

(ΕΡΑ,2017).

Στο παρακάτω σχήμα 2 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} για διάφορες πόλεις της Ευρώπης. Τα σωματίδια PM₁₀ εμφανίζονται στο δεξί ενώ τα σωματίδια PM_{2.5} στο αριστερό γράφημα . Για τα σωματίδια PM₁₀ εκτός του Λονδίνου και της Spreulderbos, όλες οι υπόλοιπες πόλεις έχουν τιμές κάτω από το ημερήσιο και ετήσιο όριο, ενώ για τα PM_{2.5} πάνω από τον ετήσιο μέσο όρο είναι το Ντούισμπουργκ και κάποιες περιοχές του Λονδίνου. Στη νότια Ευρώπη παρατηρούνται περισσότερες υπερβάσεις σε σχέση με την κεντρική, όπου επικρατεί μια καλή σχετικά εικόνα για τα PM₁₀, ωστόσο για τα PM_{2.5} .Οι μεγαλουπόλεις της κεντρικής Ευρώπης είναι πάνω από το ημερήσιο όριο. (Μπεληγιάννης,2013).



Σχήμα 2. Συγκεντρώσεις PM_{2.5} και PM₁₀ στην Ευρώπη

(Hitzenberger, 2008).

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται με γκρι χρώμα η βιομηχανική περιοχή, με πράσινο η αγροτική, με κίτρινο η περιαστική, με κόκκινο αντιστοιχεί σε αστικού υπόβαθρου και με μαύρο σε επίπεδο δρόμου.

Σύμφωνα με ειδική έκθεση αριθ.23,2018 του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), σχεδόν το 80% των κατοίκων των αστικών περιοχών εκτίθεται σε επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που δεν τηρούν τα όρια που έχει θέσει ο Οργανισμός. Η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι ίδια για όλο τον κόσμο. "Αν και πλήττονται όλες οι περιοχές του κόσμου, οι κάτοικοι των πόλεων χαμηλού εισοδήματος είναι αυτοί που υφίστανται τις περισσότερες συνέπειες", προειδοποιεί.

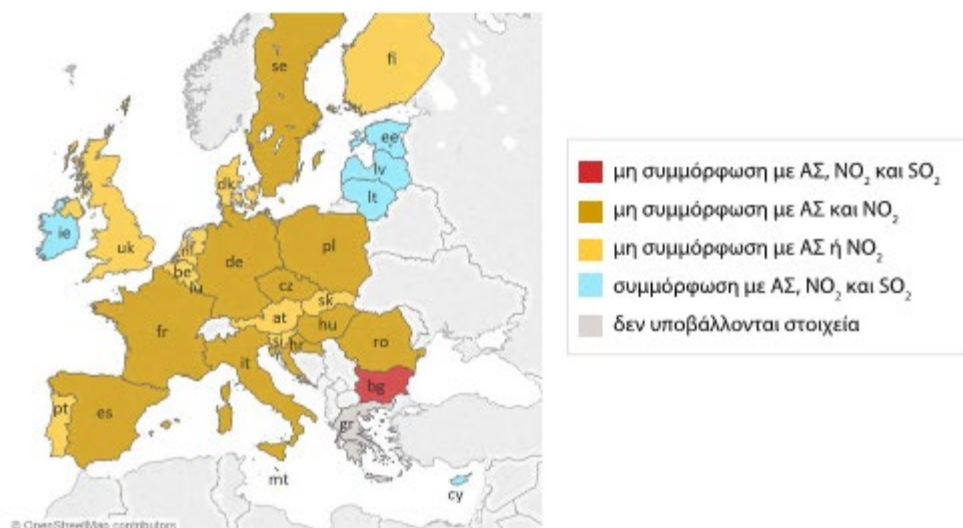
Σύμφωνα με τον ΕΕΑ (European Environmental Agency) ¹το 2015 περίπου το ένα τέταρτο των Ευρωπαίων που ζουν σε αστικές περιοχές εξετέθη σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων τα οποία

¹ ΕΟΠ,<<Outdoor air quality in urban areas>>,2017.

υπερβαίνουν μερικά πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της ΕΕ και έως 96 % των πολιτών της ΕΕ που ζουν σε αστικές περιοχές εξετέθη σε επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων τα οποία ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), θεωρεί επιβλαβή για την υγεία(ΕΕΑ,2017).

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία οφείλεται σε υψηλές συγκεντρώσεις μικρών σωματιδίων (PM_{10}) και λεπτών σωματιδίων ($PM_{2,5}$) που περιλαμβάνουν ρύπους όπως τα οξείδια του θείου, τα νιτρικά και η αιθάλη, συνιστούν τον κύριο περιβαλλοντικό παράγοντα για την υγεία.

Το 2016, 13 μέλη παραβίασαν τις οριακές τιμές PM , 19 τις οριακές τιμές NO_2 και ένα τις οριακές τιμές SO_2 . Και τα 28 κράτη μέλη της ΕΕ , εκτός της Εσθονίας, της Ιρλανδίας, της Κύπρου, της Λετονίας ,της Λιθουανίας και της Μάλτας παραβίασαν μία ή περισσότερες από τις οριακές τιμές (Ειδική Έκθεση,2018).²

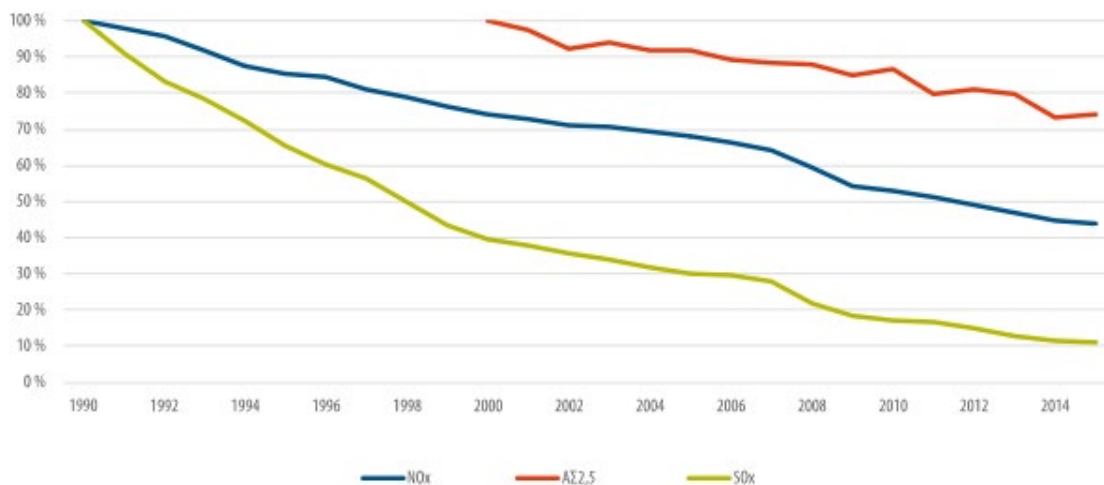


Σχήμα 3. Μη συμμόρφωση κρατών σε σχέση με οριακές τιμές σωματιδίων

Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Ο ΕΕΑ επισημαίνει ότι, τις τελευταίες δεκαετίες, ευρωπαϊκές οδηγίες και κανονισμοί (όπως αυτοί που οδήγησαν στη μετάβαση σε άλλα είδη καυσίμου ή στη μείωση του μη αποδοτικού εξοπλισμού) συνέβαλαν στη μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Στο διάστημα από το 1990 έως το 2015, οι εκπομπές SO_x μειώθηκαν στην ΕΕ κατά 89 % και οι εκπομπές NO_x κατά 56 %. Από το 2000, οι εκπομπές $PM_{2,5}$ μειώθηκαν κατά 26 % όπως φαίνεται στο γράφημα (ΕΕΑ,2017).

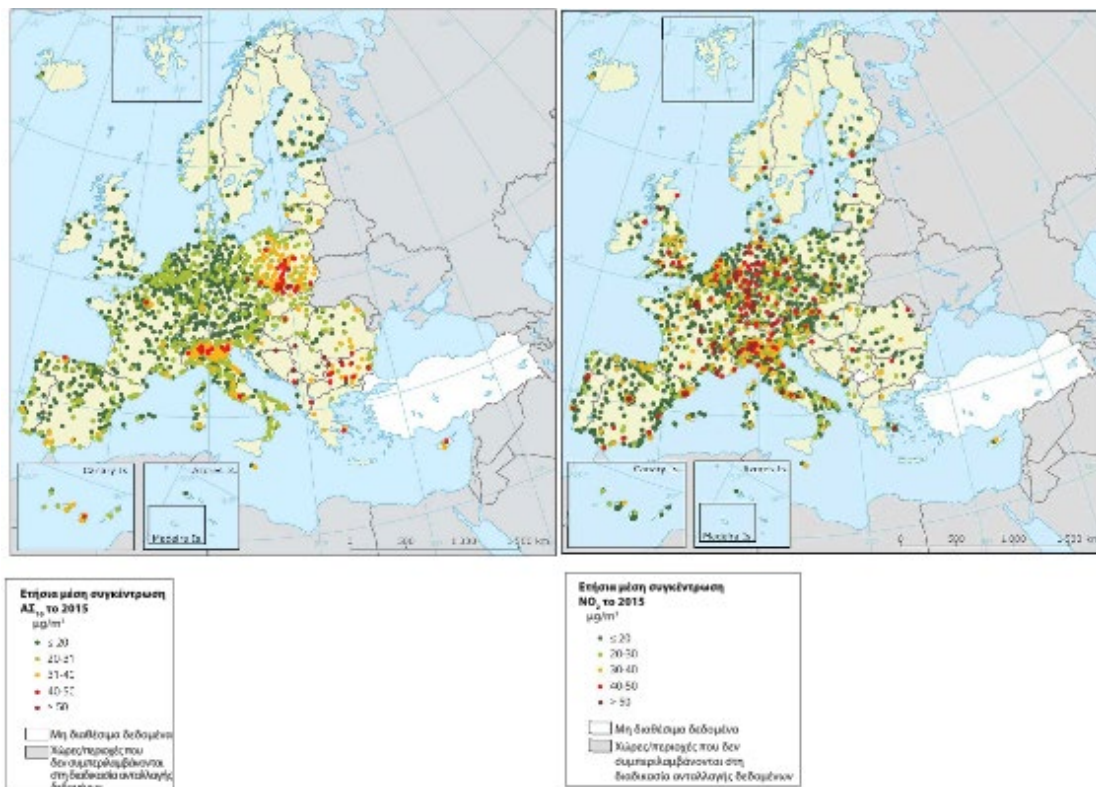
² <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/#B18>



Σχήμα 4. Τάσεις εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από το 1990 (από το 2000 για PM2.5)

Πηγή: ΕΕΑ

Σύμφωνα με τον WHO (Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας 2015), και τον ΕΕΑ (European Environmental Agency 2017), αυτή η μείωση των συνολικών εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων δεν σημαίνει αυτομάτως παρόμοιες μειώσεις των συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων. Η σχετική με τη ρύπανση στην πηγή νομοθεσία της ΕΕ δεν επικεντρώνεται στη μείωση των εκπομπών στους τόπους στους οποίους οι άνθρωποι υποφέρουν περισσότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση ή παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις. Για παράδειγμα, αν και οι εκπομπές των κινητήρων των αυτοκινήτων μειώνονται, λόγω των αυστηρότερων προδιαγραφών της ΕΕ για τις εκπομπές, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί παρ' όλα αυτά να αυξάνεται, εάν αυξάνεται η χρήση του αυτοκινήτου. Επομένως, η λήψη συγκεκριμένων μέτρων σε κατοικημένες περιοχές είναι αναγκαία για τη μείωση των συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς η έκθεση των ανθρώπων, ιδίως σε PM και NO₂, παραμένει υψηλή. (Ειδική Έκθεση, 2018).



Σχήμα 5. Ετήσια μέση συγκέντρωση PM_{10} για το 2015 (αριστερά) - Ετήσια μέση συγκέντρωση NO_2 για το 2015 (δεξιά)

Πηγή: Δεδομένα και χάρτες ΕΕΑ

Έπειτα από πρόσφατους ελέγχους για τον περιορισμό των ποσοστών των αέριων ρύπων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε να παραπέμψει στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο έξι κράτη μέλη της, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ουγγαρία, την Ιταλία, τη Ρουμανία και τη Βρετανία επειδή δεν τηρούν τις υποχρεώσεις τους όσον αφορά την ποιότητα του αέρα. Η κίνηση αυτή πραγματοποιείται μετά τη σύνοδο κορυφής του Ιανουαρίου 2018, κατά την οποία η Επιτροπή δήλωσε ότι θα σκληρύνει τη στάση της έναντι των κρατών μελών που εξακολουθούν να παραβιάζουν τους στόχους που θεσπίστηκαν το 2005 και το 2010. (European Commission, 2018).

Η Γαλλία, η Γερμανία και η Βρετανία παραπέμπονται στο δικαστήριο επειδή δεν τήρησαν τα όρια για το διοξείδιο του αζώτου, που εκλύεται από τις εξατμίσεις. Η Ουγγαρία, η Ιταλία και η Ρουμανία δεν τήρησαν τις προδιαγραφές για τα επίπεδα των αιωρούμενων μικροσωματιδίων, των υλικών εκείνων (σκόνη, καπνός, αιθάλη, γύρη) που είναι με φυσικό τρόπο παρόντα στον αέρα, όμως η συγκέντρωσή τους αυξάνεται από τη ρύπανση. (Greenagenda.gr). Η Ισπανία, η Σλοβακία και η Τσεχία απέφυγαν το δικαστήριο καθώς υποσχέθηκαν μέτρα που θα τους επιτρέψουν να συμμορφωθούν με τους κανόνες της ΕΕ για την ποιότητα του αέρα (European Commission, 2018).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αστικών περιοχών με σύγχρονα προβλήματα από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το Πεκίνο (Ασία), οι περισσότερες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (ΗΠΑ) και αρκετές Ευρωπαϊκές πόλεις, συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας (Αθήνα, Θεσσαλονίκη κ.α). Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την Ευρώπη έχουν γίνει μελέτες στην αστική περιοχή του Λονδίνου, στο Παρίσι, στο Βερολίνο, στη Στοκχόλμη, στο Βουκουρέστι, στη Βιέννη, στη Ρώμη και στη Μαδρίτη, όπου τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ρύποι συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις κοντά στις πηγές εκπομπής τους (δρόμοι, βιομηχανικές μονάδες), ενώ παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές σε περιοχές μακριά από τα αστικά κέντρα. Ενώ, τα αιωρούμενα σωματίδια γενικά παρουσιάζονται μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, οι συγκεντρώσεις τους όμως ενισχύονται αρκετά στα σημεία αυξημένης κυκλοφορίας (Γρυδάκη, 2010).

Εν συνεχεία, εστιάζοντας στον Ελλαδικό χώρο και στην περιοχή μελέτης που είναι η Περιφερειακή Ενότητα της Θεσσαλίας, η ρύπανση της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των δύο μεγάλων αστικών κέντρων της Θεσσαλίας, δηλαδή της Λάρισας και του Βόλου, με αρνητικές επιπτώσεις στους κατοίκους, στην υγεία και στην καθημερινότητά τους. Οι μετρήσεις που αναλύθηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, προέρχονται από την Περιφέρεια Θεσσαλίας και αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} .

Χαρακτηριστικά μια σχετικά πρόσφατη έρευνα (Kallantzi, 2011) με περιστατικά από το Γενικό Νοσοκομείο του Βόλου έδειξε μια σημαντική σχέση για μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ της επείγουσας νοσηλείας λόγω αναπνευστικών ή καρδιαγγειακών νοσημάτων και τα επίπεδα των ρύπων του περιβάλλοντος σε μια μέτρια βιομηχανική και τουριστική περιοχή όπως είναι ο Βόλος. Τα ευρήματά αυτά ενισχύουν την ανάγκη για κατάλληλα μέτρα με τα οποία ελέγχεται επαρκώς τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό η καταγραφή και η μελέτη των συγκεντρώσεων των σημαντικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων (αερίων και σωματιδίων) κρίνεται απαραίτητη, (Ξυγκογιάννη, 2012).

Με βάση τα παραπάνω στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την Περιφερειακή Ενότητα της Θεσσαλίας. Για το σκοπό αυτό:

- Επεξεργάστηκαν μετρήσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} στις δύο μεγαλύτερες Θεσσαλικές πόλεις για το έτος 2017.

- Μελετήθηκε η διακύμανση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και αναλύθηκε η χρονική εξέλιξη της αέριας ρύπανσης στην αστική περιοχή του Βόλου και της Λάρισας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικά στοιχεία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις επιπτώσεις τους όπως και οι πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων. Επιπλέον γίνεται η συσχέτιση των μετεωρολογικών συνθηκών και της τοπογραφίας της περιοχής σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στη συνέχεια του δεύτερου κεφαλαίου παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο καθώς και τα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης ρύπων, όπως επίσης παρουσιάζονται οι σταθμοί μέτρησης των ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και οι μέθοδοι μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων και οι επιδράσεις τους σε άνθρωπο και περιβάλλον. Το τρίτο κεφάλαιο συνεχίζεται με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης της Λάρισας και του Βόλου όπου γίνεται περιγραφή των χαρακτηριστικών των σταθμών μέτρησης ρύπων σε Λάρισα και Βόλο και γίνεται η παρουσίαση των μετρήσεων και των διαγραμμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων όπως προέκυψαν από τη μελέτη και την επεξεργασία των στοιχείων για τη πόλη της Λάρισας και του Βόλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

2.1 Ιστορική αναδρομή

Η βιομηχανική επανάσταση τον 18ο 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. Το βασικό πρόβλημα της αέριας ρύπανσης το 19ο αιώνα ήταν ο καπνός και η στάχτη από την καύση κάρβουνου ή πετρελαίου σε καυστήρες, σε φούρνους, σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, στα τρένα, πλοία και στις οικιακές εστίες θέρμανσης. Στην Αγγλία ήταν τόσο σημαντικό το πρόβλημα ώστε ακολουθήθηκαν στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης όπως επιβεβαιώνεται από την πρώτη Δράση Δημόσιας Υγείας το 1848 και τις επόμενες το 1866 και 1875. Στις Η.Π.Α. η στρατηγική ελέγχου των εκπομπών μαύρου καπνού ήταν ευθύνη της εκάστοτε επαρχίας (1880) και

απευθύνονταν κυρίως σε βιομηχανικές πηγές και στις μεταφορές και όχι σε οικιακές πηγές ρύπων. (Μαραζιώτης,2006).

Την πρώτη περίοδο του 20ου αιώνα (1900-1925) μια βασική εξέλιξη ήταν η αντικατάσταση της ατμομηχανής με τον ηλεκτροκινητήρα που μετέφερε τις εκπομπές καπνού και στάχτης από τον καυστήρα του εργοστασίου στον καυστήρα των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Βέβαια καθώς ο αριθμός των πόλεων και των εργοστασίων αυξάνονταν το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης οξυνόταν. Στις αρχές του 20ου αιώνα ο Dr. Henry Antoine Des Voeux σε ένα άρθρο του το 1905 με τίτλο “Fog and Smoke” δηλαδή «Ομίχλη και Καπνός» σημειώνει ότι δεν χρειάζεται επιστημονική γνώση για να παρατηρήσει κάποιος ότι σε πολλές μεγάλες πόλεις υπάρχει καπνώδης ομίχλη που το ονόμασε “Smog” (δηλαδή Καπνομίχλη) από τον συνδυασμό των λέξεων “Smoke+Fog”. Μια άλλη βασική εξέλιξη της πρώτης περιόδου του 20ου αιώνα (1900-1925) ήταν η αντικατάσταση του άνθρακα από πετρέλαιο σε πολλές εφαρμογές αλλά κυρίως η ξαφνική αύξηση των αυτοκινήτων.

Κατά την περίοδο 1925-1950 εμφανίζονται σημαντικά επεισόδια αέριας ρύπανσης όπως στο Meuse Valley (Βέλγιο) το 1930 με 63 νεκρούς, Donora Pennsylvania (ΗΠΑ) το 1948 με 20 νεκρούς και Poza Rica (Μεξικό) το 1950 καθώς επίσης έχουμε και την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους στο Los Angeles της Καλιφόρνιας στη δεκαετία το 1940 όποτε και αρχίζει να εντατικοποιείται η επιστημονική έρευνα σε θέματα αέριας ρύπανσης.

Κατά την περίοδο 1950-1980, ένα σημαντικό επεισόδιο αέριας ρύπανσης (καπνομίχλης) χτυπά το Λονδίνο (1952) με καταστροφικές συνέπειες (4000 νεκροί). Το επεισόδιο ρύπανσης χαρακτηρίζονταν από υψηλά επίπεδα SO₂ και σωματιδίων υπό την παρουσία πυκνής χαμηλής ομίχλης με χαμηλή και ισχυρή θερμοκρασιακή αναστροφή. Σαν αποτέλεσμα η Αγγλία ακολούθησε τη δράση “Clean Air Act” για να μειώσει τις εκπομπές ρύπων αντικαθιστώντας τη θέρμανση μέσω τζακιών , με κεντρική ηλεκτρική θέρμανση. Όμως το πρόβλημα των αιωρούμενων σωματιδίων , θα επανέλθει αργότερα με την ραγδαία κυκλοφοριακή αύξηση στις επόμενες δεκαετίες του 1980 & 1990 (Longhurst, Barnes, Chatterton, Hayes & Williams,2016).



Εικόνα 1. Το νέφος του Λονδίνου, 1952

(The Telegraph, 2012)

Κατά την διάρκεια της περιόδου 1950-1980 όλες σχεδόν οι Ευρωπαϊκές χώρες καθώς και η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία είχαν την εμπειρία σοβαρών προβλημάτων αέριας ρύπανσης στις μεγάλες πόλεις με αποτέλεσμα αυτές οι χώρες να δράσουν για την δημιουργία εθνικής νομοθεσίας ελέγχου της αέριας ρύπανσης. Επίσης κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου τα αυτοκίνητα συνεχίζουν να αυξάνονται με μεγάλους ρυθμούς.

Στην περίοδο 1950-1980 η επιστημονική και η τεχνολογική έρευνα στην Ευρώπη και Αμερική αυξάνονται εκθετικά. (Ζάνης, 2008). Το τεχνολογικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην α) αέρια ρύπανση από τα αυτοκίνητα και τον έλεγχό της, β) την ρύπανση του SO_2 και τον έλεγχο της με την αποθείωση των καυσίμων και γ) στον έλεγχο των NO_x που παράγονται από διαδικασίες καύσης. Στο επιστημονική έρευνα αναπτύσσονται μαθηματικά μοντέλα και όργανα μέτρησης διαφόρων χημικών στοιχείων ενώ αρχίζουν να εγκαθίστανται οι πρώτες μονάδες παρακολούθησης και μέτρησης της ποιότητας του αέρα.

Μετά το 1980 γίνεται κατανοητό ότι το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης δεν είναι τοπικό αλλά επιδρά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα από την περιφερειακή κλίμακα έως την ημισφαιρική και παγκόσμια κλίμακα και εντείνεται το ενδιαφέρον για α) το φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω CO_2 και άλλων θερμοκηπικών αερίων με μεγάλο χρόνο ζωής, β) την καταστροφή όζοντος στην στρατόσφαιρα λόγω αλογονούχων ενώσεων και γ) την περιφερειακή, διακρατική και διηπειρωτική μεταφορά αέριων ρύπων (όξινη βροχή, αύξηση του υποβάθρου τροποσφαιρικού όζοντος σε ημισφαιρική κλίμακα). Αυτή την περίοδο έχουμε την εμφάνιση της οικολογικής και

περιβαλλοντικής προσέγγισης από Οργανισμούς και Κυβερνήσεις κρατών ενώ για πρώτη φορά υπογράφονται παγκόσμιες συμφωνίες κρατών όπως το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για την αντιμετώπιση της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος και το Πρωτόκολλο του Κιότο για την αντιμετώπιση της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (Τσιριγώτη, 2012)

2.2Ατμοσφαιρική ρύπανση

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Ν. 1650/1986), ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται «η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια, που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής, της σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας». Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μιας περιοχής εξαρτάται από το είδος των ρύπων και τη συγκέντρωση τους στην ατμόσφαιρα, που με τη σειρά της επηρεάζεται από τις μετεωρολογικές συνθήκες (υγρασία, άνεμοι, ηλιοφάνεια, αναστροφή θερμοκρασίας), τη μορφολογία του εδάφους και τη δόμηση της περιοχής. Η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα υποβιβάζει την ποιότητα του εισπνεόμενου αέρα, ενώ η υπέρβαση της συγκέντρωσης ορισμένων από αυτούς στην ατμόσφαιρα αστικών και βιομηχανικών περιοχών προκαλεί συχνά το φαινόμενο του νέφους, με δυσμενείς συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων και την τοπική χλωρίδα και πανίδα. (Μακρή, 2011)

Ως ατμοσφαιρικός ρύπος ορίζεται στην Υπουργική Απόφαση Η.Π 14122/549/Ε.103/2011 «οποιαδήποτε ουσία στην ατμόσφαιρα, η οποία θα μπορούσε, σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις, να βλάψει ανθρώπους, ζώα, βλάστηση ή υλικά». Υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίοι διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή. Οι ρύποι στην ατμόσφαιρα, αν και συνήθως είναι αόρατοι, μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στη διατήρηση των οικοσυστημάτων.

Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων εκφράζονται συνήθως με δύο μονάδες συγκέντρωσης. Τα $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ή mg/m^3 και τα ppm (μέρη ανά εκατομμύριο όγκου). Συγκέντρωση 1 ppm σημαίνει ότι αντιστοιχεί μια μονάδα όγκου του ρύπου σε κάθε 10^6 μονάδες όγκου αέρα. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και το ppb (μέρη ανά δισεκατομμύριο όγκου) για την έκφραση της συγκέντρωσης ενός ρύπου στην ατμόσφαιρα. (Μακρή, 2011)

Κάτω από ορισμένες συνθήκες, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να φτάσει σε τέτοια επίπεδα, ώστε να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες συνθήκες διαβίωσης. Σε αυτή την περίπτωση έχει επικρατήσει να λέγεται ότι έχουμε "Νέφος".

Το "Νέφος" παρουσιάζεται με δύο μορφές:

- Νέφος Καπνομίχλης: Σχηματίζεται, όταν υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως το διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και μεγάλη σχετική υγρασία.
- Φωτοχημικό Νέφος: Παρουσιάζεται, όταν υπάρχει υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετική υγρασία και υψηλή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα και δευτερογενών προϊόντων τους (Τσαουλή, 2010).

2.3 Κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιπτώσεις τους

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, χωρίζονται σε δύο ομάδες με βάση την προέλευση της χημικής σύνθεσης και της πρωτοβάθμιας αλλά και δευτεροβάθμιας φυσικής τους κατάστασης. Σύμφωνα με τον ΠΟΥ (Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας), σαν κύρια πηγή εκπομπή τους, ορίζεται η υπερβολική χρήση των ορυκτών πόρων, η μεταφορά στους δρόμους, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ο πρωτογενείς ρύπος εκπέμπονται απευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα και οι σημαντικότεροι είναι τα αιωρούμενα σωματίδια όπως σκόνη, καπνός, σωματίδια βαρέων μετάλλων, όπως μολύβδου (Pb) και νικελίου (Ni), το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες, το χλώριο (Cl_2) και το φθόριο (F_2).

Οι δευτερογενείς ρύποι είναι ρύποι που μπορεί να δημιουργηθούν μέσα στην ατμόσφαιρα από μια φωτοχημική αντίδραση της υδρόλυσης ή οξείδωσης. (Khodakarami & Ghobadi, 2016). Στους βασικούς ατμοσφαιρικούς (διασυννοριακούς) ρύπους ανήκουν:

- Το διοξείδιο του θείου (SO_2)
- Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και κυρίως το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2)
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Τα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ) - Particulate Matter (PM) - διαμέτρου μικρότερης των $10\mu\text{m}$, διότι αυτά εισπνέονται. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες: τα PM_{10} και τα $\text{PM}_{2,5}$.

- Το όζον (O_3)
- Η αμμωνία (NH_3)
- Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ) –Volatile Organic Compounds (VOC), Ρεμουντάκη, 2010).

2.3.1 Το διοξείδιο του θείου (SO_2)

Το διοξείδιο του θείου, αέριο άχρωμο και ευδιάλυτο στο νερό, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο καθώς και από τα ηφαίστεια. Δεν είναι τοξικό αέριο στη συγκέντρωση που υπάρχει στην ατμόσφαιρα, ούτε στην προβλεπόμενη για τα επόμενα χρόνια, αλλά συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι φυσικές εκπομπές προέρχονται από φυσικές αντιδράσεις μικροοργανισμών και φυτών όπως για παράδειγμα, βιογενείς εκπομπές διμεθυλίου του θείου ή DMS (CH_3SCH_3), που προέρχονται από τα ωκεάνια φύκια, ενώ άλλες ενώσεις του θείου προέρχονται από υδροτόπους και ακτές που περιέχουν υδρόθειο (H_2S), καρβονύλιο του θείου, δισουλφίδιο του θείου και DMS. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές προέρχονται από τη καύση του άνθρακα σε ποσοστό 60%, στη διύλιση πετρελαίου σε ποσοστό 28%, στο λιώσιμο ορυκτών (10%), και από τη βιομηχανία χαρτιού και πολτού σε ποσοστό 2%. (Schnoor, 2003). Τα παράγωγα των αντιδράσεων του SO_2 όπως είναι το θειικό οξύ, βλάπτουν όλους τους έμβριους οργανισμούς, ενώ το ίδιο το διοξείδιο του θείου σε συνδυασμό με τα αιωρούμενα σωματίδια, βλάπτουν το βλεννογόνο των ματιών και τις ανώτερες αναπνευστικές οδούς. Σε συγκεντρώσεις από 1 έως 500ppm οι επιπτώσεις του SO_2 είναι άμεσες αλλά αναστρέψιμες, ενώ σε συγκεντρώσεις 400 έως 500ppm, οι βλάβες στους αεραγωγούς και στους πνεύμονες του ανθρώπου είναι επικίνδυνες για τη ζωή του. (Καραθανάσης, 2006). Στο περιβάλλον οι επιπτώσεις από το διοξείδιο του θείου είναι σοβαρές σε δέντρα και λίμνες και αποτελεί το κύριο συστατικό της όξινης βροχής, που με τη μορφή του όξινου αεροζόλ διαβρώνουν πέτρες, μάρμαρα και μνημεία. (Βερύκιος, 2003).

2.3.2 Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)

Τα πιο σημαντικά οξείδια του αζώτου που εμπλέκονται στη ρύπανση του αέρα είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο (NO_2), το σύνολο των οποίων συμβολίζεται ως NO_x . Το NO είναι αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και μη τοξικό ενώ το NO_2 ανάλογα με τη συγκέντρωση έχει ελαφρά καστανό έως ερυθροκάστανο χρώμα και ιδιάζουσα οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις δίνει το χαρακτηριστικό χρώμα του στην όψη του ουρανού στις αστικές περιοχές. Το NO_2 λόγω της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό και διαβρωτικό (Οικονομόπουλος, 2000).

Το NO προέρχεται από καύση σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το NO₂ εκπέμπεται σε μικρές ποσότητες από καύσεις μαζί με το NO. Οι ποσότητες NO₂ που εκλύονται πρωτογενώς στην ατμόσφαιρα είναι περιορισμένες σε σχέση με αυτές του NO. Από έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό μόλις το 10% των οξειδίων του αζώτου αποτελούνται από NO₂ ενώ από μικρότερες πηγές εξωτερικής καύσης και από αυτοκίνητα το 2 με 3%. Το NO₂ παράγεται επίσης από το NO μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων που ενισχύονται από την παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας και επειδή ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται ταχύτατα, το NO₂ θεωρείται πιο σημαντικός ρύπος όσον αφορά την επίδραση στον άνθρωπο. Οι εκπομπές του NO είναι μεγαλύτερες το χειμώνα όταν υπάρχει αυξημένη χρήση των καυσίμων για θέρμανση, ενώ το NO₂ είναι αυξημένο τις ζεστές ηλιόλουστες μέρες αφού η άφθονη ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με τη μετατροπή (φωτοχημική οξείδωση) του NO σε NO₂ (Οικονομόπουλος, 2000).

2.3.3 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και εξαιρετικά τοξικό αέριο και είναι αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στην ατμόσφαιρα σε σχέση με τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Η οριακή τιμή για την προστασία της υγείας του ανθρώπου είναι τα 10 μg/m³ (μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος οκταώρου). Το οξείδιο του άνθρακα παράγεται κατά την ατελή καύση των καυσίμων (γαιάνθρακες, προϊόντα πετρελαίου, φυσικό αέριο), αλλά και από την καύση του ξύλου. Η ατελής καύση των υδρογονανθράκων οδηγεί στο σχηματισμό CO, ενώ όταν η καύση είναι πλήρης, σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται όταν οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τέσσερις μεταβλητές δεν έχει την κατάλληλη (αρκετά αυξημένη) τιμή:

- τροφοδοσία της καύσης με οξυγόνο
- θερμοκρασία της φλόγας
- χρόνος παραμονής των αερίων σε υψηλή θερμοκρασία
- τυρβώδης ροή (επαρκής ανάμιξη) στο χώρο της καύσης.

Οι παραπάνω παράμετροι ελέγχονται αυστηρότερα στην περίπτωση βιομηχανικών εγκαταστάσεων καύσης σε σύγκριση με τα διάφορα τροχοφόρα που κι αυτά αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπής μονοξείδιο του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα χαρακτηρίζεται ως ατμοσφαιρικός ρύπος λόγω των επιπτώσεων του στην υγεία των ανθρώπων. Τα επίπεδα του CO στις αστικές περιοχές φτάνουν συχνά τα 50ppm και μπορεί να αυξηθούν μέχρι τα 140ppm σε περίπτωση πυκνής κυκλοφοριακής δραστηριότητας. Ο καπνός του τσιγάρου περιέχει CO σε

συγκέντρωση μεγαλύτερη από 20000 ppm που με την εισπνοή μειώνεται στα 400 έως 500 ppm. Αυτή η υψηλή συγκέντρωση προκαλεί και την αύξηση της καρβοξυαιμογλοβίνης που σε έναν καπνιστή των 10 τσιγάρων ημερησίως ,φτάνει το 3,8 % όταν οι φυσιολογικές τιμές κυμαίνονται στο 0,5% (Καραθανάσης,2006).

2.3.4 Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ) - Particulate Matter (PM)

Τα αιωρούμενα σωματίδια (suspended particulates, particulate matter, PM) είναι ποικιλία μικρής διαμέτρου σωματιδίων (από 50 μέχρι 0.1 μm) από διάφορα υλικά και καύσεις (σκόνη χώματος, σκόνη ελαστικών, ανθρακούχα σωματίδια καύσεων, κλπ) που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αστικών και βιομηχανικών περιοχών. Επιπλέον, αποτελούν ένα σύνθετο ετερογενές μίγμα που περιλαμβάνουν τόσο τα πρωτογενή όσο και τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια. Τα πρωτογενή αιωρούμενα σωματίδια εκπέμπονται άμεσα στην ατμόσφαιρα, ενώ τα δευτερογενή διαμορφώνονται στην ατμόσφαιρα μετά από την οξείδωση και το μετασχηματισμό των αερίων προδρόμων (κυρίως SO_2 , NO_x , NH_3) και μερικών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) (Μαραγκίδου, 2013). Τα αιωρούμενα σωματίδια που συναντώνται στην ατμόσφαιρα προέρχονται τόσο απο φυσικές πηγές όσο και απο ανθρωπογενείς δραστηριότητες. (Harrison,2004).

Σαν σωματιδιακή ύλη στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τους Ζιωμά & Ρεμουντάκη (2003), νοείται η ύλη που βρίσκεται σε διασπορά στον αέρα και αποτελείται από διακριτά σωματίδια μεγέθους μεγαλύτερου των μικρών μορίων (διάμετρο 0,0002 μm) και μικρότερο από 500 μm . Στον πίνακα που ακολουθεί κατατάσσονται οι κυριότεροι όροι που περιγράφουν τα σωματίδια.

Πίνακας 1. Κυριότεροι όροι περιγραφής ατμοσφαιρικών σωματιδίων

Όρος	Έννοια
Αερολύματα(aerosols)	Σωματίδια μικρού μεγέθους(στερεά ή σταγονίδια)
Αερολύματα συμπύκνωσης(condensation aerosols)	Σωματίδια σχηματισμένα απο συμπύκνωση ατμών ή αντιδράσεις αερίων

Αερολύματα απο διασπορά(Dispersion aerosols)	Σωματίδια που σχηματίζονται απο άλεση στερεών ή διασπορά σκόνης
Ομίχλη (fog)	Σταγονίδια νερού στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη συγκέντρωση
Καπνός (smoke), Αιθάλη(soot carbon)	Σωματίδια που προέρχονται απο ατελή καύση καυσίμων
Αραιά ομίχλη (Haze)	Υποδηλώνει μειωμένη ορατότητα οφειλόμενη στη παρουσία σωματιδίων

ΠΗΓΗ: Ζιωμάς & Ρεμουντάκη (2003)

Διαχωρισμός με κριτήριο το μέγεθος

Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν τυπικά διάμετρο από 0.01 έως 10μm. Έχουν διάφορα σχήματα και πολλές ιδιότητές τους εξαρτώνται από το μέγεθος τους. Στις κατανομές κατά μέγεθος, ως κριτήριο κατάταξης χρησιμοποιείται η αεροδυναμική διάμετρος και όχι η γεωμετρική τους διάμετρος (Λαζαρίδης, 2005).

Αεροδυναμική διάμετρος ονομάζεται η διάμετρος σφαιρικού σώματος πυκνότητας 1gr/cm³ που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνησή του με το υπό εξέταση σωματίδιο (Λαζαρίδης, 2005)

Γενικά, η διάμετρος θεωρείται η πιο σημαντική από τις ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων για τις επιπτώσεις στην υγεία λόγω του μηχανισμού εναπόθεσης των αιωρούμενων σωματιδίων στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης, το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων είναι αυτό που καθορίζει το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα (Κόλλια, 2012).

Ολικά Αιωρούμενα Σωματίδια

Ο όρος ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP) είναι ο όρος που δόθηκε στο σύνολο των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων και σταγονιδίων. Τα TSP ποικίλουν γενικά σε μέγεθος από 0.01μm έως και μερικές εκατοντάδες μm. Διακρίνονται σε δύο τύπους σωματιδίων, στα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα, τα οποία με τη σειρά τους διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες (US EPA, 2004).

2.3.5 Τροποσφαιρικό Όζον (O₃)

Το όζον (O₃) είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, που παράγεται ως αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Το όζον είναι ο κυριότερος ρύπος της φωτοχημικής ρύπανσης των πόλεων και γι' αυτό χρησιμοποιείται ως δείκτης αυτής. Είναι αέριο άχρωμο, με έντονη οσμή (εξού και το όνομα του –όζειν-) και οξειδωτική δράση. Η χρονική κατανομή του ρύπου παρουσιάζει μέγιστο κατά τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες. Το βράδυ, αντίθετα, παρουσιάζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις κυρίως λόγω της απουσίας φωτός, και συνεπώς λόγω αδυναμίας παραγωγής όζοντος. Λόγω της οξειδωτικής του ικανότητας, το όζον θεωρείται εξαιρετικά επικίνδυνος ρύπος, τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για βλάβες στα φυτά, τα δένδρα και τα υλικά. Επηρεάζει του ιστούς των πνευμόνων, μειώνει την απόδοσή τους, τους ευαισθητοποιεί σε άλλες ερεθιστικές ουσίες, μειώνει την αντίστασή τους και γενικότερα την αντίσταση του οργανισμού. Είναι ερεθιστικό για τα μάτια και τους βλεννογόνους.

Για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, η τιμή –στόχος είναι τα 120 μg/m³ (μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών, που δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος, κατά μέσο όρο, σε 3 χρόνια). Οι εμφανέστερες επιπτώσεις του ατμοσφαιρικού όζοντος αφορούν τις καλλιέργειες και γενικότερα τα φυτικά είδη. Το όζον προσβάλλει τους ιστούς τους και προκαλεί γρήγορη γήρανση και γενικά, μειώνει την αντοχή των φυτικών ειδών, προκαλώντας ακόμα και ολοσχερή καταστροφή τους. Για τους λόγους αυτούς, η εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα ως προς το όζον αντιμετωπίζεται με ειδικές διατάξεις στη σχετική νομοθεσία και, συνήθως, στα μεγάλα αστικά κέντρα, στα δίκτυα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα, οι τιμές του όζοντος καταγράφονται παράλληλα με αυτές των οξειδίων του αζώτου (Μαραγκίδου, 2013). Επειδή το τροποσφαιρικό όζον είναι σχετικά βραχύβιο, παρουσιάζει χρόνο ζωής από μερικές ημέρες έως εβδομάδες και οι συγκεντρώσεις του εμφανίζουν έντονη μεταβλητότητα σε σχέση με την παρουσία των προδρόμων ενώσεων, των υδρατμών και της ηλιακής ακτινοβολίας. (Κατσαφάδος, Μαυροματίδης, 2015)

2.3.6 Αμμωνία (NH₃)

Η αμμωνία είναι ένα άχρωμο αέριο, χαρακτηριστικής εξαιρετικά αποπνικτικής οσμής. Η αμμωνία είναι ισχυρά τοξική ένωση και εισπνοή αερίου αμμωνίας σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνη για τους πνεύμονες και το δέρμα, λόγω των ισχυρώς βασικών (καυστικών) ιδιοτήτων της. Όπως τα οξείδια του αζώτου, έτσι και η αμμωνία συμβάλλει στην όξινη

εναπόθεση και στον ευτροφισμό, ο οποίος με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε πιθανές αλλαγές που συμβαίνουν στην ποιότητα του εδάφους και του νερού.

Οι μεταγενέστερες επιπτώσεις των όξινων εναποθέσεων μπορεί να είναι σημαντικές, συμπεριλαμβανομένων των αρνητικών επιπτώσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα σε ποταμούς και λίμνες και ζημιές στα δάση, καλλιέργειες και άλλη βλάστηση. Η μεγαλύτερη πλειοψηφία εκπομπών αμμωνίας - περίπου 94% στην Ευρώπη - προέρχεται από το γεωργικό τομέα, σε συνδυασμό με διάφορες δραστηριότητες όπως η αποθήκευση λιπάσματος και η χρήση των συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αμμωνία, ως πρόδρομος σωματιδίων, συμβάλλει επίσης στον σχηματισμό αερολυμάτων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (Μαραγκίδου, 2013).

2.3.7 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ) –Volatile Organic Compounds (VOC)

Ως Πτητικές Οργανικές Ενώσεις χαρακτηρίζονται κυρίως οι πτητικές αρωματικές ενώσεις (όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, ξυλόλιο κλπ) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Ο όρος περιλαμβάνει πάνω από 100 ενώσεις: όλες τις ενώσεις που περιέχουν άνθρακα, με εξαίρεση το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, τις περισσότερες φορές από τα VOCs εξαιρείται το μεθάνιο. Στα VOCs περιλαμβάνονται πολλές τάξεις οργανικών ενώσεων, όπως κεκορεσμένοι, ακόρεστοι και ελαφρείς πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, οξυγονούχες και αλογονούχες ενώσεις. Τα VOCs παίζουν σημαντικό ρόλο σε φωτοχημικές αντιδράσεις, συμβάλλουν στην περιβαλλοντική ρύπανση λόγω της υψηλής τοξικής και καρκινογόνου δράσης και θεωρούνται επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου.

Οι πηγές των VOCs είναι οι βιομηχανίες, τα καυσαέρια των οχημάτων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων, και οικοδομικά υλικά. Η πετροχημική βιομηχανία και ιδιαίτερα η καύση και η χρήση των ορυκτών καυσίμων για τις διάφορες καύσεις, είτε από σταθερές πηγές (βιομηχανικές εγκαταστάσεις, θέρμανση) είτε από κινητές πηγές (τροχοφόρα), είναι κύρια πηγή των ΠΟΕ. Άλλη σημαντική πηγή απελευθέρωσης VOCs στην ατμόσφαιρα είναι η χρήση τους ως διαλυτών για την παραγωγή βιομηχανικών ειδών όπως χρώματα, βερνίκια, μελάνια, φαρμακευτικά είδη, καλλυντικά. Ακόμα, η ταφή απορριμμάτων και ορισμένες γεωργικές δραστηριότητες συνεισφέρουν στις ποσότητες VOCs που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Τέλος, φυσικές πηγές VOCs οι οποίες δεν μπορούν να ελεγχθούν από τον άνθρωπο είναι εκπομπές από τα διάφορα φυτικά είδη των δασικών εκτάσεων, εκπομπές από δασικές πυρκαγιές και διάφορες αναερόβιες διεργασίες (Ρεμουντάκη, 2010).

2.4 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Ως πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων θεωρούνται διάφορες τοποθεσίες, δραστηριότητες ή παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές εκπομπής μπορούν να διαχειριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις ανθρωπογενείς πηγές και τις φυσικές πηγές.

1. Ανθρωπογενείς πηγές

Διακρίνονται σε σταθερές και κινητές πηγές και συνδέονται κύρια με την καύση διαφόρων ειδών καυσίμων:

1. Οι **σταθερές πηγές** περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία (παραγωγή ενέργειας και εκπομπές διεργασιών) και τη θέρμανση κτιρίων.
2. Οι **κινητές πηγές** περιλαμβάνουν τα τροχοφόρα, καθώς και την κίνηση πλοίων και αεροπλάνων.

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ποσοτική συνεισφορά της κάθε δραστηριότητας στις συνολικές εκπομπές ρύπων. Η σχετική συνεισφορά κάθε δραστηριότητας μεταβάλλεται στο χώρο και στο χρόνο, ανάλογα με τις ανάγκες και τον τρόπο ζωής.

Άλλες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων είναι τοπικές εκπομπές από γεωργικές καύσεις και απόθεση σκουπιδιών σε χωματερές. Στις χωματερές παράγεται και εκπέμπεται μεθάνιο. Το μεθάνιο δεν είναι ατμοσφαιρικός ρύπος, αλλά ένα από τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου. Επιπλέον, είναι εύφλεκτο και μπορεί να παράγει εκρηκτικά μίγματα με τον αέρα.

2. Φυσικές πηγές

Αν και μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στην επιβάρυνση της ποιότητας του αέρα, οι εκπομπές αυτές δεν μπορούν να ελεγχθούν άμεσα από τον άνθρωπο. Αξίζει να αναφερθούν τρεις τέτοιες κύριες κατηγορίες πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων.

1. **Εκπομπές σκόνης από την αιολική διάβρωση των εδαφών.** Συνήθως τέτοιες πηγές γίνονται σημαντικές όταν έχουμε μεγάλες εκτάσεις με φτωχή ή καθόλου βλάστηση. Η ατμόσφαιρα της Μεσογείου, αλλά και η χώρα μας, επηρεάζονται σημαντικότερα από επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τις ερημικές περιοχές της Αφρικής και τη Σαχάρα.
2. **Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκπέμπουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες από θειικά αερολύματα και τέφρες.** Οι εκπομπές αυτές γίνονται όχι μόνο στην τροπόσφαιρα, αλλά

και σε πού μεγαλύτερα ύψη από την επιφάνεια της γης. Για το λόγο αυτόν, τα ηφαιστειακά αερολύματα, τα οποία εκπέμπονται σε τεράστιες ποσότητες, έχουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα και διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τα αερολύματα που προκύπτουν επιδρούν στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας με τρόπο αντίθετο από αυτόν των αερίων του θερμοκηπίου, διότι προκαλούν ψύξη του αέρα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα αιωρούμενα σωματίδια σκεδάζουν το ηλιακό φως και επηρεάζουν τον τρόπο γένεσης των νεφών.

- 3. Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων, όπως μονοξείδιο του άνθρακα, από τις δασικές πυρκαγιές.** Οι δασικές πυρκαγιές που εκδηλώνονται συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες, διότι ευνοούνται από τις μεγάλες περιόδους ζέστης και παρατεταμένης ανομβρίας με τεράστιες ποσότητες σωματιδίων και αερίων. Εκτός από τις ανθρωπογενείς και τις φυσικές πηγές διασυννοριακών ρύπων, υπάρχουν και οι μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν τις αέριες συγκεντρώσεις και την εναπόθεση των ρύπων με αποτέλεσμα να ελέγχουν τη μεταφορά, τη διασπορά, την υγρή και τη ξηρή απομάκρυνση τους (Ρεμουντάκη, 2010).

2.5.Συσχέτιση Μετεωρολογικών Συνθηκών- Τοπογραφίας περιοχής και Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ανάλυση των μεταβολών των παραμέτρων, των τιμών συγκέντρωσης ενός αερίου ρύπου και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους μικρής διάρκειας όταν οι τιμές της ρύπανσης ξεπερνούν τις συνηθισμένες, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αυτές οι περιπτώσεις αφορά κυρίως εκτεταμένες περιοχές χαρακτηρίζονται ως “επεισόδια ρύπανσης”. Χαρακτηριστικό είναι το επεισόδιο που εμφανίστηκε στη διάρκεια επικράτησης αντικυκλωνικής κυκλοφορίας όταν στη Κεντρική Ευρώπη και στη Βαλκανική τη περίοδο 15-21 Ιανουαρίου 1997, επικράτησαν συνθήκες άπνοιας , με αποτέλεσμα τη συσσώρευση και τη διαμόρφωση μεγάλων συγκεντρώσεων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Τριανταφύλλου, 2004.)

Η μεταβολή της συγκέντρωσης ενός αερίου ρυπαντή θα μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου που εκπέμπεται , ακόμα και αν η έκλυσή του από τη πηγή πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής αλλά και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Οι παράμετροι που παίζουν ρόλο στη συσχέτιση αυτή είναι :

- Η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου

- Η μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος
- Η υγρασία και το ύψος της βροχής
- Η ευστάθεια της ατμόσφαιρας (Μαραζιώκης, 2006).

2.5.1 Επίδραση των Μετεωρολογικών Παραμέτρων στη Μεταβολή των Αέριων Ρύπων

Όσον αφορά την ευστάθεια της ατμόσφαιρας, η μελέτη της ισορροπίας ενός δείγματος ατμοσφαιρικού αέρα στην Μετεωρολογία ακολουθεί το ανάλογο της μελέτης της ισορροπίας ενός στερεού σώματος στη Φυσική όπου διακρίνουμε κατάσταση α) **ευστάθειας**, β) **αστάθειας** και γ) **αδιάφορης ισορροπίας**. (Ζάνης , 2014). Όταν λοιπόν μετακινούμε ένα στερεό σώμα από την αρχική του θέση, επιδρά δύναμη επαναφοράς του που ή το επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση (ευστάθεια) ή όχι που σημαίνει πως δεν επανέρχεται σε ισορροπία (αστάθεια), είτε έρχεται σε μια νέα θέση ισορροπίας (αδιάφορη ισορροπία).

Η ισορροπία της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τη σχέση της θερμοκρασίας ή της πυκνότητας των αέριων μαζών με την αντίστοιχη θερμοκρασία ή τη πυκνότητα του περιβάλλοντος. Ο θερμός αέρας ως ελαφρύτερος του ψυχρού , ανυψώνεται έως να συναντήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με τη δική του. Ο ψυχρός αέρας κατέρχεται ώστε να καταβάλλει το χώρο που άφησε ο θερμός αέρας. Έτσι η κατάσταση αυτή της ατμόσφαιρας με έντονες ανοδικές κινήσεις και ανατροπή των αέριων μαζών καλείται αστάθεια. Όταν όμως οι κατακόρυφες κινήσεις που δημιουργούνται είτε δεν υπάρχουν καθόλου είτε υπάρχουν σε μικρό βαθμό , τότε καλείται ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Οι κατακόρυφες κινήσεις που δημιουργούνται επηρεάζουν την ανάμειξη ρύπων σε μεγάλο βαθμό γιατί μεταφέρουν και αναμειγνύουν ρύπους γρήγορα και αποτελεσματικά. (Ζάνης,2014).

Κατά τη διάρκεια της νύκτας επέρχεται αναστροφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος που διαρκεί συνήθως έως τις πρώτες πρωινές ώρες. Αυτή η αναστροφή εμποδίζει την κατακόρυφη κίνηση μεταφοράς ρύπων και η κίνηση γίνεται οριζόντια με αποτέλεσμα την υψηλή συγκέντρωση ρύπων κοντά στο έδαφος. Οι θερμοκρασιακές αναστροφές επιφανείας ανάλογα με την αιτία δημιουργίας τους διακρίνονται σε:

- Αναστροφές ακτινοβολίας
- Ορεογραφικές αναστροφές
- Αναστροφές θερμού αέρα και
- Αναστροφές χιονοσκεπούς εδάφους

Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, ταχύτητα του ανέμου, υγρασία, σταθερότητα της ατμόσφαιρας ,κλπ.) Το φθινόπωρο και το χειμώνα , οι στάσιμες συνθήκες ενισχύουν τα επίπεδα πρωτογενών ρύπων (SO_2 , NO_x) και των αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες και η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ενισχύουν την παραγωγή δευτερογενών ρύπων (Lacressonniere -et al-., 2017). Οι αλλαγές στη θερμοκρασία επηρεάζουν τη διαμόρφωση σταθερικά , ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα ποσοστά συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO_2). (Barmpradimos, -et al-.,2012.) Μεταξύ των μετεωρολογικών μεταβλητών , η ταχύτητα του ανέμου , το ύψος ανάμειξης και η σχετική υγρασία έχουν την μεγαλύτερη επιρροή στις συγκεντρώσεις των PM. (Gebhart, 2001). Ωστόσο οι υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οφείλονται σε συνθήκες ξηρασίας όπου σε ορισμένες περιοχές λόγω αυτών των συνθηκών δημιουργείται αιώρημα σκόνης (Wise and Comrie, 2005). Η υψηλή ταχύτητα του ανέμου μπορεί να επιτρέπει μεγαλύτερο εξαερισμό αλλά μπορεί να συσχετιστεί με υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} υπό ορισμένες προϋποθέσεις που μπορεί να οφείλονται στην αιώρηση των σωματιδίων από το έδαφος , καθώς και τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. (Gustafson and Leung, 2007). Ευσταθείς συνθήκες συσχετίζονται επίσης με υψηλές συγκεντρώσεις PM_{10} καθώς επιτρέπουν στα σωματίδια να συσσωρεύονται στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (Triantafyllou. -et al-., 2002). Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς εκεί πραγματοποιούνται οι περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες και έχει πάχος 500 έως 1500 m.

Από μελέτες έχει αποδεχτεί ότι η συνοπτική βαροκλινικότητα μέσης κλίμακας θερμικών κυκλοφοριών και οι αναταράξεις του οριακού στρώματος, μπορούν χωριστά ή και μαζί να δράσουν και να ενισχύσουν τη διασπορά των ρύπων καθώς και να επηρεάσουν ουσιαστικά το χρόνο μεταφοράς του κέντρου μάζας του μολυσμένου αέρα (Pielke,et al.,1987).

Επίσης σημαντικά είναι τα τοπικά συστήματα ανέμου τα οποία, όταν τα μεγαλύτερης κλίμακας συστήματα ανέμου εξασθενούν θεωρούνται κυρίαρχα και μεταφέρουν και διαχέουν τους αέριους ρύπους. Τα κυριότερα τοπικά συστήματα είναι:

- Θαλάσσια και απόγεια αύρα
- Αύρα βουνού και κοιλάδας.

Συνδυαστικά η τοπογραφία της περιοχής, με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες όπως για παράδειγμα η ατμοσφαιρική αστάθεια , εξαναγκάζουν τον αέρα να ακολουθεί

στροβιλοειδής κινήσεις με αποτέλεσμα να ευνοείται η διάχυση ή η μεταφορά των ρύπων.(Μουσιόπουλος, 2014)

2.6.Η ελληνική νομοθεσία

Στη χώρα μας το χρονικό σημείο αναφοράς για εθνική περιβαλλοντική πολιτική, είναι το 1975 με το (άρθρο 24, παρ.1) του νέου συντάγματος, υπάγονται σε αυτό οι βασικές πτυχές προστασίας του περιβάλλοντος. Η διάταξη αυτή θεωρήθηκε πρωτοποριακή για τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Στα πλαίσια αυτού του άρθρου εκδόθηκε ο Ν.1650/1986 και που είχε σκοπό τη θέσπιση θεμελιωδών κανόνων και τη καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών προστασίας του περιβάλλοντος. (Κούγκολος, 2005).

Στην Ελλάδα, οι Συνταγματικές Διατάξεις μέχρι το 1974, δεν αντιμετώπιζαν άμεσα το ζήτημα της προστασίας του περιβάλλοντος. Ρύθμιζαν εμμέσως τα συναφή ζητήματα και διακρίνονταν για την προσήλωση τους στην προστασία του ανθρώπου. Κατ' ακολουθία, η συνταγματική θεμελίωση κανόνων για την προστασία του περιβάλλοντος, μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο βάσει των γενικών διατάξεων για τη προστασία της ανθρώπινης υγείας και ζωής.

Με το πέρασμα των χρόνων, όπου η έντονη βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη όξυνε ιδιαίτερα τα περιβαλλοντικά προβλήματα, συμπεριλήφθηκαν στο ισχύον Σύνταγμα πρόσθετες ειδικές και γενικές διατάξεις, με τις οποίες καθιερώθηκε η υποχρέωση του Κράτους να λαμβάνει μέτρα αποτελεσματικά για τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος, αλλά και των πολιτών να προστατεύουν το περιβάλλον κατά περίπτωση. Σήμερα, η αδυναμία αποτελεσματικής εφαρμογής της περιβαλλοντικής νομοθεσίας έχει πλέον αναδειχθεί σε έναν από τους βασικότερους παράγοντες συνεχούς υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος στην Ελλάδα. (Τραϊανός,2007).

2.6.1Το ευρύτερο θεσμικό πλαίσιο

Το Σύνταγμα της Ελλάδας περιέχει σαφέστατη επιταγή για την προστασία του περιβάλλοντος, το οποίο και αντιμετωπίζει ως κοινό αγαθό. Στο άρθρο 24 του Συντάγματος του 2001 αναφέρονται μεταξύ άλλων τα εξής: «Η προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση του Κράτους και δικαίωμα του καθενός. Για τη διαφύλαξη του το Κράτος έχει υποχρέωση να παίρνει ιδιαίτερα προληπτικά ή κατασταλτικά μέτρα στο πλαίσιο της αρχής της αειφορίας».

Βασικός ελληνικός νόμος για το περιβάλλον είναι ο Ν. 1650/1986 «για την προστασία του περιβάλλοντος». Σκοπός αυτού του νόμου - πλαίσιο για το περιβάλλον, «είναι η θέσπιση θεμελιωδών κανόνων και η καθιέρωση κριτηρίων και μηχανισμών για την προστασία του περιβάλλοντος έτσι ώστε ο άνθρωπος, ως άτομο και ως μέλος του κοινωνικού συνόλου να ζει σε ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον μέσα στο οποίο να προστατεύεται η υγεία του και να εννοείται η ανάπτυξη της προσωπικότητάς του. Η προστασία του περιβάλλοντος, θεμελιώδες και αναπόσπαστο μέρος της πολιτιστικής και αναπτυξιακής διαδικασίας και πολιτικής, υλοποιείται κύρια μέσα από το δημοκρατικό προγραμματισμό».

Ο **Ν. 1650/1986** «Για την προστασία του περιβάλλοντος», ο οποίος αποτέλεσε ένα μεγάλο βήμα εκσυγχρονισμού του ελληνικού θεσμικού πλαισίου για την προστασία του περιβάλλοντος, αν και στερείτο συστηματικής προσέγγισης του αντικειμένου. Δυστυχώς όμως, έμεινε σε μεγάλο μέρος του ανεφάρμοστος. Ο Ν. 1650/1986 συμπληρώθηκε μεταγενέστερα με το **Νόμο 3010/2002** (ΦΕΚ 91Α/25-04-2002) «Εναρμόνιση του Νόμου 1650/1986 με τις οδηγίες 97/11 Ε.Ε. και 96/61 Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις». Επίσης, η προστασία του περιβάλλοντος και η ενσωμάτωση του στις επί μέρους πολιτικές αποτελεί βασική υποχρέωση των κρατών-μελών της Ε.Ε. Συνεπώς, η προστασία του περιβάλλοντος απολαμβάνει αναγνώρισης και ενσωμάτωσης στο θεσμικό πλαίσιο τόσο της Ελλάδας, όσο και των υπολοίπων κρατών-μελών της Ε.Ε.

Η προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος αποτελεί υποχρέωση της Ελλάδας, όπως αυτή εξειδικεύεται στις διάφορες Κοινοτικές οδηγίες και στα αντίστοιχα εθνικά νομοθετήματα. Υποχρεώσεις για την Ελλάδα πηγάζουν και από το διεθνές περιβαλλοντικό δίκαιο. Όμως, παρά την ύπαρξη μηχανισμών παρακολούθησης της συμμόρφωσης των κρατών-μελών, οι πιέσεις που μπορούν να ασκήσουν είναι περιορισμένες, καθώς οι διεθνείς σχέσεις συνεχίζουν να βασίζονται στην έννοια της εθνικής κυριαρχίας. Παρόλα αυτά, οι διεθνείς υποχρεώσεις που επιβάλλει η κάθε περιβαλλοντική συνθήκη είθισται να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη από τα κράτη.

2.6.2 Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Θεμέλιος λίθος της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα πρότυπα ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι η Οδηγία-Πλαίσιο 96/62/ΕΚ σχετικά με την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος. Αυτή η Οδηγία προέβλεπε τον καθορισμό οριακών τιμών και των επιπέδων συγκέντρωσης των ρύπων, τα οποία καθορίζονται βάσει των οδηγιών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, με στόχο την αποτροπή, πρόληψη και μείωση των επιβλαβών αποτελεσμάτων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον

γενικότερα. Τη συγκεκριμένη Οδηγία - Πλαίσιο ακολούθησε μια σειρά θυγατρικών Οδηγιών (Μασσάρα, 2011).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση και οι οποίες απευθύνονται σε όλα τα κράτη – μέλη:

- Οδηγία 70/220/ΕΚ «Μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από καυσαέρια προερχόμενα από τα οχήματα». Οδηγία 72/306/ΕΟΚ «Εκπομπές ρύπων από μηχανές ντίζελ»
- Οδηγία 75/716/ΕΟΚ «Περιεκτικότητα θείου ορισμένων υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 80/372/ΕΟΚ «Χλωροφθοράνθρακες στο περιβάλλον».
- Οδηγία 80/779/ΕΟΚ «Καθορισμός οριακών και κατευθυντηρίων τιμών για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα».
- Οδηγία 82/884/ΕΟΚ «Καθορισμός της οριακής τιμής του μόλυβδου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα» (εναρμόνιση : ΠΥΣ 98/10/28.7.1987). Οδηγία 84/360/ΕΟΚ «Καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από βιομηχανικές εγκαταστάσεις» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με Κοινή Υπουργική Απόφαση, ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 «Κατάταξη έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, περιεχόμενο Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθορισμός περιεχομένου Ειδικών Περιβαλλοντικών Μελετών (ΕΠΜ) κ.λπ.»).
- Οδηγία 85/203/ΕΟΚ «Προδιαγραφές ποιότητας αέρα για το διοξείδιο του αζώτου».
- Οδηγία 85/210/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών των σχετικών με την περιεκτικότητα της βενζίνης σε μόλυβδο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 39254/1010/7.6.1988).
- Οδηγία 85/337/ΕΟΚ «Για την εκτίμηση των επιπτώσεων σχεδίων δημοσίων και ιδιωτικών έργων στο περιβάλλον» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 69269/5387/24.10.1990 και ΚΥΑ 75308/5512/2610/ 2.11.1990 συμμόρφωση με 84/360/ΕΟΚ και 85/337/ΕΟΚ).
- Απόφαση Συμβουλίου 86/277/ΕΟΚ «Για την μακροχρόνια χρηματοδότηση του συλλογικού προγράμματος μετρήσεων και αξιολόγησης της μεταφοράς αέριων ρύπων σε μεγάλη απόσταση στην Ευρώπη».
- Οδηγία 87/217/ΕΟΚ «Σχετικά με την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 8243/1113/26.2.1991).

- Οδηγία 88/77/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά των εκπομπών αερίων ρύπων από ντιζελοκινητήρες προοριζόμενους να τοποθετηθούν σε οχήματα» (Ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με ΚΥΑ 81160/861/3.7.1991 και ΚΥΑ 28432/2447/1992). Οδηγία 88/76/ΕΟΚ «Για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν κατά της ρυπάνσεως του αέρα από τα αέρια που προέρχονται από τους κινητήρες οχημάτων».
- Οδηγία 88/609/ΕΟΚ «Για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης».
- Οδηγία 89/369/ΕΟΚ «Για την πρόληψη της ρύπανσης του αέρα από νέες εγκαταστάσεις καύσης αστικών απορριμμάτων».
- Οδηγία 89/429/ΕΟΚ «Για τη μείωση της ρύπανσης του αέρα από υφιστάμενες εγκαταστάσεις καύσης δημοτικών αποβλήτων».
- Οδηγία 91/441/ΕΟΚ τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 93/12/ΕΟΚ «Σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο ορισμένων υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 93/76/ΕΟΚ «Περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας».
- Απόφαση 93/389/ΕΟΚ «Δημιουργία μηχανισμού παρακολούθησης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου».
- Οδηγία 94/12/ΕΟΚ «Σχετικά με τα μέτρα κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από εκπομπές των οχημάτων» και τροποποίηση της 70/220/ΕΟΚ.
- Οδηγία 94/63/ΕΟΚ «Για τον έλεγχο των εκπομπών πτητικών οργανικών ουσιών (Volatile Organic Compounds, VOCs) που είναι αποτέλεσμα της αποθήκευσης πετρελαίου και της διανομής του από σταθμούς υγρών καυσίμων».
- Οδηγία 1996/62/ΕΚ «Εκτίμηση και διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 1999/13/ΕΚ «Περιορισμός των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».
- Οδηγία 1999/30/ΕΚ «Σχετικά με τις οριακές τιμές του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων αζώτου, σωματιδίων και μόλυβδου στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Κανονισμός 2037/2000/ΕΚ «Για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος».

- Οδηγία 2000/69/ΕΚ « Για την αποτέφρωση των αποβλήτων».
- Οδηγία 2000/69/ΕΚ «Οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος».
- Οδηγία 2001/529/ΕΚ «Σχετικά με τα ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους». Οδηγία 2002/3/ΕΚ « Σχετικά με το όζον στην ατμόσφαιρα».
- Απόφαση 280/2004/ΕΕ «Μηχανισμός παρακολούθησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην Κοινότητα και εφαρμογής του πρωτοκόλλου του Κυότο».
- Οδηγία 2008/1/ΕΚ «Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης».
- Οδηγία 2008/50/ΕΚ «σχετικά με την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερου αέρα για την Ευρώπη» (ορίζονται τα ανώτερα όρια ρύπων που πρέπει να ισχύουν στον ατμοσφαιρικό αέρα ζωνών ή οικισμών).
- Οδηγία 2010/75/ΕΚ «Σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές (ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης»).

2.6.3 Εφαρμογή διατάξεων που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση

Σε ότι αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η σχετική νομοθεσία της Ελλάδας, απορρέει από τις υποχρεώσεις της έναντι της Σύμβασης - Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για τη Κλιματική Αλλαγή (1992), του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) και του Κοινοτικού δικαίου για τις κλιματικές αλλαγές και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Μετά από την **ΚΥΑ 2002/358/ΕΚ** της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Ελλάδα κύρωσε το Πρωτόκολλο με τον **Ν. 3017/2002** (ΦΕΚ Α' 117/2002) το Μάιο του 2002. Για την επίτευξη του κοινού στόχου του Πρωτοκόλλου, τα 15 κράτη - μέλη της Ένωσης οφείλουν να μειώσουν συλλογικά τις εκπομπές τους κατά 8% σε σύγκριση με το 1990. Βάσει διακανονισμού, κάθε κράτος μέλος αναλαμβάνει συγκεκριμένες δεσμεύσεις.

Στην Ελλάδα δίνεται η δυνατότητα να αυξήσει την εκπομπή ρύπων ως και 25% μέχρι το 2010. Η βασική οδηγία **1999/30/ΕΚ** «για τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου, στον αέρα του περιβάλλοντος» ενσωματώνεται στην ελληνική νομοθεσία με το **ΦΕΚ 125/Β/5-6-02**, η οδηγία 2000/69/ΕΚ «για τις οριακές τιμές βενζολίου και μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα του περιβάλλοντος», ενσωματώνεται στην Ελληνική Νομοθεσία με το **ΦΕΚ 405Β/27.2.05** και η **Οδηγία 2002/3/ΕΚ** «σχετικά με το όζον στον

ατμοσφαιρικό αέρα», ενσωματώνεται στην ελληνική νομοθεσία με το **ΦΕΚ 1334B/21.9.05**. Οι οδηγίες αυτές θεσπίζουν οριακές τιμές για συγκεκριμένους ρύπους, οι οποίες είναι δεσμευτικές για τα κράτη - μέλη από το 2005 (SO₂, PM₁₀, CO, μόλυβδος) από το 2010. Ακολουθούν πίνακες όπου παρουσιάζονται τα ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα στην Ελλάδα.

Πίνακας 2. Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα στην Ελλάδα

1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

	Προστασία της υγείας
Ανώτερο όριο εκτίμησης	60% της 24ωρης οριακής τιμής (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος).
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40% της 24ωρης οριακής τιμής (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος).

Πίνακας 2.2: Όρια συγκέντρωσης SO₂(ΥΠΕΚΑ)

1. ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ PM₁₀

	Μέσος όρος 24 ωρών PM ₁₀	Μέσος ετήσιος όρος PM ₁₀
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος).	70% της οριακής τιμής (28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος).	50% της οριακής τιμής (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2.3: Όρια συγκέντρωσης PM₁₀ (ΥΠΕΚΑ)

2. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

	Μέσος όρος 8 ωρών
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2.4: Όρια συγκέντρωσης CO (ΥΠΕΚΑ)

3. ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)

	Ετήσιος μέσος όρος
Ανώτερο όριο εκτίμησης	70% της οριακής τιμής (0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	50% της οριακής τιμής (0,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Πίνακας 2.5: Όρια συγκέντρωσης Pb (ΥΠΕΚΑ)

Επίσης τίθενται και όρια έκτακτων μέτρων λόγω δυσμενών συνθηκών σε περιπτώσεις που αναμένεται αύξηση των τιμών ρύπανσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα όρια για τα οποία λαμβάνονται έκτακτα μέτρα.

Ρύπος	Όριο Συναγερμού
Διοξείδιο του Θείου	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Διοξείδιο του Αζώτου	400 mg/m^3

Πίνακας 2.6 : Τιμές ορίων συναγερμού για SO_2 & NO_2 (ΥΠΕΚΑ)

Τιμές ορίων συναγερμού για το όζον:

Σκοπός	Περίοδος μέσου όρου	Όριο
Ενημέρωση	1 ώρα	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Συναγερμός	1 ώρα ⁽¹⁾	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Πίνακας 2.7: Τιμές ορίων συναγερμού για το όζον (ΥΠΕΚΑ)

(1) Για την εφαρμογή του άρθρου 24, η υπέρβαση του ορίου πρέπει να μετρείται ή να προβλέπεται για τρεις ώρες συνεχόμενα.

Το λοιπό θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει ζητήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης παρουσιάζεται ακολούθως:

- **Νόμος 2503/1997 (ΦΕΚ 107Α/30-05-1997)** «Διοίκηση, οργάνωση, στελέχωση της Περιφέρειας, ρύθμιση θεμάτων για την τοπική αυτοδιοίκηση άλλες διατάξεις».
- **Νόμος 2647/1998 (ΦΕΚ 237Α/22-10-1998)** «Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις Περιφέρειες και την Αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. οικ. 3277/209/2000 (ΦΕΚ 180Β/17-02-2000)** «Καθορισμός γενικών αρχών και αρμοδίων υπηρεσιών, για την εκτίμηση και τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα του περιβάλλοντος».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-04-2002)** «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με το άρθρο 3 του Νόμου 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Νόμου 3010/02 (ΦΕΚ 91Α/25-04- 2002)» και όπως τροποποιήθηκε από την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. οικ. 145799/2005 (ΦΕΚ 1002Α/18-07-2005) «Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Η.Π.15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-08- 2002) “Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων...”», και την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΕΥΠΕ/ οικ. 126880/2007 (ΦΕΚ 435Β/29-03-2007) «Συμπλήρωση της υπ' αριθμ. Η.Π.15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022Β/05-08-2002) Κοινής Υπουργικής Απόφασης, “Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων ...”»
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με αρ. ΗΠ 11014/703/Φ104/2003 (ΦΕΚ 332Β/20-03-2003)** «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), σύμφωνα με το άρθρο 4 του Νόμου 1650/86 (ΦΕΚ160Α/18-10- 1986), όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002 (ΦΕΚ 91Α/25-4-2002) “Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/Ε.Ε., διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις”».

2.6.4 Θεσμικοί κανονισμοί που ρυθμίζουν τα πρότυπα εκπομπών

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση των θεσμικών διατάξεων που ρυθμίζουν τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών για κάθε πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα

- **Αέριες Εκπομπές από Βιομηχανικές, Βιοτεχνικές Εγκαταστάσεις: Προεδρικό Διάταγμα (Π.Δ.) με αριθ. 1180/1981 (ΦΕΚ 293Α/06-10-1981)** «Περί ρυθμίσεως θεμάτων αναγόμενων εις τα της ιδρύσεως και λειτουργίας βιομηχανικών, βιοτεχνικών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως εν γένει»
- **Εκπομπές Πτητικών Οργανικών Ενώσεων: Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 11641/1942/2002 (ΦΕΚ 832Β/02-07-2002)** «Μέτρα και όροι για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων (ΠΟΕ) που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε ορισμένες δραστηριότητες και εγκαταστάσεις».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. 437/2005/2006 (ΦΕΚ 1641Β/08-11-2006)** «Εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας προς την Οδηγία 2004/42/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004 όσον αφορά στον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων που οφείλονται στη χρήση οργανικών διαλυτών σε χρώματα διακόσμησης και βερνίκια και σε προϊόντα επαναβαφής (επισκευαστικής βαφής) αυτοκινήτων και για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/13/ΕΚ».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οικ. 10245/713/1997 (ΦΕΚ 311Β/16-04-1997)** «Μέτρα και όροι για τον έλεγχο των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) που προέρχονται από την αποθήκευση βενζίνης και τη διάθεση της από τις τερματικές εγκαταστάσεις στους σταθμούς διανομής καυσίμων».
- **Οξίνιση, Ευτροφισμός, Πρόδρομες Ενώσεις του Όζοντος (O3): Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ 29459/1510/2005 (ΦΕΚ 992Β/14-07- 2005)** «Καθορισμός εθνικών ανωτάτων ορίων εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/81/ΕΚ "σχετικά με εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους" του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001».
- **Ουσίες που Καταστρέφουν τη Στιβάδα του Όζοντος: Κανονισμός ΕΚ 2037/2000** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Ιουνίου 2000 για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος, με πεδίο εφαρμογής την παραγωγή, την εισαγωγή, την εξαγωγή, τη διάθεση στην αγορά, τη χρήση, την ανάκτηση, την ανακύκλωση, την ποιοτική αποκατάσταση και την καταστροφή των συγκεκριμένων ουσιών, την υποβολή στοιχείων σχετικά με τις ουσίες αυτές και τις εισαγωγές, τις

εξαγωγές, τη διάθεση στην αγορά και τη χρήση προϊόντων και εξοπλισμού που περιέχουν τις συγκεκριμένες ουσίες.

- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 37411/1829/Ε103/2007 (ΦΕΚ 1827Β/11-09-2007)** «Καθορισμός αρμόδιων αρχών, μέτρων και διαδικασιών για την εφαρμογή του Κανονισμού (ΕΚ) υπ' αριθμ. 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Ιουνίου 2000 "για τις ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος", όπως τροποποιημένος ισχύει».
- **Έμμονοι Οργανικοί Ρύποι: Νόμος 3447/2006 (ΦΕΚ 52Α/13-04-2006)**, «Κύρωση της Σύμβασης της Στοκχόλμης για τους Έμμονους Οργανικούς Ρύπους (Persistent Organic Pollutants - POPs)».
- **Αέρια Θερμοκηπίου: Νόμος 3017/2002 (ΦΕΚ 117Α/30-05-2002)** «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος»
- **Πράξη Υπουργικού Συμβουλίου (Π.Υ.Σ.) 5/2003 (ΦΕΚ 58Α/05-03-2003)** «Έγκριση Εθνικού Προγράμματος μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου (2000-2010) σύμφωνα με το άρθρο τρίτο (παράγραφος 3) του Ν. 3017/2002 (ΦΕΚ Α' 117)».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 54409/2632/2004 (ΦΕΚ 1931Β/27-12-2004)** «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ "σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου" του Συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 2003 και άλλες διατάξεις.»
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 9267/468/2007 (ΦΕΚ 286Β/02-03-2007)** «Τροποποίηση της υπ' αριθμ. 54409/2632/2004 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 1931), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2004/101/ΕΚ "για την τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ σχετικά με την «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Έννοιες και θεσμικό πλαίσιο σε Εθνικό και Κοινοτικό επίπεδο» 93 θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας, όσον αφορά τους μηχανισμούς έργων του Πρωτοκόλλου του Κιότο" του Συμβουλίου της 27ης Οκτωβρίου 2004».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθμ. 36028/1604/2006 (ΦΕΚ 1216Β/01-09-2006)** «Έγκριση Εθνικού Σχεδίου Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) αερίων θερμοκηπίου περιόδου 2005–2007, σύμφωνα με το άρθρο 7 της υπ' αριθμ.

54409/2632/2004 κοινής υπουργικής απόφασης «Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ ...» (Β' 1931)» και σε συμμόρφωση με το άρθρο 11 (παρ. 1) της οδηγίας 2003/87/ΕΚ του Συμβουλίου της 31ης Δεκεμβρίου 2003».

- **Εκπομπές από καύσεις – Ενέργεια: Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 29457/1511/2005 (ΦΕΚ 992Β/14-07-2005)** «Καθορισμός μέτρων και όρων για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων που προέρχονται από μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/80/ΕΚ "για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων από μεγάλες εγκαταστάσεις", του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2001».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11294/1993 (ΦΕΚ 264Β/15-04-1993)** «Όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ, ντήζελ ή αέριο.
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 10315/1993 (ΦΕΚ 369Β/24-05-1993)** «Ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού»
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11535/1993 (ΦΕΚ 328Β/06-05-1993)** «Επιτρεπόμενα είδη καυσίμων στις βιομηχανικές, βιοτεχνικές και συναφείς εγκαταστάσεις στους αποτεφρωτήρες νοσηλευτικών μονάδων και μέτρα για τις ανοικτές εστίες καύσης». «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Έννοιες και θεσμικό πλαίσιο σε Εθνικό και Κοινοτικό επίπεδο»

2.6.5 Θεσμικό πλαίσιο αντιμετώπισης επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι δύο θεσμικοί κανόνες που καθορίζουν τα έκτακτα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση περιπτώσεων έξαρσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι παρακάτω:

- **Νόμος 1327/1983 (ΦΕΚ 21Α/07-02-1983)** «Κύρωση και τροποποίηση της από 18 Ιουνίου 1982 Πράξεως Νομοθετικού Περιεχομένου: "Αντιμετώπιση εκτάκτων επεισοδίων ρύπανσης του περιβάλλοντος και ρύθμιση συναφών θεμάτων"».
- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. οίκοθεν 11824/1993 (ΦΕΚ 369Β/24-05-1993)** «Έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Πρωτεύουσας»

2.7 Θεσμικό πλαίσιο για τη ρύθμιση της πρόσβασης του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες

Το θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει τη δυνατότητα πρόσβασης του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και τη συμμετοχή του στη λήψη αποφάσεων αποτελείται από τους δύο ακόλουθους κανόνες:

- **Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) με Αριθ. Η.Π. 11764/653/2006 (ΦΕΚ 327Β/17-03-2006)** «Πρόσβαση του κοινού στις δημόσιες αρχές για παροχή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/4/ΕΚ «για την πρόσβαση του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και για την κατάργηση της οδηγίας 90/313/ΕΟΚ» του Συμβουλίου. Αντικατάσταση της υπ' αριθμ. 77921/1440/1995 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 795)».
- **Κανονισμός ΕΚ αριθ. 1367/2006** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 για την: «εφαρμογή στα όργανα και τους οργανισμούς της Κοινότητας των διατάξεων της σύμβασης του Århus σχετικά με την πρόσβαση στις πληροφορίες, τη συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων και την πρόσβαση στη δικαιοσύνη για περιβαλλοντικά θέματα». (Λαζόγλου, 2009)

2.8 Σταθμοί μέτρησης αέριων ρύπων και επιδράσεις σε άνθρωπο και περιβάλλον

Για πρώτη φορά το 1967 εγκαταστάθηκε στην Αθήνα από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) το πρώτο δίκτυο σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην περιοχή της Αθήνας με αρχικά 2 σταθμούς που γρήγορα έγιναν 6. Στη συνέχεια το δίκτυο εκσυγχρονίστηκε με την ίδρυση νέων σταθμών που άνηκε στη δικαιοδοσία του ΥΠΕΧΩΔΕ. Μετά το 1986, η εγκατάσταση τέτοιων σταθμών έγινε και σε άλλα μεγάλα αστικά και βιομηχανικά κέντρα της χώρας που δεν ανήκουν κατά ανάγκη στην ΥΠΕΧΩΔΕ, αλλά λειτουργούν από άλλους οργανισμούς. (Καμπεζίδης & Ματράλης, 2004). Το 2015 η διεύθυνση ΚΑΠΑ λειτούργησε 14 σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Αττικής καθώς και έναν σταθμό στην Αλίαρτο Βοιωτίας για τις ανάγκες του Προγράμματος Διασυνοριακής Μεταφοράς της Ρύπανσης.



Σχήμα 6. Χάρτης σταθμού μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ στην Αττική

ΠΗΓΗ: Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2017

Το ΥΠΕΝ ως ΥΠΕΧΩΔΕ αναβάθμισε σταθμούς του λεκανοπεδίου Αττικής και εγκατέστησε νέους σταθμούς σε μεγάλες πόλεις δημιουργώντας το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Αυτή τη στιγμή αυτόματοι σταθμοί λειτουργούν εκτός των Αθηνών σε: Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλο, Λάρισα, Καβάλα, Ιωάννινα, Κοζάνη, Μεγαλόπολη, Χαλκίδα και Πτολεμαΐδα. Σήμερα λειτουργούν 16 σταθμοί στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, 7 σταθμοί στη Θεσσαλονίκη, 2 σταθμοί στη Πάτρα και από ένας σταθμός στο Ηράκλειο, στα Ιωάννινα, στο Βόλο και στη Λάρισα.

Σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία αποτελεί υποχρέωση της χώρας η λειτουργία δικτύου σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για το σκοπό αυτό και με πόρους του Β΄ ΚΠΣ, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού προγράμματος «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ», το ΥΠΕΝ ως ΥΠΕΧΩΔΕ αναβάθμισε σταθμούς του λεκανοπεδίου των Αθηνών και άλλων πόλεων, που ήδη λειτουργούσαν, και παράλληλα εγκατέστησε νέους σταθμούς σε μεγάλες πόλεις, δημιουργώντας το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ). Το ΕΔΠΑΡ ξεκίνησε να λειτουργεί από το 2000 (Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2017).

Το Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, που ανήκει στη Δ/ση Κλιματικής Αλλαγής και Ποιότητας Ατμόσφαιρας (ΚΑΠΑ) του ΥΠΕΝ είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής Αττικής. Την ευθύνη της λειτουργίας των υπόλοιπων σταθμών του ΕΔΠΑΡ είχαν οι υπηρεσίες των πρώην Περιφερειών, σύμφωνα με το Ν. 2647/1998

(ΦΕΚ 237/Α). Ειδικότερα για τους σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι στο Βόλο και τη Λάρισα τη λειτουργία τους είχαν αναλάβει οι αντίστοιχες Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, μέχρι το 2010. Με την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης με το Ν. 3852/2010 (ΦΕΚ 87/Α) και της ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε.103/2011 (ΦΕΚ 488/Β). Οι αρμοδιότητες που αφορούν στην εγκατάσταση και τη λειτουργία σταθμών παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας μεταβιβάστηκαν από τις Αποκεντρωμένες Διοικήσεις στις Περιφέρειες της χώρας (Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2017).

Οι μετρούμενοι ρύποι καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον πίνακα 3. Η μέτρηση των ρύπων γίνεται σε συνεχή βάση και καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Ο χρόνος απόκρισης των αυτομάτων αναλυτών είναι της τάξης του ενός λεπτού δηλαδή ο κάθε αναλυτής δίνει μια τιμή περίπου κάθε λεπτό. Με ένα μικροεπεξεργαστή, που βρίσκεται σε κάθε αυτόματο σταθμό και που είναι συνδεδεμένος με τους αυτόματους αναλυτές, υπολογίζονται κάθε ώρα οι μέσες ωριαίες τιμές ρύπανσης. Οι τιμές αυτές μεταβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστή της Υπηρεσίας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής και με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής. (Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2017).

Πίνακας 3. Μετρούμενοι Ρύποι και μέθοδοι μέτρησης

Ρύπος	Μέθοδοι μέτρησης
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Απορρόφηση στο υπέρυθρο (NDIR)
Οξείδια του αζώτου (NO,NO ₂)	Χημειοφωταύγεια
Όζον	Απορρόφηση στο υπεριώδες
Διοξείδιο του θείου	Φθορισμομετρία
Αιωρούμενα σωματίδια (A _{Σ10} -A _{Σ2,5})	Απορρόφηση β ακτινοβολίας
Βενζόλιο(C ₆ H ₆)	Αέρια χρωματογραφία
Βαρέα μέταλλα	Ατομική Απορρόφηση

Πηγή:<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=5%2fu3%2ft4nhE4%3d&tabid=490&language=el-GR>

Στη περιοχή της Λάρισας και του Βόλου ,που εστιάζεται η παρούσα εργασία , οι ρύποι που μετρούν οι σταθμοί είναι τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} ενώ παλιότερα είχαμε δεδομένα για περισσότερους ρύπους όπως NO_x , CO και O_3 . Η χρονική βάση των μετρήσεων των PM_{10} είναι 1 ώρα.

Οι τρόποι μέτρησης των PM σωματιδίων βάση του ΥΠΕΚΑ είναι:

- Απορρόφηση ακτινοβολίας β (εκτός από την Ελευσίνα που χρησιμοποιείται η σταθμική)

Άλλες μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος δονούμενου δοχείου
- Μέθοδος πολλαπλών κοσκίνων για την κατανομή του μεγέθους

2.9 Μέθοδος μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων

Η βασική μέθοδος μέτρησης της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων είναι η **απορρόφηση της ακτινοβολίας β**. Η ακτινοβολία β είναι σωματιδιακή ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από ραδιενεργούς πυρήνες ή μπορεί να παραχθεί με επιταχυντές σωματιδίων . Τα αιωρούμενα σωματίδια διαχωρίζονται με διήθηση χρησιμοποιώντας μια μεμβράνη όπου η ικανότητα απορρόφησης ακτινοβολίας β έχει μετρηθεί από πριν.



Εικόνα 2. Δειγματολήπτης β ακτινοβολίας 1020.

ΠΗΓΗ: (Μπέσα,2015)

Η **σταθμική ανάλυση** είναι μία απλή , ακριβής και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέτρηση της σωματιδιακής συγκέντρωσης και απαιτεί ακριβή μέτρηση της καθαρής δειγματοληψίας και μέτρηση της καθαρής μάζας που συλλέγεται στο φίλτρο.(Hinds,1999 Morawska &Salthammer,2003). Στο συγκεκριμένο δειγματολήπτη διέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας από μια ειδική κεφαλή δειγματοληψίας με τη βοήθεια μιας αντλίας ελεγχόμενης ροής. Ο δειγματολήπτης συνδέεται άμεσα με ένα φίλτρο υπόστρωμα και ελεγκτή ρυθμιζόμενης ροής όπου μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας με διάρκεια περίπου 24 ωρών , η μάζα που συλλέγεται στο φίλτρο προσδιορίζεται δια ζυγίσεως σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας . Οι αντλίες διακρίνονται σε μικρής, μεγάλης και πολύ μεγάλης ροής. Οι μικρές αντλίες τύπου Derenda χαρακτηρίζονται από ροή $2.3 \text{ m}^3/\text{h}$, οι μεγάλης ροή από $68 \text{ m}^3/\text{h}$ και οι πολύ μεγάλης ροής από $1966 \text{ m}^3/\text{h}$. Οι δύο τελευταίες αντλίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων. (Ελληνικό Πρότυπο, 1999).

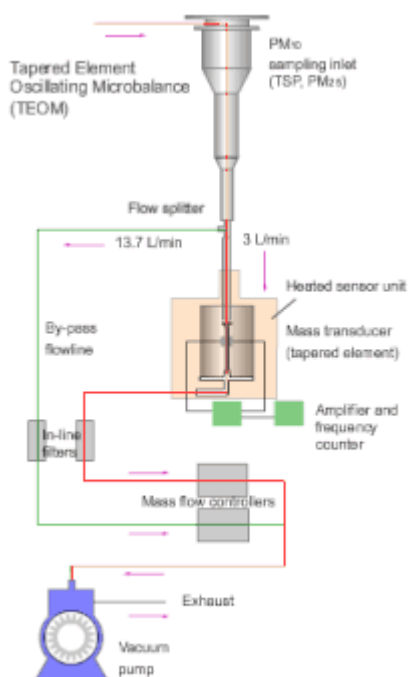


Εικόνα 3. Εσωτερική άποψη δειγματολήπτη (αριστερά), Εσωτερική άποψη δειγματολήπτη sequential με κασετίνα 16 φίλτρων (δεξιά)

ΠΗΓΗ: (Μπέσα,2015)

Μέθοδος TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται στη μεταβολή της συχνότητας ταλάντωσης του συστήματος, οπότε καθορίζεται η μεταβολή της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων που έχουν συλλεχθεί. Αναλυτικότερα, το ρεύμα αέρα διαχωρίζεται έτσι, ώστε, ένα μέρος του να οδηγηθεί κατευθείαν στην κεντρική μονάδα του οργάνου, ενώ το υπόλοιπο να οδηγηθεί προς εξάτμιση. Η κεντρική μονάδα αποτελείται από ένα αντικαταστάσιμο φίλτρο συλλογής, το οποίο είναι τοποθετημένο στην κορυφή του γυάλινου κωνικού σωλήνα. Αυτός ο σωλήνας είναι σταθερά προσαρτημένος σε μια βάση, ενώ η κορυφή του είναι ελεύθερη να ταλαντώνεται στην ιδιοσυχνότητά του. Καθώς τα σωματίδια συσσωρεύονται πάνω στο φίλτρο, η συχνότητα ταλάντωσης του σωλήνα μειώνεται. Ο ρυθμός απόθεσης της μάζας υπολογίζεται αυτόματα από τη σχέση μεταξύ της αποτιθέμενης μάζας και της αλλαγής στη συχνότητα ταλάντωσης. Ο ρυθμός απόθεσης της μάζας διαιρεμένος με τη συνολική ροή στη μονάδα του χρόνου εξάγουν τη συνεχή συγκέντρωση των σωματιδίων. (Μπέσα,2015).



Εικόνα 4. Σχηματική Αναπαράσταση του TEOM και των επιμέρους τμημάτων του

ΠΗΓΗ: (Μπέσα,2015)

Αν χρειαζόμαστε πληροφορίες για τον προσδιορισμό του μεγέθους ή τη χημική τους σύσταση η πιο κοινή τεχνική είναι η μέθοδος των πολλαπλών κοσκίνων. Στη μέθοδο αυτή το κάθε επίπεδο αφαιρεί σωματίδια με σταδιακά μικρότερη διάμετρο. Για τη χημική σύσταση χρησιμοποιούμε μεθόδους στοιχειακής ανάλυσης όπως φασματοσκοπία φθορισμού με ακτίνες Χ και ενεργοποίηση του δείγματος με βομβαρδισμό νετρονίων.

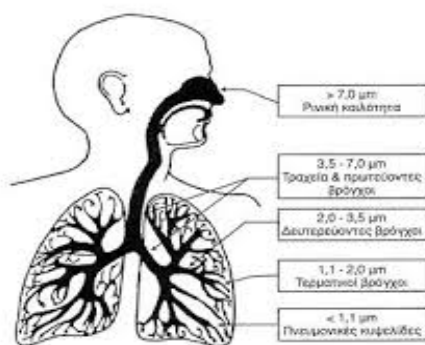
2.10 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων έχει επιπτώσεις τόσο στην υγεία των ανθρώπων όσο και στο περιβάλλον.

2.10.1 Επιδράσεις στον άνθρωπο

Ένας άνθρωπος αναπνέει περίπου 10.000 λίτρα αέρα την ημέρα. Η ποιότητα του αέρα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου. Στις μέρες μας η ατμοσφαιρική ρύπανση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων ειδικότερα σε εκείνους που ζουν στα αστικά κέντρα.

Το μέγεθος των σωματιδίων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου αφού όσο πιο μικρή είναι η διάμετρός τους, τόσο πιο πολύ αυξάνεται η πιθανότητα εισχώρησής τους στη περιοχή των πνευμόνων.



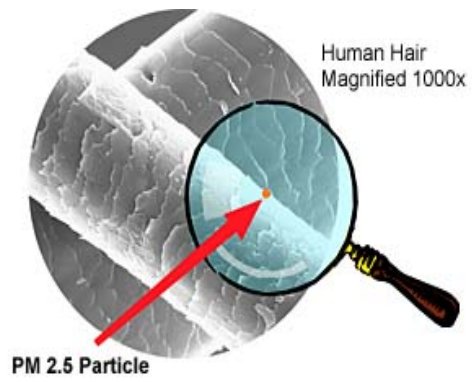
Εικόνα 5. Βάθος διείσδυσης αιωρούμενων σωματιδίων

(Πηγή: Διαπούλη, 2008)

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι σωματίδια διαμέτρου μεγαλύτερης από PM_{10} αντιστοιχούν στην ρινοφαρυγγική κοιλότητα , ενώ σωματίδια μικρότερης διαμέτρου στους πνεύμονες. Όμως εκτός από το μέγεθος του σωματιδίου σημαντικό ρόλο παίζει και η χημική σύσταση . Η χημική σύσταση είναι αυτή που καθορίζει πως ένα ανθρώπινο όργανο θα αντιδράσει όταν έρθει σε επαφή με τα σωματίδια. Είναι γνωστό ότι πολλά σωματίδια λειτουργούν ως μεταφορείς άλλων σωματιδίων ή αέριων χημικών ουσιών τα οποία απορροφούνται ή προσροφούνται στο αρχικό σωματίδιο. Αυτά τα μεταφερόμενα χημικά είδη μπορούν να προκαλέσουν διάφορα προβλήματα υγείας. Για να γίνει κατανοητό το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων που εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου ακολουθούν οι παρακάτω εικόνες: Στην παρακάτω εικόνα ως μέτρο σύγκρισης μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η ανθρώπινη τρίχα. Η ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο περίπου από 50-70 μm και το μέγεθος από μια κόκκο άμμου είναι στα 90 μm . Έτσι γίνεται κατανοητό το μέγεθος των σωματιδίων που εισπνέουμε και πόσο εύκολο εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου.



Εικόνα 6. Τυπικό μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2.5}$ συγκριτικά με τρίχα μαλλιού και με μέγεθος κόκκου άμμου. (Κουλλαπής Ν.,2010)



Εικόνα 7. Μέγεθος αιωρούμενου σωματιδίου PM2.5. (Κουλλάπης Ν.,2010)

Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα APHEA (Air Pollution and Health: A European Approach) βασίστηκε σε υλικό από 30 ευρωπαϊκές πόλεις και διερεύνησε βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία (Atkinson and Anderson,2001). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} κατά $10\mu g/m^3$ σχετίζεται με αύξηση στην ημερήσια ολική θνησιμότητα κατά 0,6%, στην αναπνευστική κατά 1%, και στην καρδιαγγειακή κατά 0,8% (Katsouyianni et.al.,1995,1997,2003). Για την ίδια αύξηση στα επίπεδα του ρύπου, οι εισαγωγές στα νοσοκομεία από νοσήματα του αναπνευστικού αυξάνονται στατιστικά κατά 0,3% για ηλικίες 15-64 και περίπου 1% για ηλικίες άνω των 65 ετών (Poloniesci et.al,1997). Οι εισαγωγές από καρδιακά νοσήματα αυξάνονται στατιστικά κατά 0,5% για όλες τις ηλικίες και κατά 0,8% για ηλικίες άνω των 65 ετών. (Brook et.al.,2004).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί την αιτία περίπου 3000000 θανάτων ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο αφού τα σωματίδια δρουν επιβαρυντικά για την υγεία ακόμα και σε συγκεντρώσεις κατά πολύ μικρότερες από τα προβλεπόμενα ανώτατα επιτρεπτά όρια. (WHO,2000).

2.10.2 Επιδράσεις στο περιβάλλον

Η άμεση επίδραση των PM_{10} σωματιδίων αφορά κυρίως τη βλάστηση, κυρίως την εναπόθεσή τους στην επιφάνεια των φυτών. Τα σωματίδια μπορούν να παραμείνουν στις επιφάνειες των φυτών για μεγάλες χρονικές περιόδους και να απορροφηθούν από την επιφάνεια ή να απομακρυνθούν από αυτά ξανά στην ατμόσφαιρα (επαναιώρηση) ή και να πέσουν στο έδαφος (Grantz et al.,2003). Η έμεση επίδραση αφορά κυρίως την εναπόθεσή τους στο έδαφος με αποτέλεσμα να αλλάζουν οι χημικές του ιδιότητες . Η πιο σημαντική εναπόθεση είναι η όξινη και αφορά κυρίως σωματίδια που περιέχουν νιτρικά και θειικά οξέα. Σημαντικές επιπτώσεις της όξινης εναπόθεσης είναι η μείωση της φωτοσύνθεσης ,η πτώση των φύλλων και γενικά η μειωμένη ανάπτυξη των φυτών. (US EPA,2004).

2.10.3 Επιδράσεις στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και στην ορατότητα

Έρευνες απέδειξαν ότι τα αερολύματα επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η άμεση επίδραση σχετίζεται με τους μηχανισμούς σκέδασης και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τη μείωση της άμεσης ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος. Έτσι έχουμε αύξηση της ανακυκλώμενης ακτινοβολίας που επιστρέφει στο διάστημα (West et al.,1997, Highwood et al.,2006)

Η έμμεση επίδραση είναι συνυφασμένη με τα δημιουργούμενα νέφη. Αυτό συμβαίνει κυρίως με τα σωματίδια τα οποία έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα και τα οποία δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης , βασικός δηλαδή μηχανισμός στη δημιουργία νεφών. (Biskos,2004, West et.al.,1997). Η αυξημένη συγκέντρωση πυρήνων συμπύκνωσης υποδηλώνει αυξημένο αριθμό σταγονιδίων στα νέφη. Τα νέφη ανακλούν ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι δημιουργείται μείωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

Η Μείωση της ορατότητας είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζεται άμεσα από τη συσσώρευση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Υπάρχουν δύο φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα , η σκέδαση και η απορρόφηση του φωτός, από σωματίδια. Ο δευτερογενής ρύπος ,διοξείδιο του αζώτου (NO_2), που δημιουργείται στην ατμόσφαιρα έχει την ικανότητα να απορροφά ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος του ορατού φωτός, αναγκάζοντας το ανθρώπινο μάτι να παρατηρεί ακτινοβολία μεγαλύτερου μήκους κύματος. (Μπεληγιάννης,2013).



Pictures taken from a same location at same time of day, on two different days

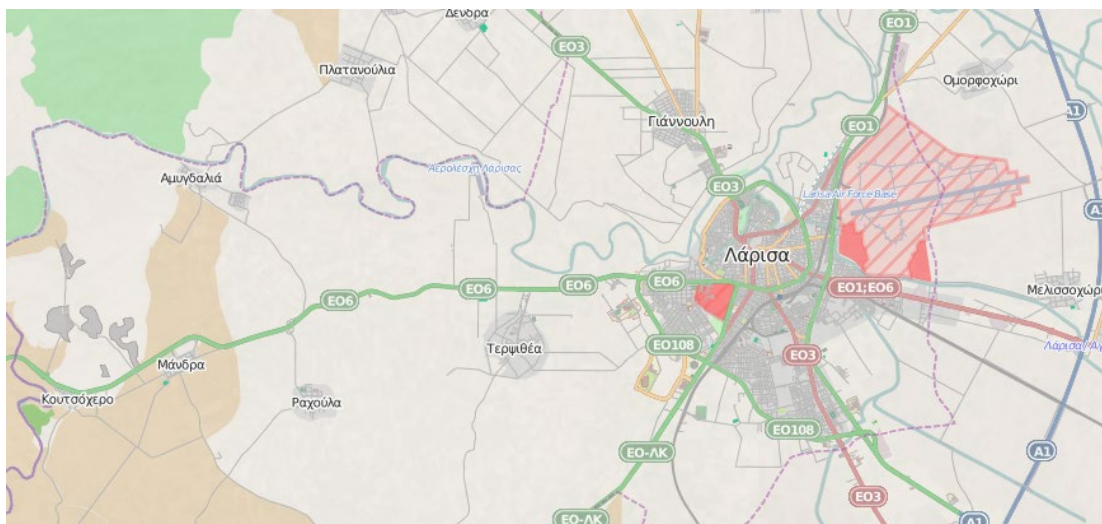
Εικόνα 8. Φωτογραφία της πόλης Pittsburg , 2 διαφορετικών ημερών , την ίδια ώρα, με διαφορά στη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων.

ΠΗΓΗ: Ανδρίτσος,2007

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ

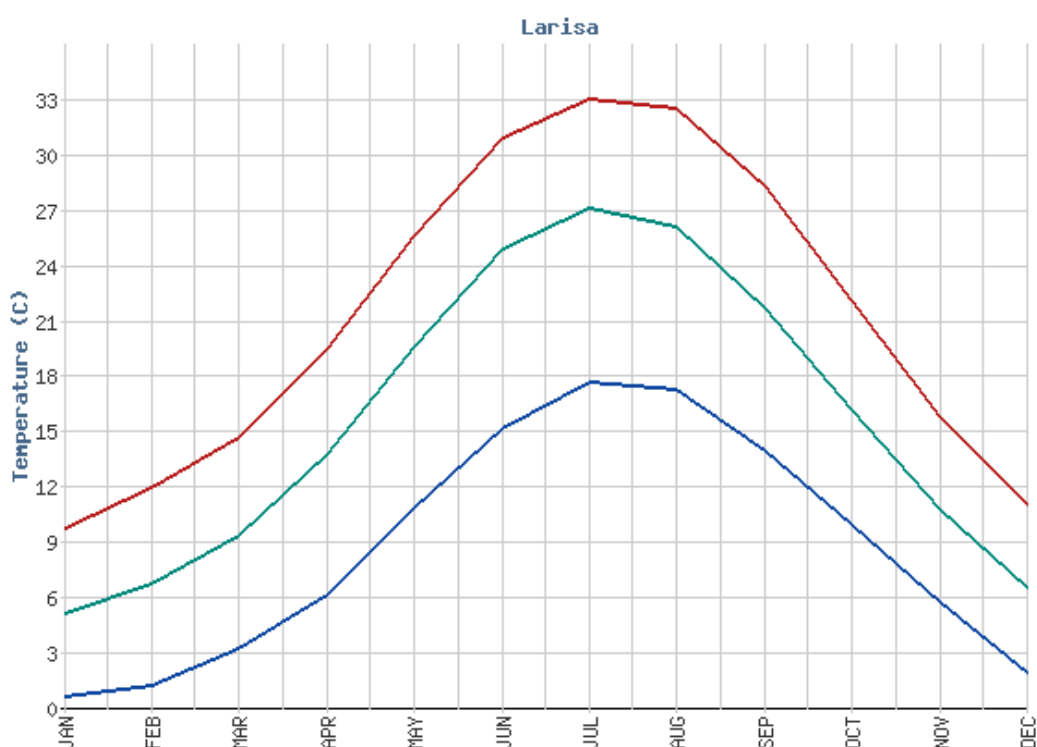
Ο δήμος της Λάρισας έχει έκταση 335,12 km², βρίσκεται στο κέντρο της Περιφέρειας Θεσσαλίας, σε Γ. Μήκος (Lon) 22ο27' / Γ. Πλάτος (Lat) 39ο38'45'' / και σε Ύψος 72,72μ. πάνω από τη θάλασσα. Βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα, έχει μόνιμο πληθυσμό στο δήμο 162.591 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της Ελληνική Στατιστικής Υπηρεσίας, αποτελεί το 57% του συνολικού πληθυσμού της Περιφερειακής ενότητας Λάρισας, δηλαδή λίγο περισσότερο του μισού πληθυσμού είναι συγκεντρωμένος στο αστικό κέντρο της Λάρισας. Ο πληθυσμός της Δημοτικής Ενότητας της Λάρισας (έδρα του Δήμου) αποτελεί το 90,3% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου, ενώ στις υπόλοιπες Δημοτικές Ενότητες, το ποσοστό διαμορφώνεται ως εξής: Γιάννουλη 7,7% και Κοιλάδα 1,9%. Έχει έκταση 19.000 στρέμματα και διατρέχεται από τον Πηνειό ποταμό, ο οποίος πηγάζει από την Πίνδο, περνάει ανάμεσα από την Κοιλάδα των Τεμπών, που βρίσκεται μεταξύ του Ολύμπου και της Όσσας και εκβάλλει στο Θερμαϊκό Κόλπο. Είναι η πρωτεύουσα του νομού Λαρίσης, του δεύτερου μεγαλύτερου νομού με έκταση 5.381 km². Βόρεια συνορεύει με τους νομούς Πιερίας και Κοζάνης, δυτικά με τους νομούς των Γρεβενών, των Τρικάλων, της Καρδίτσας, νότια με τους νομούς Φθιώτιδος και Μαγνησίας και ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος σε μήκος 70 περίπου km. Το βορειότερο τμήμα του νομού καλύπτεται από δάση, ενώ το μεγαλύτερό του τμήμα είναι πεδινό. Επιπλέον, είναι η έδρα της Περιφέρειας Θεσσαλίας και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας



Σχήμα 7. Χάρτης της πόλης Λάρισας

Πηγή: (geodata.gov.gr).

Το κλίμα της Λάρισας έχει τα στοιχεία του ηπειρωτικού κλίματος της πεδινής Θεσσαλίας με κυριότερο χαρακτηριστικό το μεγάλο θερμομετρικό εύρος μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα, που υπερβαίνει τους 22°C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16°C και 17°C. Το καλοκαίρι στην πόλη είναι εξαιρετικά θερμό, με τη μέγιστη θερμοκρασία να έχει αγγίξει τους 45,2°C, ενώ η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί είναι -21,6°C. Τα τελευταία πέντε έτη παρατηρείται αύξηση των ημερών με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που αποδίδεται στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Katsafados et al., 2012, Journal of Maps). Στον πίνακα 4 αναφέρονται οι τιμές θερμοκρασίας (Ελάχιστες, Μέσες και Μέγιστες), για κάθε μήνα του έτους για τη περίοδο 1955-1997, έτσι πως καταχωρήθηκαν στο αρχείο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.



Σχήμα 8. Διάγραμμα Τιμών Θερμοκρασίας
(Ε.Μ.Υ. 1955-1997)

Πίνακας 4. Μηνιαίες Τιμές Θερμοκρασίας (Ελάχιστης, Μέσης και Μέγιστης)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	0,7	1,3	3,3	6,2	10,9	15,2
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	5,2	6,8	9,4	13,8	19,7	25,0
ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	9,8	12,0	14,7	19,6	25,7	31,0
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	17,7	17,3	14,0	10,0	5,8	2,0
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	27,2	26,2	21,8	16,2	10,8	6,6
ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	33,1	32,6	28,4	22,2	15,8	11,1

ΠΗΓΗ:(Ε.Μ.Υ.1955-1997).

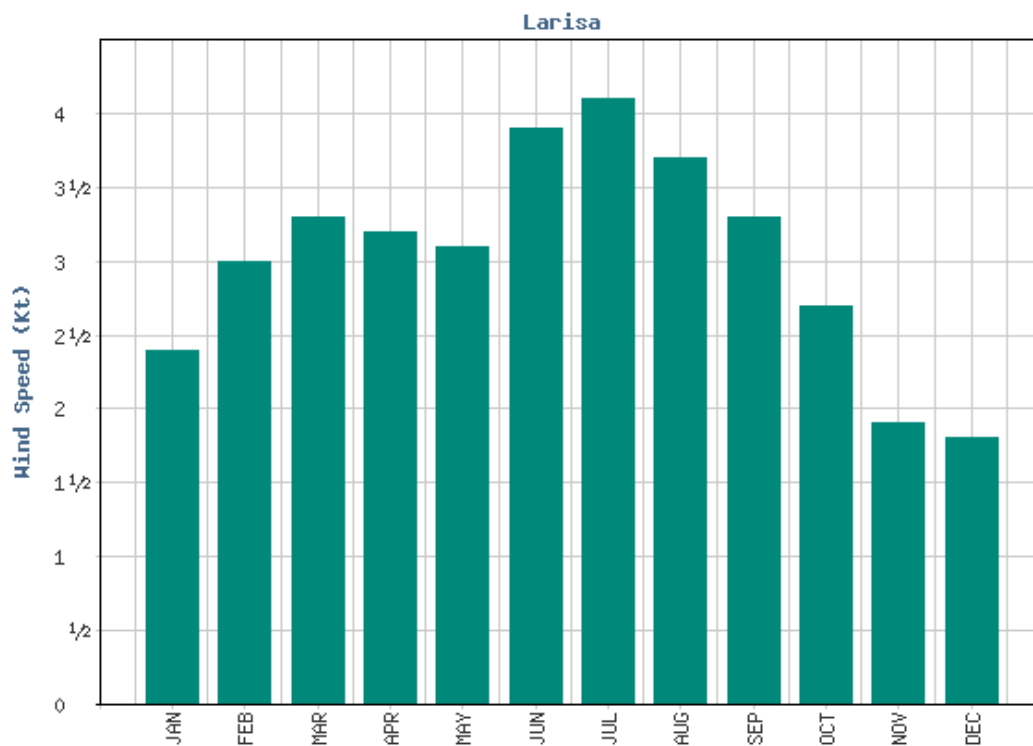
Συνοπτικά, όσον αφορά την υπό μελέτη περιοχή της Λάρισας τα τοπογραφικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Η τοπογραφία της περιοχής. Η Λάρισα περιβάλλεται από ορεινούς όγκους, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τοπικών συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα, που δυσχεραίνει τη διαδικασία καθαρισμού με τους μηχανισμούς διάχυσης και μεταφοράς.
- Οι κλιματολογικές συνθήκες. Το κλίμα της Λάρισας χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία, συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση της φωτοχημικής ρύπανσης. Το νέφος των ρύπων δρα σαν «κουβέρτα» πάνω από την πόλη σημειώνοντας μία σοβαρή μείωση της ηλιοφάνειας στην περιοχή αυτή.
- Η μεταφορά σκόνης από ερήμους (π.χ. Σαχάρα). Ένα φαινόμενο που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος της Λάρισας και που παρατηρείται σε όλες τις νότιες Ευρωπαϊκές χώρες κάτω από συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες, (Γατσέλου, 2017).

Η περιοχή της Λάρισας περιβάλλεται στα βόρεια από τα όρη του Ολύμπου και των Χασίων ενώ στα δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου, στα νότια από το όρος Όθρυς και στα ανατολικά από το όρος Όσσα. Αυτά τα βουνά που συμβάλλουν την πεδιάδα της ευρύτερης περιοχής της Λάρισας, εμποδίζουν την κυκλοφορία του αέρα. Ιδιαίτερα ο Όλυμπος και η Όσσα μέσω των οποίων ο Πηνειός εισέρχεται στο Αιγαίο σχηματίζουν ένα φυσικό τείχος που χωρίζει τη πεδιάδα από το Αιγαίο Πέλαγος και έτσι εμποδίζονται οι φρέσκες αέριες μάζες στο να κινούνται από τη θάλασσα προς τη πεδιάδα της περιοχής. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η ατμοσφαιρική θερμοκρασία φτάνει μερικές φορές μέχρι και 46° C στη πόλη της Λάρισας. (Bellos& Sawidis, 2005). Στη διαμόρφωση αυτή του μικροκλίματος της Λάρισας συντελεί και η πολύ πυκνή δόμηση από πολυώροφα κτήρια και η εμφανής έλλειψη αστικού πρασίνου στον κύριο ιστό της πόλης. (Λυτροκάπης & Μανίκα, 2009).

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από δύο ομάδες ανέμων:

- Τους ετήσιους , με βόρεια διεύθυνση τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο και με ανατολική διεύθυνση όλους τους υπόλοιπους μήνες.
- Τον λίβα (θερμές μάζες αέρα) νότιου προσανατολισμού (Μανουσάκη,2010).



Σχήμα 9. Μέση Ένταση του Ανέμου Πόλης Λάρισας

(Ε.Μ.Υ. 1955-1997).

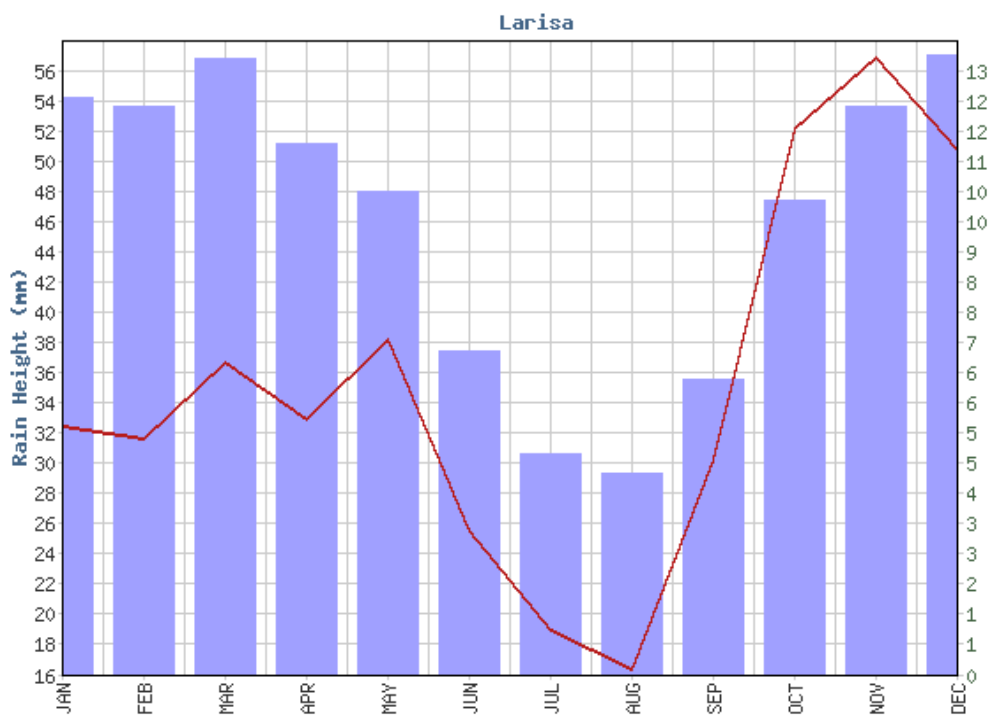
Πίνακας 5. Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμου και Διευθύνσεις Ανέμου ανά Μήνα στη Πόλη της Λάρισας

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	Β	Α	Α	Α	Α	Α
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ	2.4	3.0	3.3	3.2	3.1	3.9

ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (kt)						
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	A	A	A	A	A	B
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (kt)	4.1	3.7	3.3	2.7	1.9	1.8

ΠΗΓΗ Ε.Μ.Υ.(1955-1998)

Οι κλιματολογικές συνθήκες: Το κλίμα της Λάρισας χαρακτηρίζεται από υψηλή ηλιοφάνεια και θερμοκρασία γεγονός που ευνοεί την εμφάνιση φωτοχημικής ρύπανσης. Επιπλέον η έλλειψη βροχοπτώσεων δεν επιτρέπει την έκπλυση της ατμόσφαιρας που θα οδηγούσε σε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από σωματίδια. Η έλλειψη βροχοπτώσεων οδηγεί σε υπαναχώρηση σκόνης από το έδαφος. (Δήμος Λαρισσαίων,2013).



Σχήμα 10. Μέσο Ύψος Βροχής Λάρισας

(Ε.Μ.Υ. 1955-1997).

Πίνακας 6. Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση Πόλης Λάρισας (Ε.Μ.Υ.1955-1997)

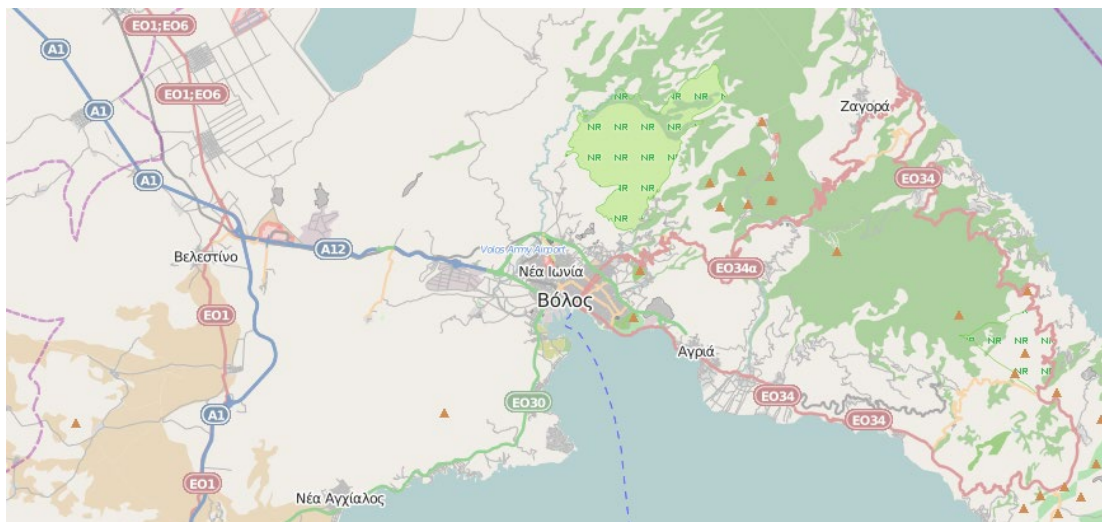
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	32.5	31.7	36.7	33	38.2	25.6
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	12.3	12.1	13.1	11.3	10.3	6.9
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	19.0	16.4	30.2	52.2	56.9	50.8
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	4.7	4.3	6.3	10.1	12.1	13.2

ΠΗΓΗ:(ΕΜΥ.1955-1997).

3.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ

Η περιοχή του Βόλου

Ο Βόλος βρίσκεται σε Γ.Μήκος (Lon) 22ο47'37"/ Γ.Πλάτος (Lat) 39ο13'24" και σε Ύψος 12,82μ. από τη στάθμη της θάλασσας. Η πόλη του Βόλου είναι παραλιακή πόλη της Θεσσαλίας, χτισμένη στους πρόποδες του Πηλίου. Είναι μία από τις πιο μεγάλες πόλεις και ένα από τα σημαντικότερα λιμάνια της Ελλάδας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο διευρυμένος Δήμος Βόλου ανέρχεται σε 144.449 κατοίκους, του πολεοδομικού συγκροτήματος Βόλου σε 125.248, ενώ η πόλη του Βόλου έχει πληθυσμό 86.046 μόνιμους κατοίκους. Η πυκνότητα του πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο είναι 374,59 κάτοικοι/m² (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, απογραφή 2011).

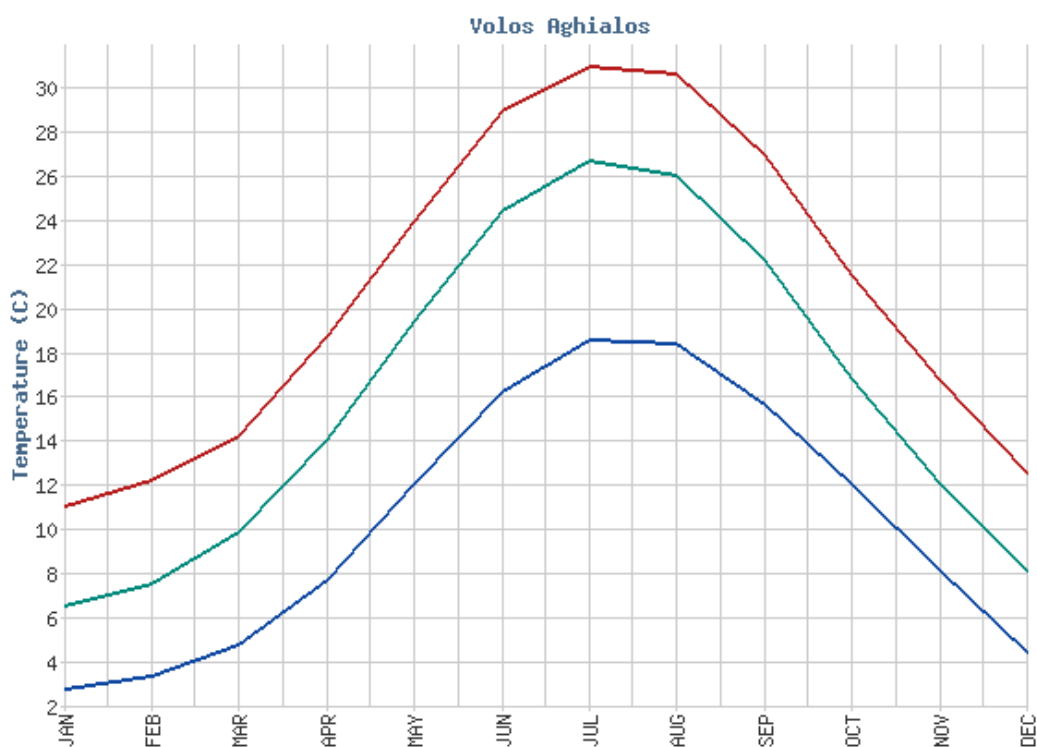


Σχήμα 11. Χάρτης της Πόλης του Βόλου

Πηγή: (geodata.gov.gr).

Ο διευρυμένος Δήμος Βόλου αποτελείται από τον αρχικό δήμο Βόλου με την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Ιωλκού, Νέας Αγχιάλου, Αγριάς, Πορταριάς, Νέας Ιωνίας, Αρτέμιδας και Αισωνίας και της Κοινότητας Μακρινίτσας. Στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Βόλου, απαντώνται δύο μεγάλα βιομηχανικά κέντρα με δραστηριότητες όπως βιομηχανίες μετάλλου, τροφίμων - ποτών, παραγωγής τσιμέντου, χημικές, πλαστικών κ.α., η σημαντικότερη εκ των οποίων είναι η βιομηχανία τσιμέντων ΑΓΕΤ Ηρακλής, η οποία βρίσκεται σε απόσταση 2 km από την κατοικημένη περιοχή.

Το κλίμα στην περιοχή της πόλης του Βόλου έχει τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος των παραθαλασσίων περιοχών της Θεσσαλίας δηλαδή θερμά και ξηρά καλοκαίρια με υγρούς και ψυχρούς χειμώνες, με ετήσιες διαφορές μεταξύ μεγίστης και ελαχίστης θερμοκρασίας άνω των 20°C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 16.4°C. Ο μέσος όρος υψηλής θερμοκρασίας ετησίως είναι 21.2°C, ενώ ο μέσος όρος χαμηλής θερμοκρασίας ετησίως είναι 11.9 °C (Πρώιας κ. ά., 2012).



Σχήμα 12. Διάγραμμα Μέσων Τιμών Θερμοκρασίας
(Ε.Μ.Υ. 1955-1997).

Πίνακας 7. Μηνιαίες Μέσες Τιμές Θερμοκρασίας (Ελάχιστης, Μέσης και Μέγιστης)

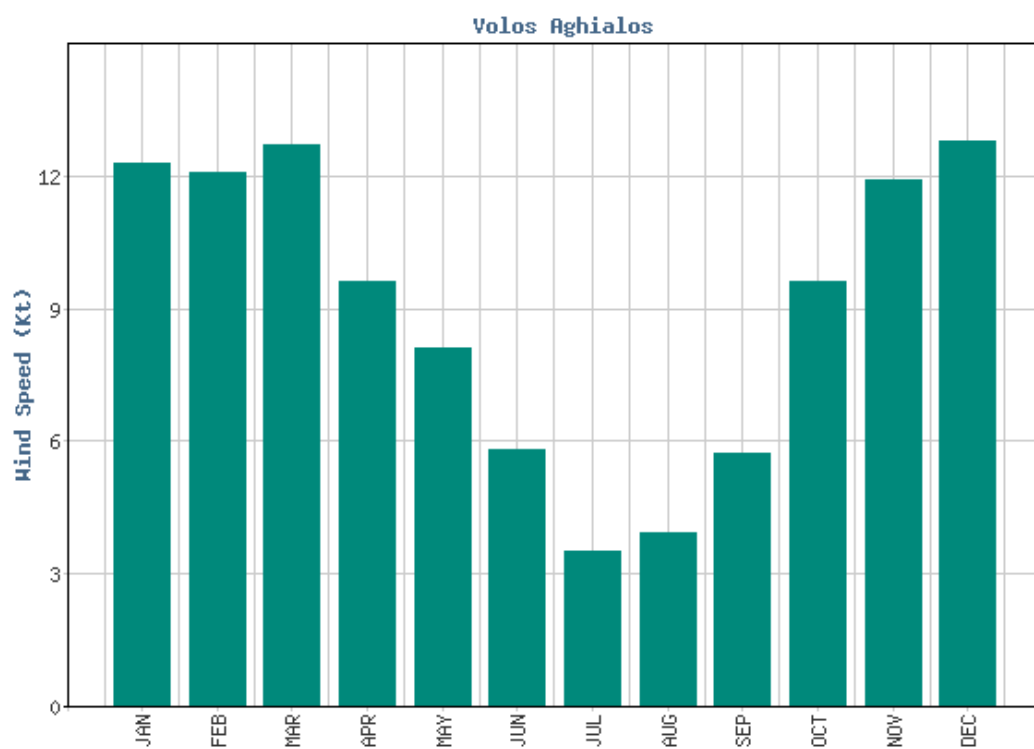
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	2,8	3,4	4,8	7,7	12,1	16,3
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	6,6	7,6	9,9	14,1	19,5	24,5
ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	11,1	12,3	14,3	18,8	24,0	29,0
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	18,6	18,5	15,7	12,1	8,2	4,5
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	26,8	26,1	22,2	16,9	12,1	8,2
ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	31,0	30,7	27,0	21,6	16,8	12,6

ΠΗΓΗ: (Ε.Μ.Υ.1955-1997).

Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή (1.5m/s) που έχει ως αποτέλεσμα να μην συντελεί ουσιαστικά στην απομάκρυνση των ρύπων, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών συσσώρευσης ρύπων πάνω από την πόλη του Βόλου. Το ποσοστό των καταστάσεων άπνοιας είναι 12.8%, κάτι που σημαίνει ότι για ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέρος του χρόνου οι μετεωρολογικές συνθήκες ευνοούν τη συσσώρευση των ρύπων. Στην περιοχή, λόγω της γειτνίασης με τη θάλασσα, αναπτύσσεται θαλάσσια αύρα, η οποία επηρεάζει την πόλη. Όλες αυτές οι ιδιαίτερες μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή χαρακτηρίζονται ως δυσμενείς για τη διασπορά των ρύπων και ευνοϊκές για τη δημιουργία καταστάσεων επεισοδίων ρύπανσης (Καλαμπόκας κ.α., 2005).

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή μελέτης σχετίζεται με την τοπογραφία και το σχέδιο πόλης του Βόλου, καθώς και με τη ρύπανση που προκαλείται από σταθερές (βιομηχανία και κεντρική θέρμανση) και κινητές πηγές (Proias et al., 2012). Συνοπτικά, οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου και κατά την συνέπεια συμβάλλουν στην αύξηση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι ακόλουθοι:

- Τοπογραφία της περιοχής (λιμάνι στην δυτική πλευρά της πόλης και ορεινός όγκος στην ανατολική πλευρά)
- Βιομηχανία (βιομηχανική περιοχή στα βορειοδυτικά και εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στην νότια πλευρά)
- Κεντρική θέρμανση - καύσεις υλικών (απορριμμάτων, βιομάζας)
- Αυξημένη κυκλοφοριακή κίνηση



Σχήμα 13. Μέση Ένταση του Ανέμου Βόλου
(Ε.Μ.Υ. 1955-1997).

Πίνακας 8. Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμου και Διευθύνσεις Ανέμου ανά Μήνα στη Πόλη του Βόλου

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	ΒΔ	Δ	Α	Α	Α	Α
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (kt)	12.3	12.1	12.7	9.6	8.1	5.8
	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	Α	Α	Α	Α	Δ	ΒΔ
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (kt)	3.5	3.9	5.7	9.6	11.9	12.8

ΠΗΓΗ Ε.Μ.Υ. (1955-1997)

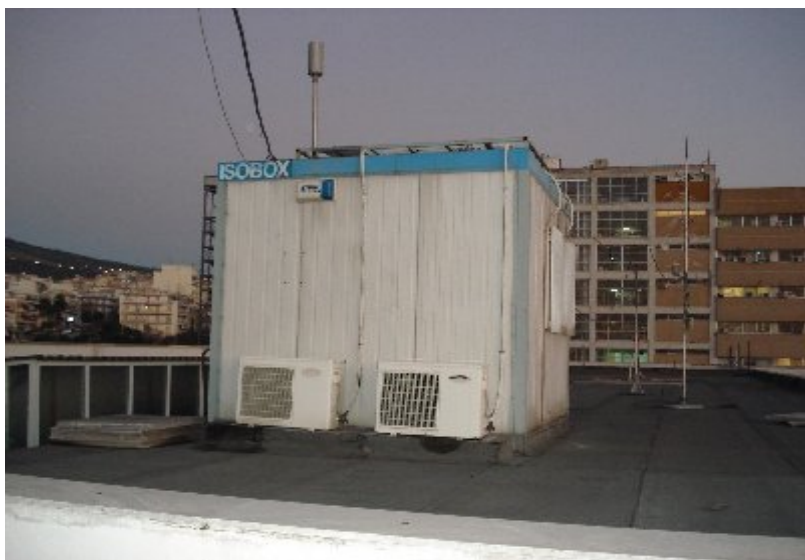
Οι Καλαμπόκας, Σιδέρης, Χριστόλης και Μαρκάτος (2005), επισημαίνουν ότι από την ανάλυση που έχει γίνει για τις συχνότητες της διεύθυνσης των ανέμων, συμπεραίνεται ότι οι ΝΑ και ΒΔ κατευθύνσεις είναι οι πιο συχνές με συχνότητα εμφάνισης κατά 80% , γεγονός που αποδεικνύει την ανάπτυξη καναλιού λόγω της μορφολογίας της περιοχής. Γενικότερα οι μετεωρολογικές συνθήκες χαρακτηρίζονται ως δυσμενείς για τη διασπορά ρύπων και ευνοϊκές για τη δημιουργία καταστάσεων επεισοδίων ρύπανσης.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.3 Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ρύπων σε Λάρισα-Βόλο

Τα αποτελέσματα μιας έρευνας μπορεί να επηρεάζονται από το σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο σταθμός μέτρησης ,σε τι ύψος βρίσκεται, αν επηρεάζεται από το ανάγλυφο της περιοχής και τις θερμοκρασίες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα. Όσο αφορά το ανάγλυφο, αν χαρακτηρίζεται ως έντονο και σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές τότε αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην επηρεάζει πολύ τα αποτελέσματα των μετρήσεων των αιωρούμενων σωματιδίων. Σε αντίθεση αν ο σταθμός βρίσκεται σε ένα ήπιο ανάγλυφο και με υψηλές θερμοκρασιακές αναστροφές όπου σε αυτή την περίπτωση η επιρροή στα αποτελέσματα είναι σημαντική. Ακόμη, ο συνδυασμός της θάλασσας με την απόγεια αύρα δημιουργούν μια ανακύκλωση των ρυπασμένων αέριων μαζών.

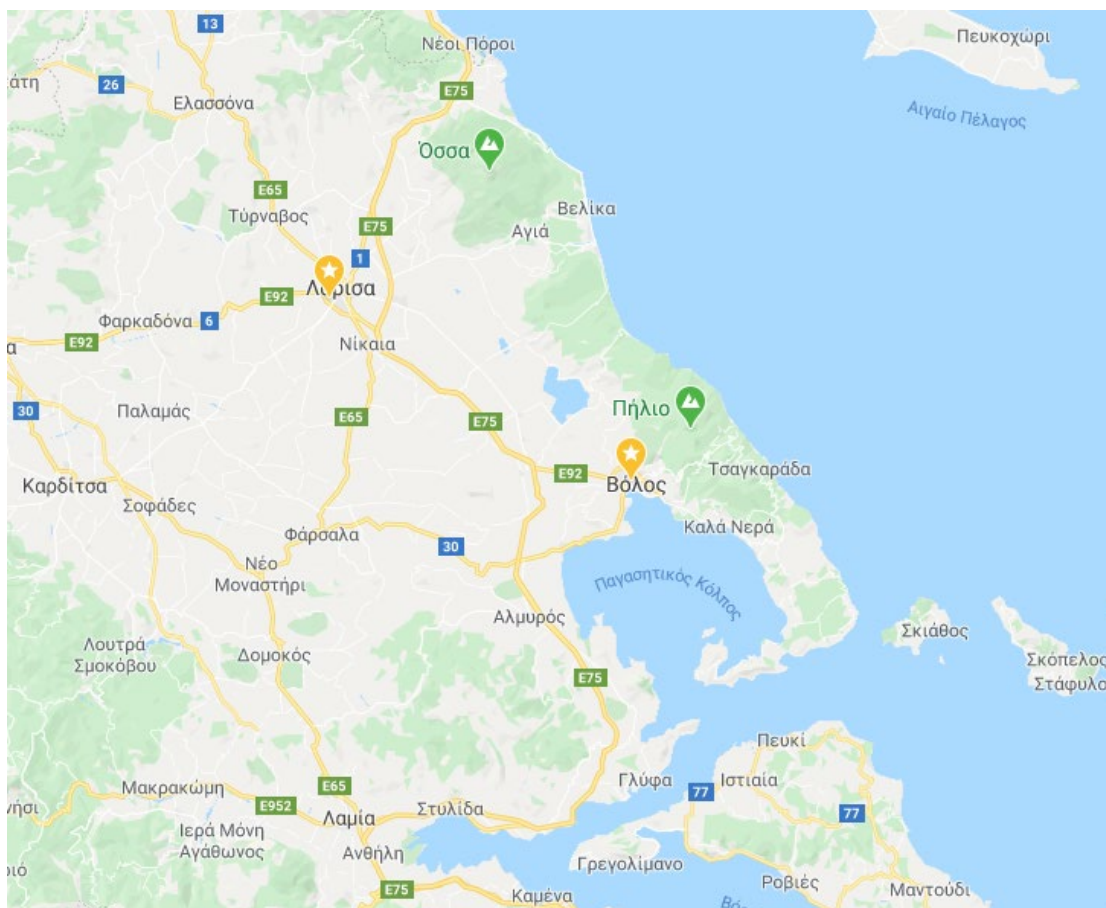
Ο σταθμός μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη περιοχή της Λάρισας βρίσκεται μέσα στο κέντρο της πόλης και συγκεκριμένα στο κτήριο Κατσίγρα όπου βρισκόταν η παλαιά Ιατρική Σχολή. Την ευθύνη της λειτουργίας του σταθμού Λάρισας έχει η Περιφέρεια Θεσσαλίας. Ο σταθμός λειτουργεί στα πλαίσια του Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ) από το 2000.



Εικόνα 9. Ο κλωβός του σταθμού στην Π.Ε Λάρισας

ΠΗΓΗ: <https://www.onlarissa.gr/2016/09/09/nei-stathmi-metrisis-atmosferikis-ripansis-sti-larisa1/>

Από το 2000 ο σταθμός μέτρησης αέριων ρύπων Βόλου στεγάζεται στη ταράτσα του 1^{ου} Δημοτικού Σχολείου Βόλου σε ύψος 12 μέτρων περίπου και σε διασταύρωση δρόμων μικρής κυκλοφορίας. Η λειτουργία του σταθμού είναι αρμοδιότητα της Περιφέρειας Θεσσαλίας και ανήκει στο Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης ενώ μέχρι το 2010 ήταν στην ευθύνη της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας. Η περιοχή όπου βρίσκεται τοποθετημένος ο σταθμός χαρακτηρίζονται από δρόμους χαμηλής σχετικά κυκλοφορίας ενώ οι κεντρικοί δρόμοι όπου υπάρχει μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση βρίσκονται σε απόσταση περίπου 100 μέτρων. Στη πόλη λειτουργούσαν άλλοι 3 σταθμοί μέτρησης με ευθύνη του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που όμως για διάφορους λόγους έπαψαν να λειτουργούν περίπου από το 2015.



Σχήμα 14. Χάρτης των θέσεων των 2 σταθμών στις πόλεις Λάρισα-Βόλος

(ιδία επεξεργασία)

Ακολουθεί πίνακας με τα χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του ΕΔΠΑΡ που την ευθύνη λειτουργία τους έχουν οι Περιφέρειες.

Πίνακας 9. Χαρακτηριστικά σταθμών μέτρησης

ΟΝΟΜΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ(m- asl)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
ΒΟΛΟΣ (ΒΟΛ)	22° 56' 28'',38	39° 21' 50'',80	31	ΑΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ
ΛΑΡΙΣΑ (ΛΑΡ)	22° 24' 46'',29	39° 37' 58'',51	85	ΑΣΤΙΚΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

ΠΗΓΗ: Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας (2017)

Τα όργανα μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων για τα PM_{10} σωματίδια προσδιορίζεται με μέτρηση της ακτινοβολίας ραδιενεργού πηγής που απορροφά ένα δείγμα που συλλέγεται σε φίλτρο χαρτοταινίας. Η μέτρηση είναι ενδεικτική και γίνεται με το όργανο DustTrak 8530 της TSI.

3.4 Παρουσίαση και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων των αιωρούμενων σωματιδίων που καταγράφηκαν για το διάστημα 01/01/2017 μέχρι 31/12/2017 και για την πόλη της Λάρισας και για του Βόλου. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου και τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέχρι το Δεκέμβριο με χρονικό βήμα μίας ώρας. Όμως, υπάρχουν ορισμένες περίοδοι για τις οποίες δεν υπάρχουν δεδομένα λόγω προβλημάτων στη λειτουργία του οργάνου. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων προέρχονται από την Περιφέρεια Θεσσαλίας.

Για τους υπολογισμούς των μέσων όρων και τη κατασκευή διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε για τις περιοχές Λάρισα-Βόλου, το υπολογιστικό πρόγραμμα Excel, όπου περάστηκαν όλα τα παρεχόμενα αρχεία των Περιφερειακών Ενοτήτων Λάρισας και Μαγνησίας.

Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν προέρχονται από τις μετρήσεις / παρατηρήσεις που θεωρούνται αξιόπιστες.

3.5 Υπολογισμός της μεταβολής των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων για τις πόλεις Λάρισα- Βόλος

Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται η μηνιαία μεταβολή των μέσων τιμών των μετρούμενων ρύπων ανά μήνα για το έτος 2017, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων για τον σταθμό της Λάρισας και του Βόλου. Έπειτα, υπάρχουν συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} του κάθε μήνα για το έτος 2017.

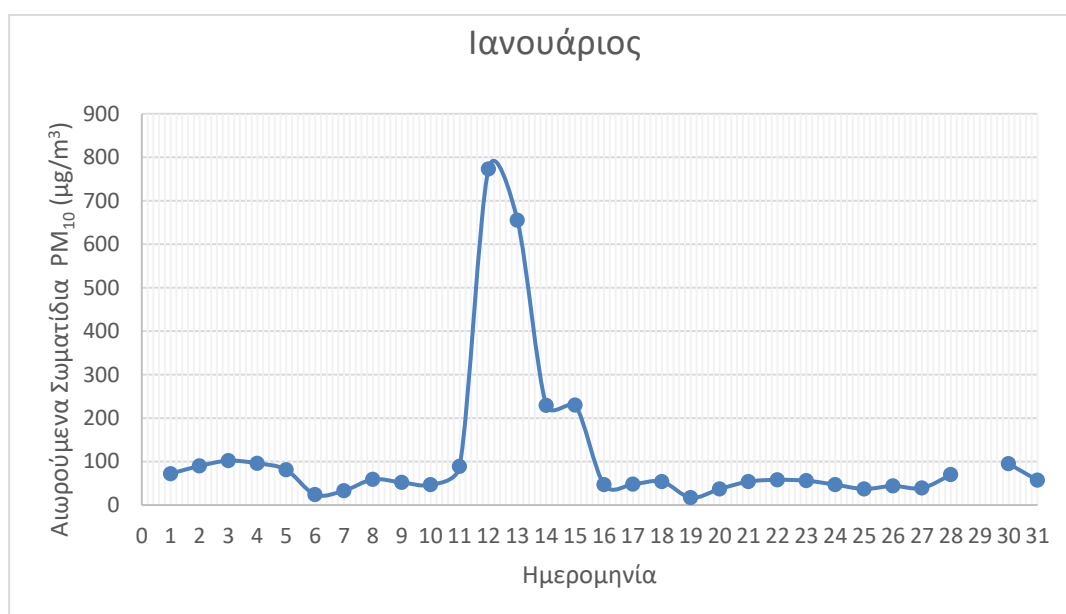
Σύμφωνα με τα διαγράμματα των ημερήσιων μέσων τιμών, είναι φανερό πως υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις διακυμάνσεις από μήνα σε μήνα. Με βάση τα διαγράμματα προκύπτει ότι τους χειμερινούς μήνες τα επίπεδα συγκέντρωσης είναι πιο πολύ αυξημένα σε σχέση με την θερμή περίοδο (καλοκαιρινούς μήνες). Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός της ύπαρξης πρόσθετων πηγών όπως για παράδειγμα οικιακή θέρμανση, και στο γεγονός ότι οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες είναι λιγότερο ευνοϊκές για την διασπορά των ρύπων (Grivas et al., 2004). Επίσης, μπορεί να οφείλεται στο συνδυασμό της έντονης κυκλοφοριακής

κίνησης, με τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης και των δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών, όπως η άπνοια και οι θερμοκρασιακές αναστροφές, που ευνοούν τη συσσώρευση τύπων το χειμώνα. Για τη πόλη της Λάρισας φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή αιωρούμενων σωματιδίων είναι $775 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και η ελάχιστη τον μήνα Σεπτέμβριο με συγκέντρωση $24.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ο σταθμός μέτρησης στη περιοχή της Λάρισας βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και σε περιοχή με έντονη κυκλοφορία και η πιθανότητα τα αποτελέσματα να έχουν επηρεαστεί είναι μεγάλη. Παρατηρώντας τα διαγράμματα για τη πόλη του Βόλου φαίνεται ότι η μεγαλύτερη τιμή αιωρούμενων σωματιδίων είναι κ εδώ το μήνα Ιανουάριο με συγκέντρωση $158,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ η μικρότερη τον μήνα Ιούλιο με συγκέντρωση $5,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/ΕΚ, για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη, η μέση ετήσια τιμή των PM_{10} δεν πρέπει να ξεπερνάει τα $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος. Έπειτα, υπάρχουν συγκεντρωτικά διαγράμματα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} του κάθε μήνα για το έτος 2017.

Στο σχήμα 15 και 16 για τον μήνα Ιανουάριο στη περιοχή της Λάρισας και του Βόλου επισημαίνεται ότι για συγκεκριμένες ημέρες 12-13 Ιανουαρίου οι τιμές των PM_{10} είναι πολύ αυξημένες. Αυτό συνέβη διότι στη περιοχή της Λάρισας επικρατούσε χιονόπτωση και θερμοκρασίες κάτω του μηδενός.³ Η πτώση θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση των πρωτογενών εκπομπών αερολυμάτων μέσω της αύξησης των ψυχρών εκπομπών των οχημάτων αλλά και των οικιακών καύσεων για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης. Τις ημέρες με χαμηλή θερμοκρασία το ύψος ανάμιξης μειώνεται αισθητά κυρίως λόγω θερμοκρασιακών αναστροφών γεγονός που συντελεί στην αύξηση των συγκεντρώσεων. Επιπλέον σύμφωνα με τα στοιχεία της μετεωρολογικής υπηρεσίας στις 12 Ιανουαρίου η μέση θερμοκρασία του εδάφους ήταν -5.0°C και η μέση ταχύτητα του ανέμου 0.6 ενώ το ίδιο ισχύει και για τις 13 του μήνα όπου η μέση θερμοκρασία του εδάφους ήταν -6.3°C και η μέση ταχύτητα του ανέμου 0.5 . Η ένταση και η διεύθυνση του ανέμου είναι από τους κυριότερους μετεωρολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση (Paliatsos and Amatidis, 1994). Η ένταση του ανέμου επηρεάζει καθοριστικά τον ρυθμό αραίωσης των ρύπων, με συνέπεια η άπνοια και οι άνεμοι χαμηλής έντασης να είναι μετεωρολογικές συνθήκες που δεν ευνοούν την διασπορά των ρύπων, οπότε και συντελούν στην αύξηση των επιπέδων ρύπανσης (Kassomenos et al., 1995).

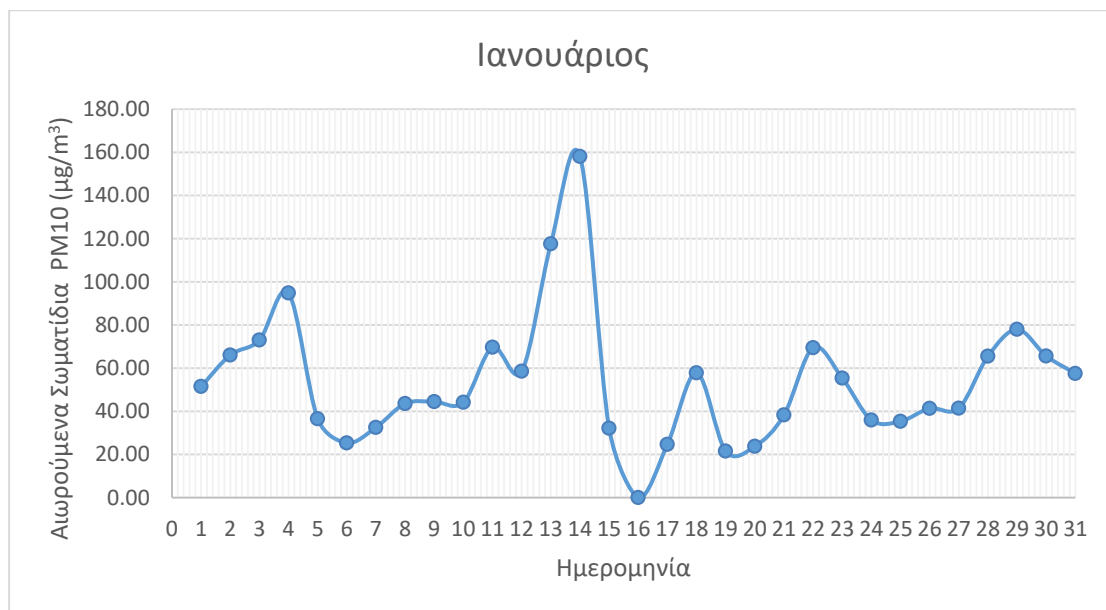
³ <http://meteosearch.meteo.gr/data/larissa/2017-01.txt>

Για την περιοχή του Βόλου οι τιμές των σωματιδίων υπερβαίνουν κατά πολύ το όριο σχεδόν τις μισές μέρες από κάθε μήνα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι κατά τους χειμερινούς μήνες η ανάγκη για θέρμανση όπως και στη πόλη της Λάρισας είναι μεγάλη. Συγκεκριμένα για το μήνα Ιανουάριο κάτι που πρέπει να σημειωθεί είναι η αυξημένη συγκέντρωση των τιμών καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας (10-15 Ιανουαρίου) όπου οι τιμές των PM_{10} σωματιδίων φτάνει και $158,10 \mu g/m^3$. Τις ημέρες εκείνες επικρατούσε χιονόπτωση στη περιοχή του Βόλου με το θερμόμετρο να αγγίζει συνεχόμενα τους $-4^\circ C$ γεγονός που αυξάνει την ανάγκη για θέρμανση.⁴



Σχήμα 15. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM_{10} της Λάρισας για το μήνα Ιανουάριο
Ιδία επεξεργασία

⁴ <http://meteosearch.meteo.gr/data/volos/2017-01.txt>

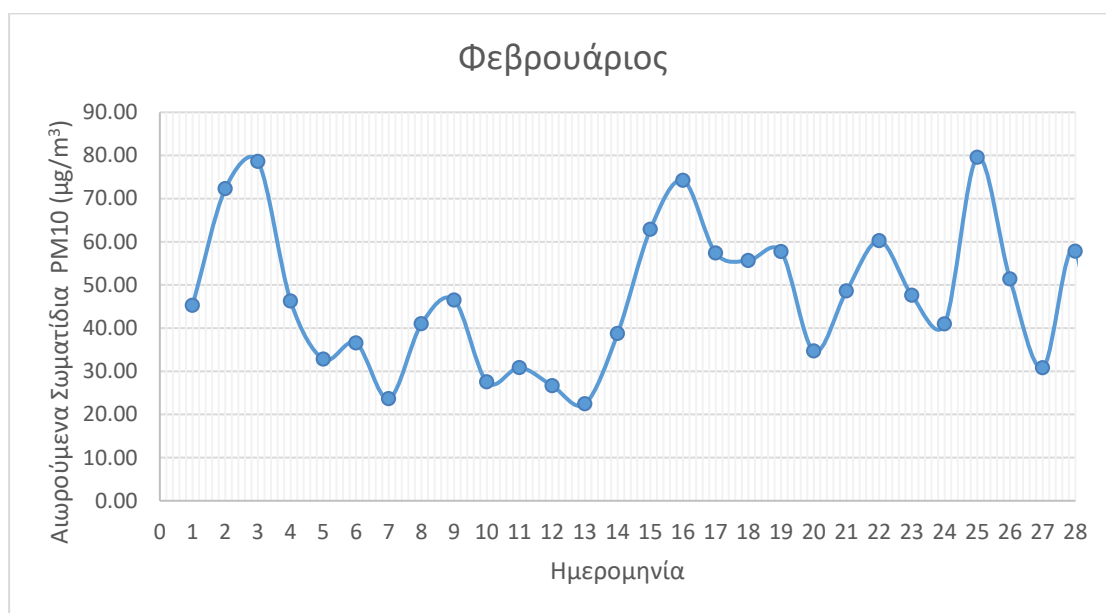


Σχήμα 16. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Ιανουάριο (ιδία επεξεργασία)

Το μήνα Φεβρουάριο για τη πόλη της Λάρισας παρατηρείται ότι οι τιμές ξεπερνούν το επιτρεπόμενο όριο με τη μέγιστη τιμή της στα 96 µg/m³ εξαιτίας του γεγονότος ότι κατά τους χειμερινούς μήνες έχουμε έντονη χρήση τζακιών και καύση στερών καυσίμων όπως ξύλα και πέλετ. Το ίδιο ισχύει και για τη πόλη του Βόλου όπου οι τιμές είναι πολύ αυξημένες σε σχέση με το επιτρεπόμενο όριο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με μέγιστη τιμή στα 79,5 µg/m³.



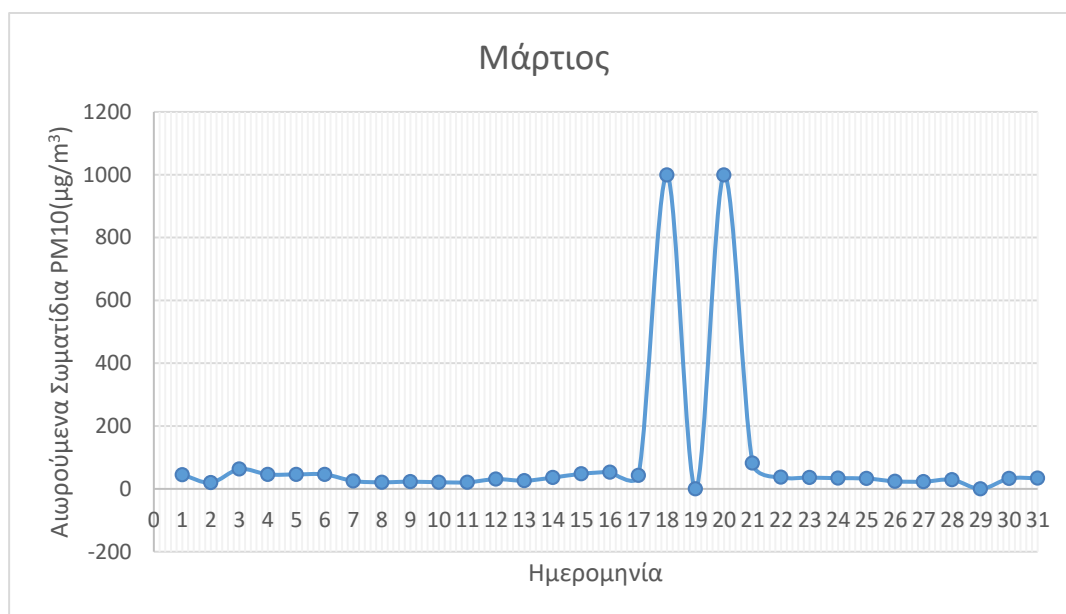
Σχήμα 17. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Φεβρουάριο (ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 18. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Φεβρουάριο (ιδία επεξεργασία)

Το μήνα Μάρτιο οι τιμές των PM₁₀ σωματιδίων κυμαίνονται σε μη ανησυχητικό επίπεδο ,εκτός από τις 19-21 και 22 Μαρτίου που τα επίπεδα αυξάνονται κατά πολύ .Από τις μετρήσεις της περιφέρειας Θεσσαλίας οι τιμές PM₁₀ είναι στην τιμή 999 μg/m³ στις 19 Μαρτίου και στις 21 για

όλο το 24ώρο γεγονός που δείχνει ίσως κάποια δυσλειτουργία του σταθμού μέτρησης. Για τις 20 Μαρτίου δεν υπάρχουν δεδομένα στην Περιφέρεια. Για τη πόλη του Βόλου οι τιμές κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα καθ'όλη τη διάρκεια του μήνα χωρίς να υπάρχει κάποια ιδιαίτερη ανησυχία με μέγιστη τιμή τα 45,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

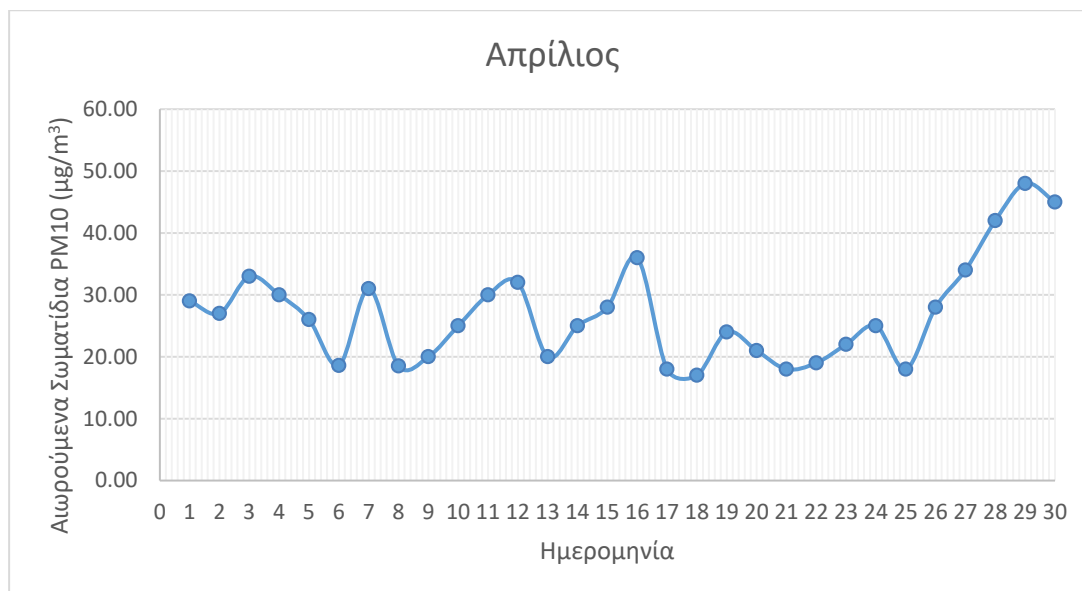


Σχήμα 19. Διάγραμμα μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Μάρτιο (ιδία επεξεργασία)

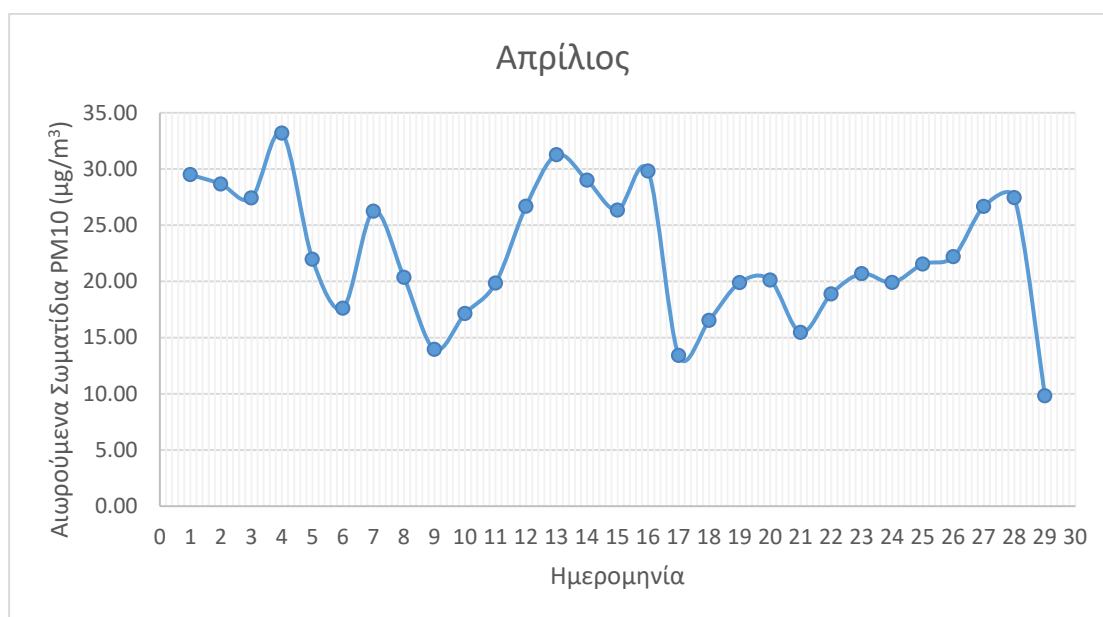


Σχήμα 20. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Μάρτιο (ιδία επεξεργασία)

Στα σχήματα 21 και 22 για τον μήνα Απρίλιο στην πόλη της Λάρισας και του Βόλου οι τιμές των σωματιδίων κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα διότι την περίοδο αυτή οι εκπομπές συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων μειώνονται λόγω μείωσης των πηγών θέρμανσης. Η μέγιστη τιμή ρύπου καταγράφεται στις 29 Απριλίου ($48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τη πόλη της Λάρισας και 4 Απριλίου ($33,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) για τη πόλη του Βόλου.

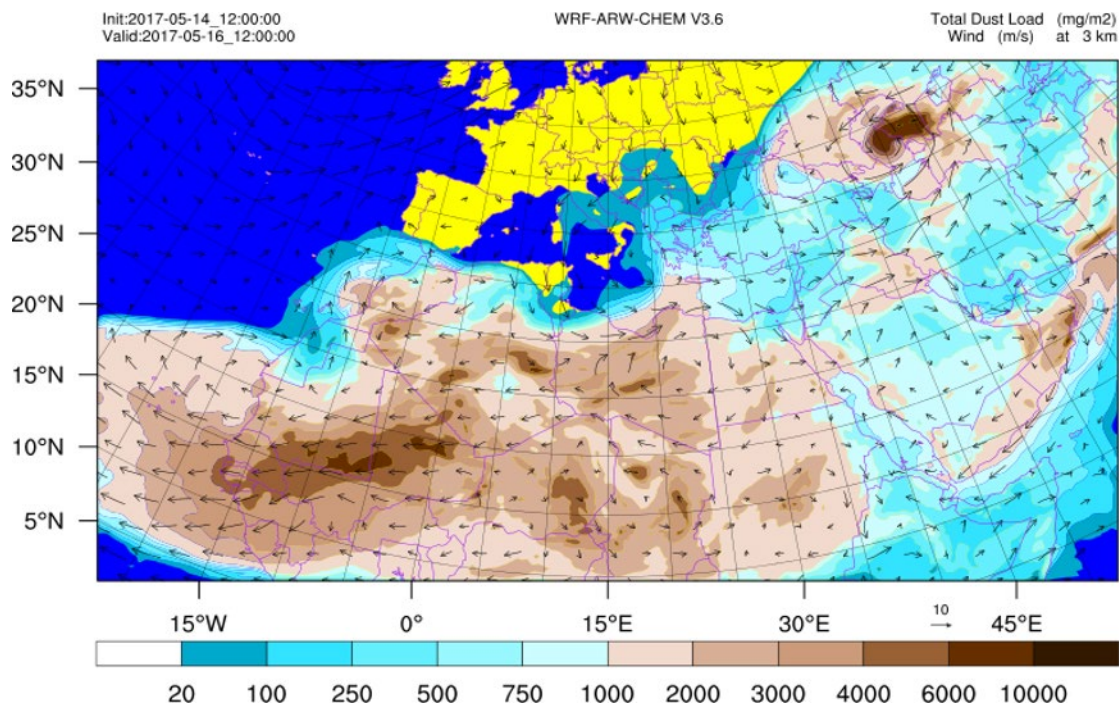


Σχήμα 21. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Απρίλιο (ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 22. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Απρίλιο (ιδία επεξεργασία)

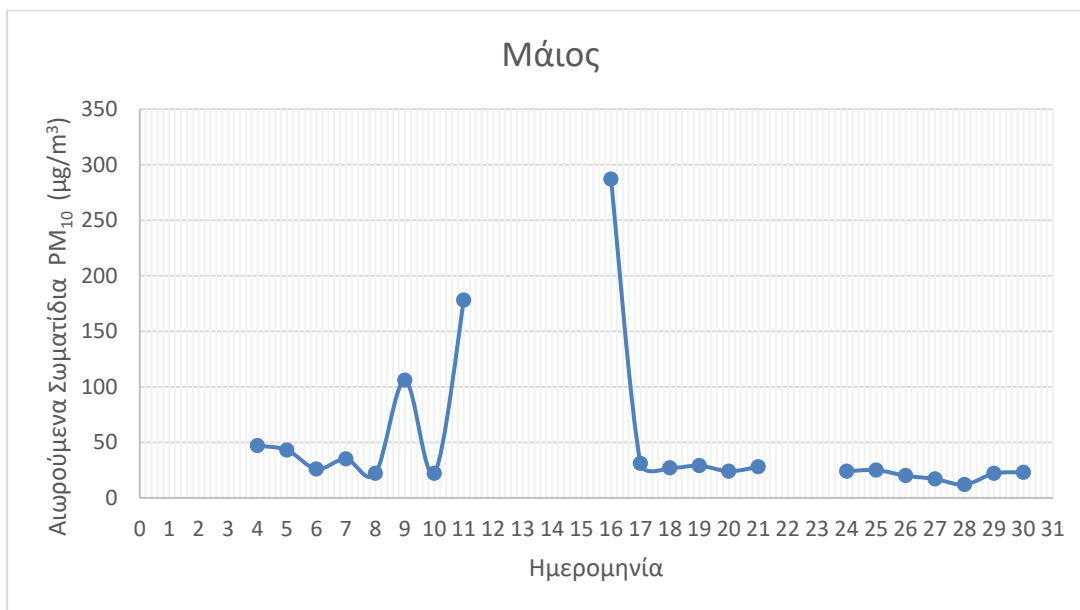
Στο σχήμα 24 για το μήνα Μάιο στη περιοχή της Λάρισας υπάρχουν ελλείψεις στα δεδομένα που φτάνουν τις 10 ημέρες το μήνα και δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Όμως βάση του διαγράμματος παρατηρείται μια κατακόρυφη αύξηση των τιμών στη μέση του μήνα συγκεκριμένα στις 11 και στις 16 Μαΐου όπου βάση των στοιχείων Ομάδας Δυναμικής της Ατμόσφαιρας και του Κλίματος, του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου είχαμε μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα. (Σχήμα 23).



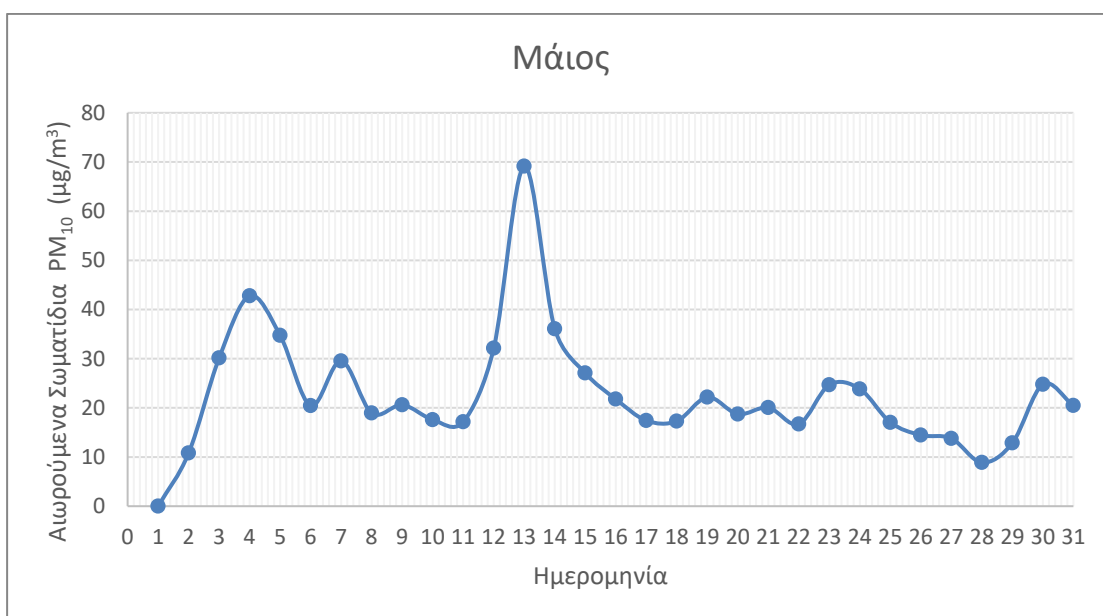
Σχήμα 23. Φορτίο σκόνης (mg/m^2) για τις 16 Μαΐου 2017 στις 12:00 UTC (15:00 τοπική ώρα)

Πηγή <http://meteoclima.gr>

Πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές είναι σε φυσιολογικά επίπεδα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.10 και για τη περιοχή του Βόλου χωρίς να υπάρχει κάποια ανησυχητική κατακόρυφη μεταβολή εκτός από τα μέσα του μήνα όπου υπάρχει μια αύξηση στα $69,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στις 13 Μαΐου. Στις 13 Μαΐου του 2017 είχαμε αυξημένη συγκέντρωση αφρικανικής σκόνης σε όλη σχεδόν την Ελλάδα. Οι προγνώσεις των σταθμών έδειχναν αύξηση των PM_{10} σωματιδίων πάνω από το όριο των $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Οπότε η κατακόρυφη μεταβολή του Μαΐου είναι δικαιολογημένη.



Σχήμα 24. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Μάιο (ιδία επεξεργασία)

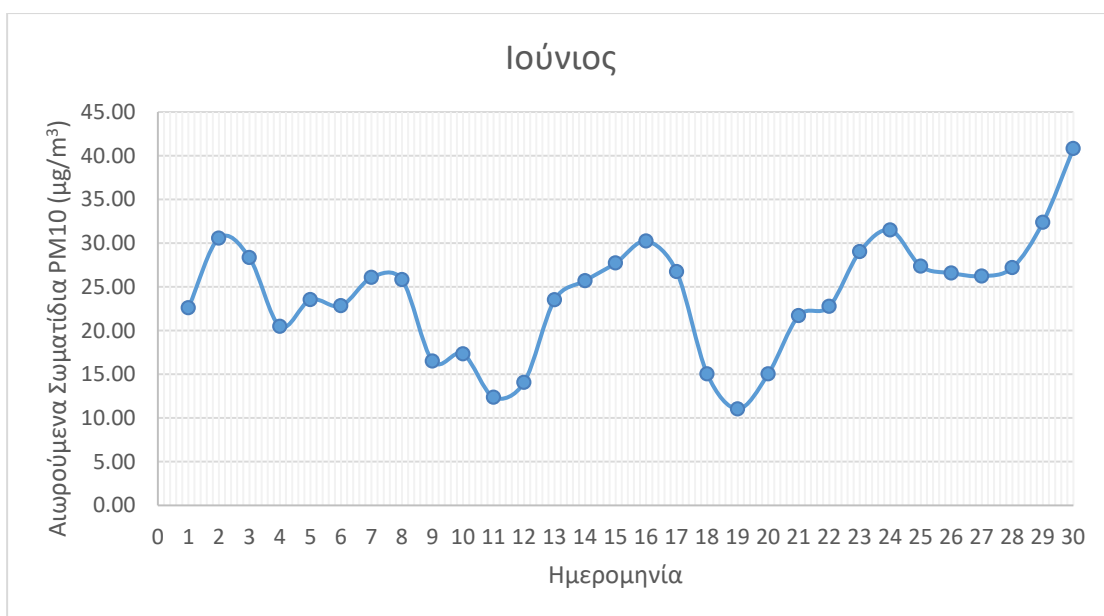


Σχήμα 25. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Μάιο (ιδία επεξεργασία)

Όπως παρατηρείται στα σχήματα 26 και 27 για το μήνα Ιούνιο, υπάρχει πτώση των τιμών σχετικά με τους χειμερινούς μήνες. Η μείωση αυτή είναι αποτέλεσμα της απουσίας πηγών θέρμανσης. Η μέγιστη τιμή για την πόλη της Λάρισας φτάνει στα $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ για τη πόλη του Βόλου στα $40,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

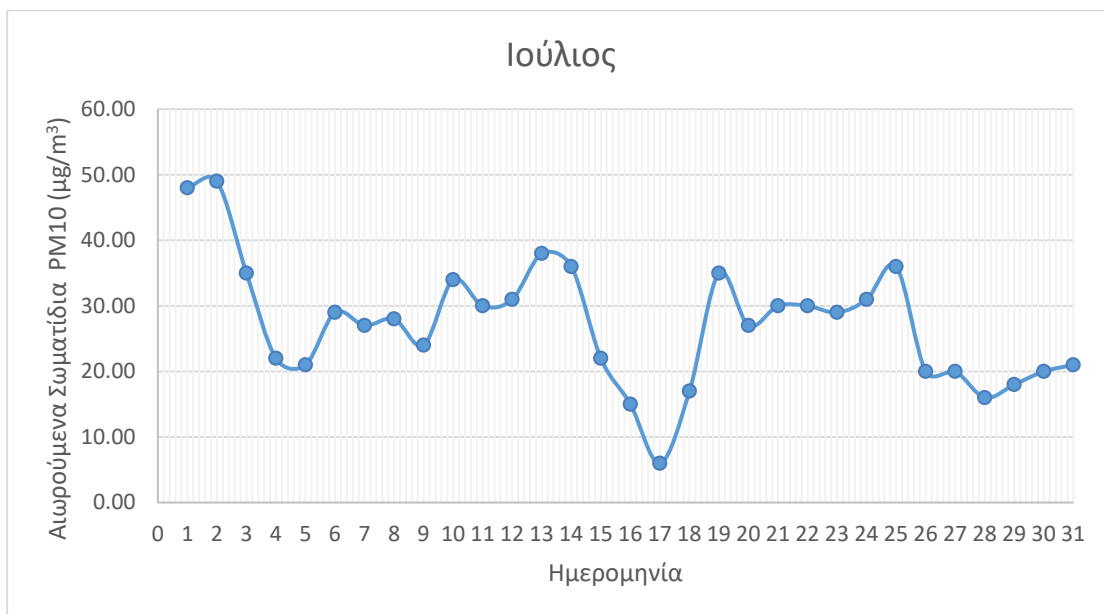


Σχήμα 26. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Ιούνιο (ιδία επεξεργασία)

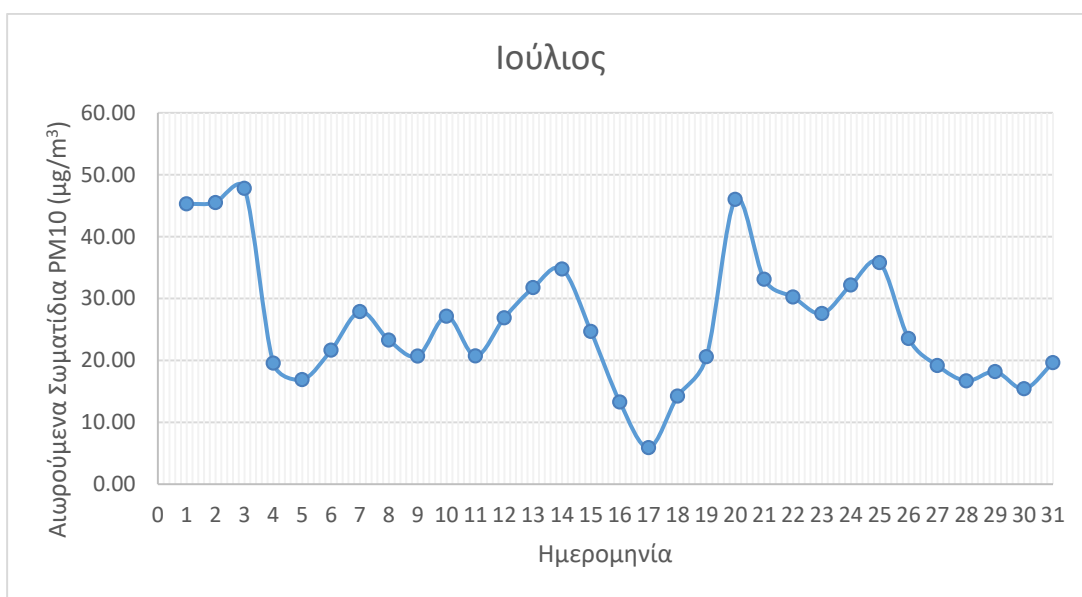


Σχήμα 27. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Ιούνιο (ιδία επεξεργασία)

Στα σχήματα 28 και 29 για το μήνα Ιούλιο δεν προκύπτει κάποια ανησυχητική υπέρβαση ορίου τιμής. Η μεγαλύτερη τιμή για τη πόλη της Λάρισας παρατηρείται 2 Ιουλίου με μέγιστη τιμή 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και για τη πόλη του Βόλου 47,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

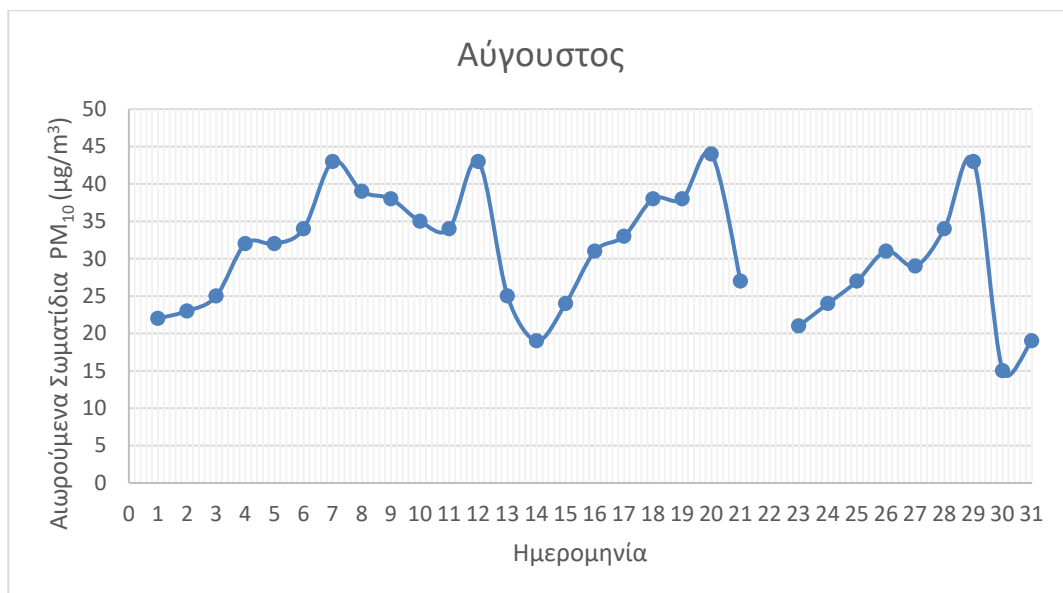


Σχήμα 28. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Ιούλιο (ιδία επεξεργασία)

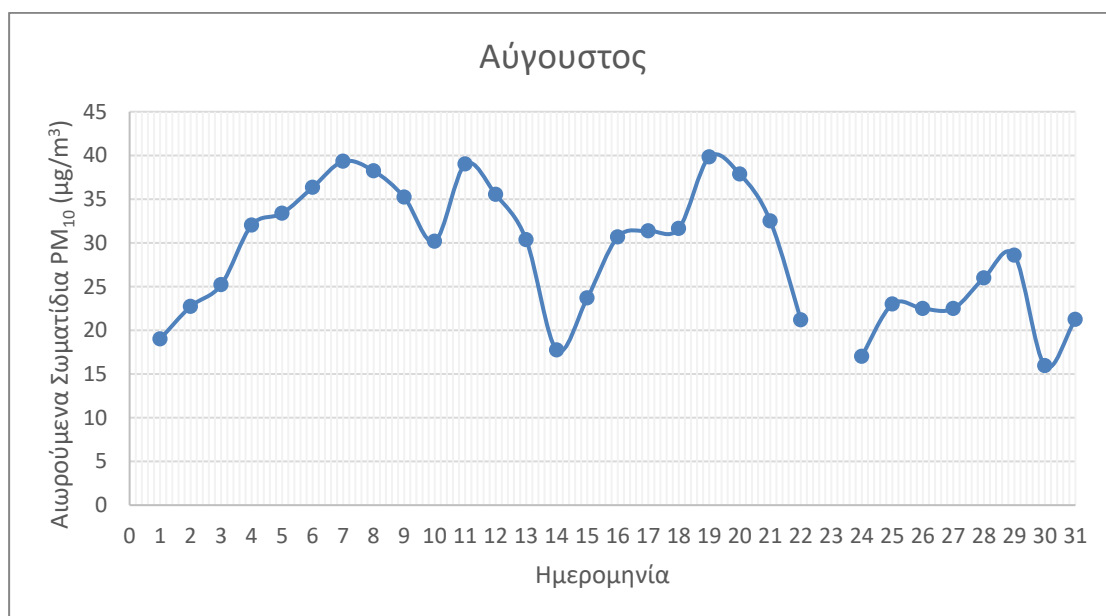


Σχήμα 29. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Ιούλιο (ιδία επεξεργασία)

Ο μήνας Αύγουστος για τις πόλεις Λάρισα-Βόλος δεν παρουσιάζει κάποια κατακόρυφη μεταβολή αφού κατά τη διάρκεια του μήνα οι τιμές των αιρούμενων σωματιδίων κυμαίνονται σε φυσιολογικές τιμές με μέγιστη τιμή για τη πόλη της Λάρισας τα $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και για τη πόλη του Βόλου τα $39,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

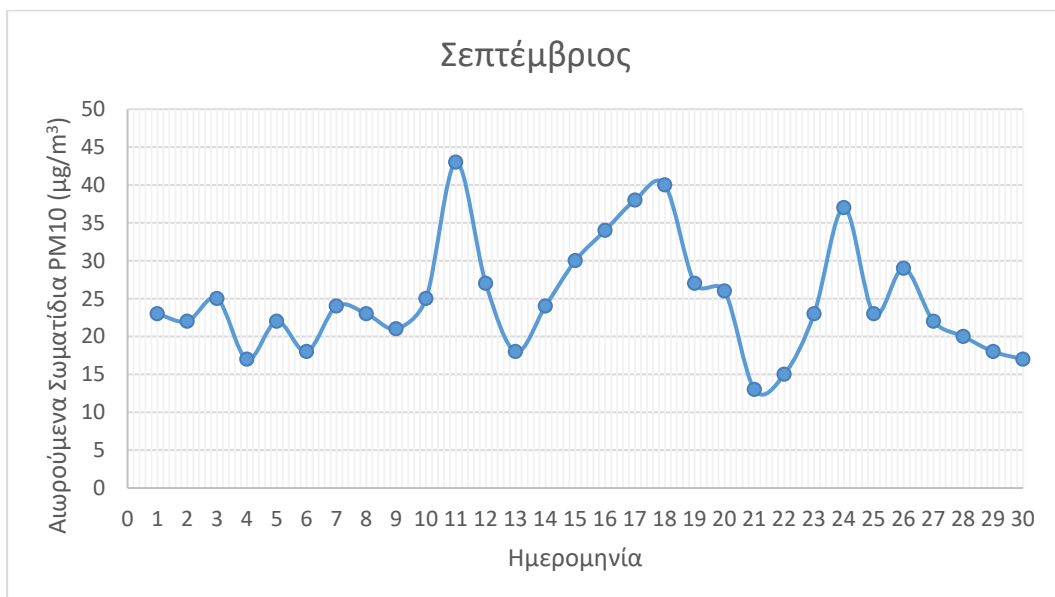


Σχήμα 30. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Αύγουστο (ιδία επεξεργασία)

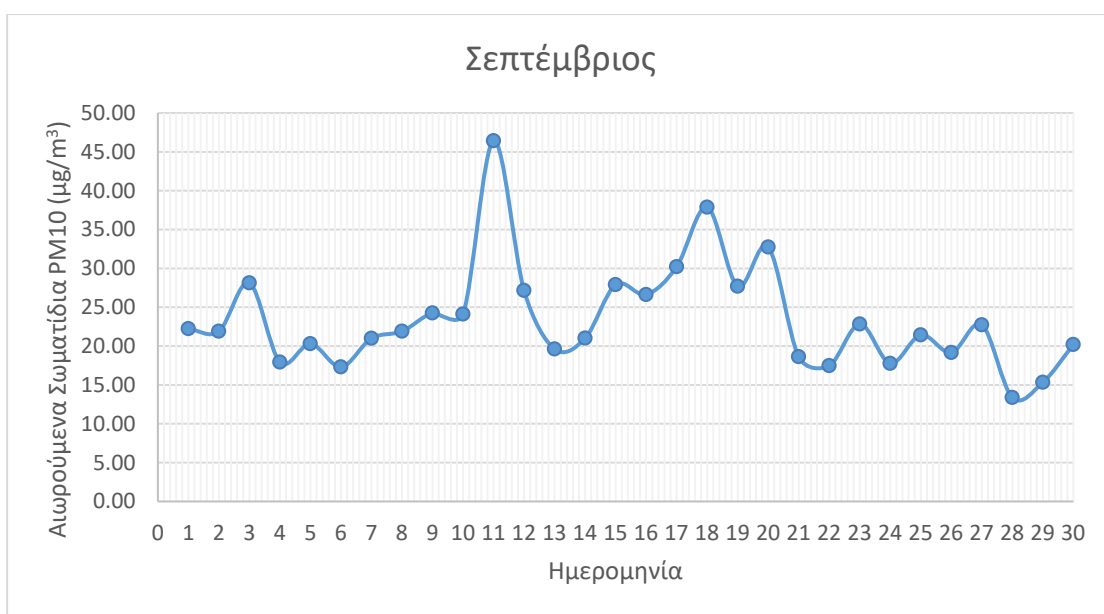


Σχήμα 31. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Αύγουστο (ιδία επεξεργασία)

Στα σχήματα 31 και 32 για το μήνα Σεπτέμβριο στη περιοχή της Λάρισας και του Βόλου παρατηρείται πως οι συγκεντρώσεις των PM10 παραμένουν σε χαμηλές τιμές όπως ακριβώς συνέβη και με τους καλοκαιρινούς μήνες . Η μέγιστη τιμή στη πόλη της Λάρισας είναι $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και στη πόλη του Βόλου $46,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

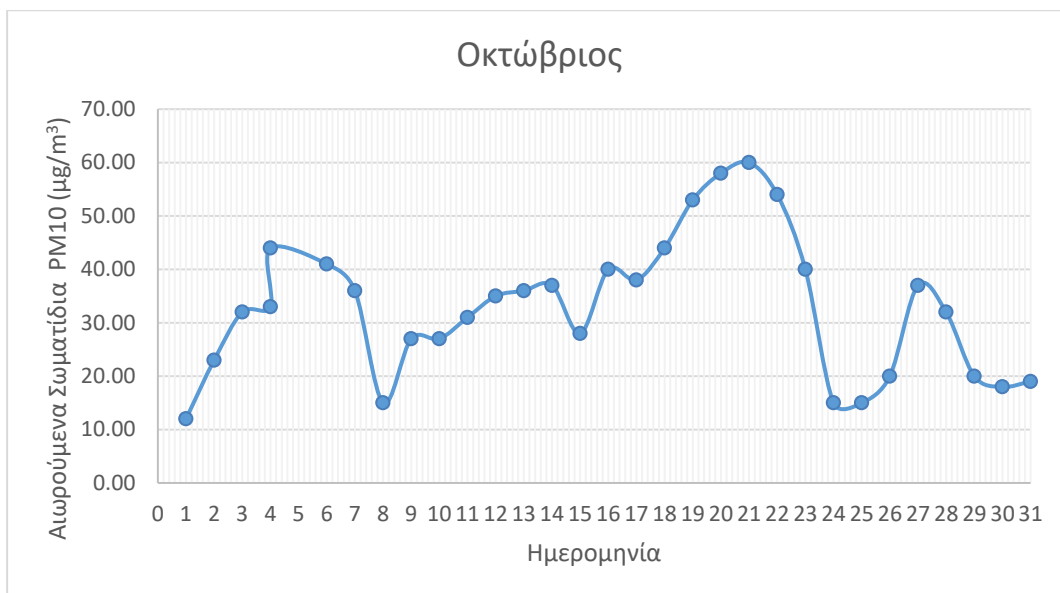


Σχήμα 32. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Σεπτέμβριο (ιδία επεξεργασία)

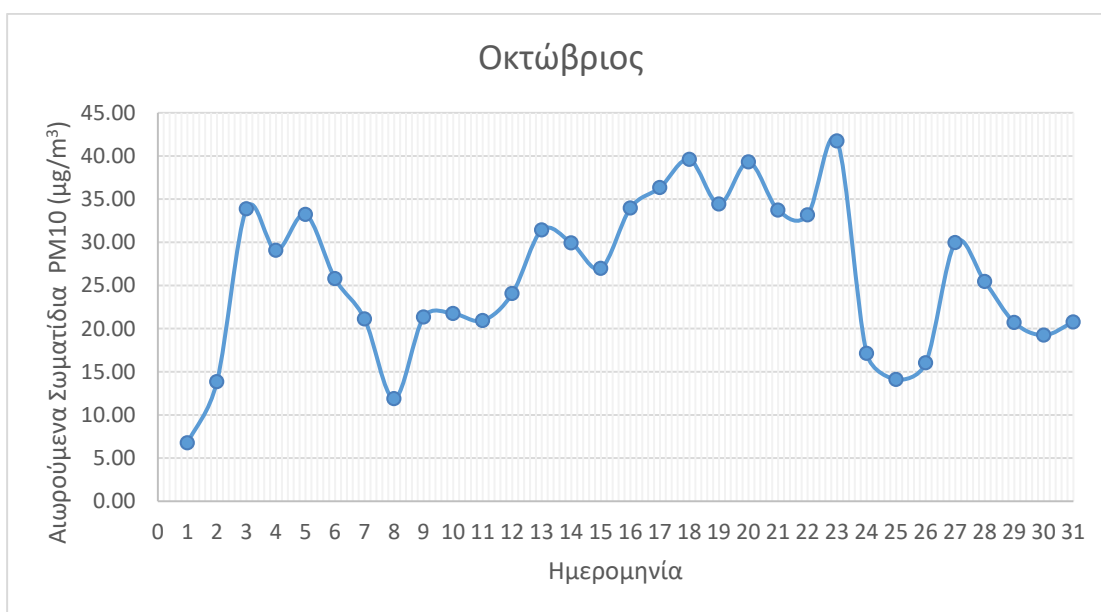


Σχήμα 33. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Σεπτέμβριο (ιδία επεξεργασία)

Το μήνα Οκτώβριο οι τιμές των PM₁₀ σωματιδίων αυξήθηκαν σημαντικά συγκριτικά με τον Σεπτέμβριο που οφείλεται στη πτώση της θερμοκρασίας και της παρουσίας θέρμανσης κυρίως τις βραδινές ώρες. Για τη πόλη της Λάρισας η μέγιστη τιμή είναι στις 21 Οκτωβρίου (60 μg/m³) και για τον Βόλο στις 23 Οκτωβρίου (41,7 μg/m³).



Σχήμα 34. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Οκτώβριο (ιδία επεξεργασία)

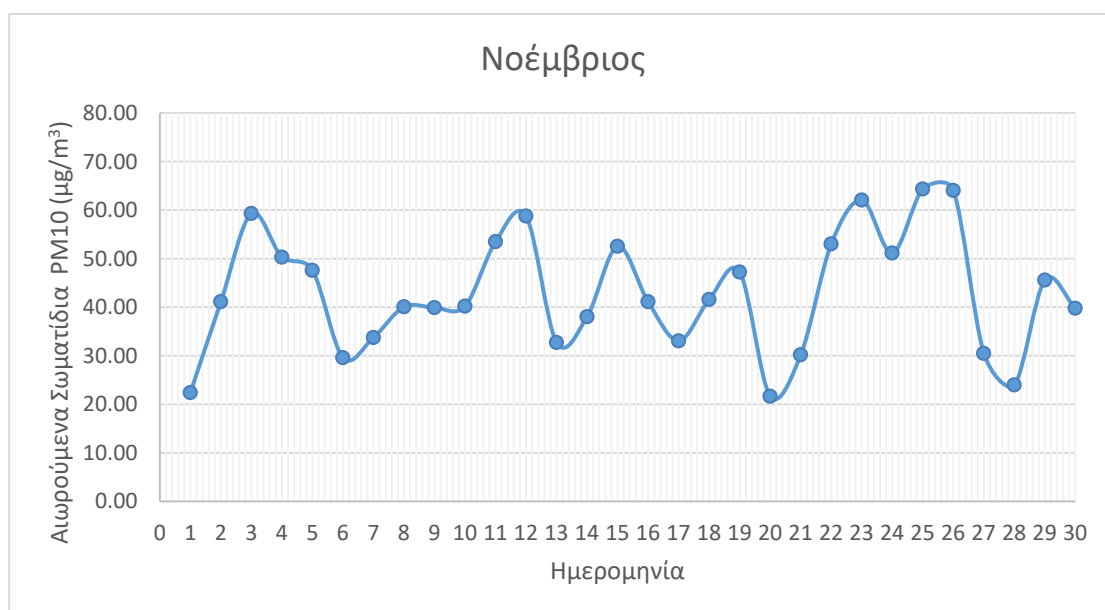


Σχήμα 35. Διάγραμμα των μέσων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Οκτώβριο (ιδία επεξεργασία)

Στα σχήματα 36 και 37 για το μήνα Νοέμβριο οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων είναι εμφανώς αυξημένες συγκριτικά με τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο με μέγιστες τιμές τα 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη Λάρισα και τα 64,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για το Βόλο. Στη περιοχή του Βόλου η περιφέρεια Θεσσαλίας εξέδωσε συστάσεις λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων σωματιδίων κυρίως τις βραδινές ώρες (20:00-4:00) ιδιαίτερα όταν επικρατούν συνθήκες άπνοιας και υψηλής σχετικής υγρασίας και αυτό οφείλεται κυρίως στη χρήση ξύλου ως καύσιμο στα τζάκια και στις σόμπες των κατοικιών.



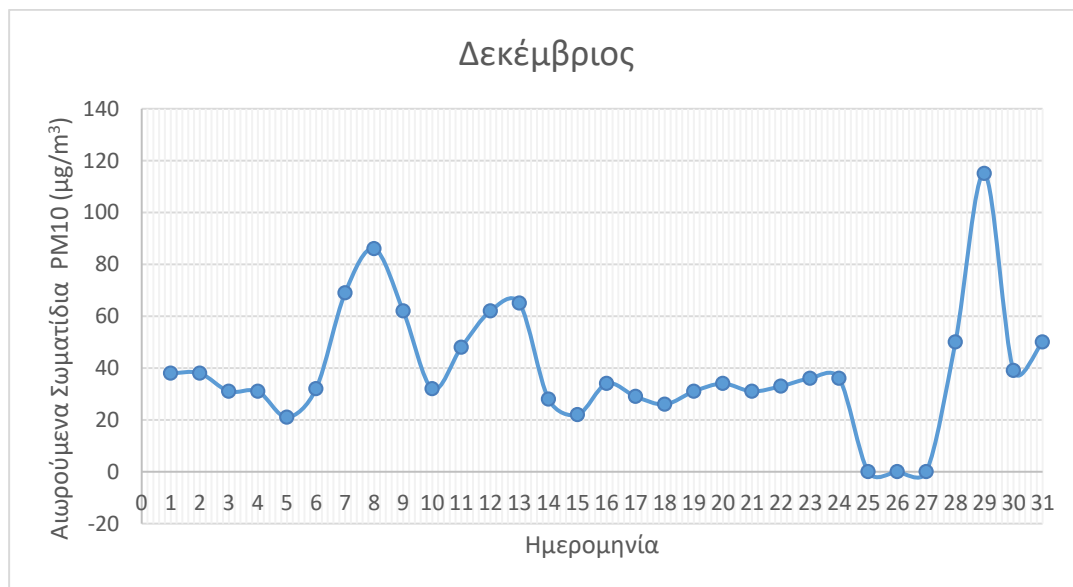
Σχήμα 36. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Νοέμβριο (ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 37. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Νοέμβριο (ιδία επεξεργασία)

Στα σχήματα 38 και 39 για το μήνα Δεκέμβριο στη περιοχή της Λάρισας και του Βόλου παρατηρείται αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων συγκριτικά με το μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο με μέγιστη τιμή τα 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη πόλη της Λάρισας και 84,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ για τη πόλη του Βόλου. Ειδικότερα ,αν και υπάρχουν ελλείψεις δεδομένων τις ημερομηνίες 24-27 στη περιοχή της Λάρισας λόγω των Χριστουγέννων συμπεραίνεται ότι κυρίως εκείνη τη περίοδο οι

τιμές είναι διπλάσιες από τις επιτρεπόμενες εξαιτίας των γιορτών και της έντονης κίνησης των ημερών σε συνδυασμό με το κρύο καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



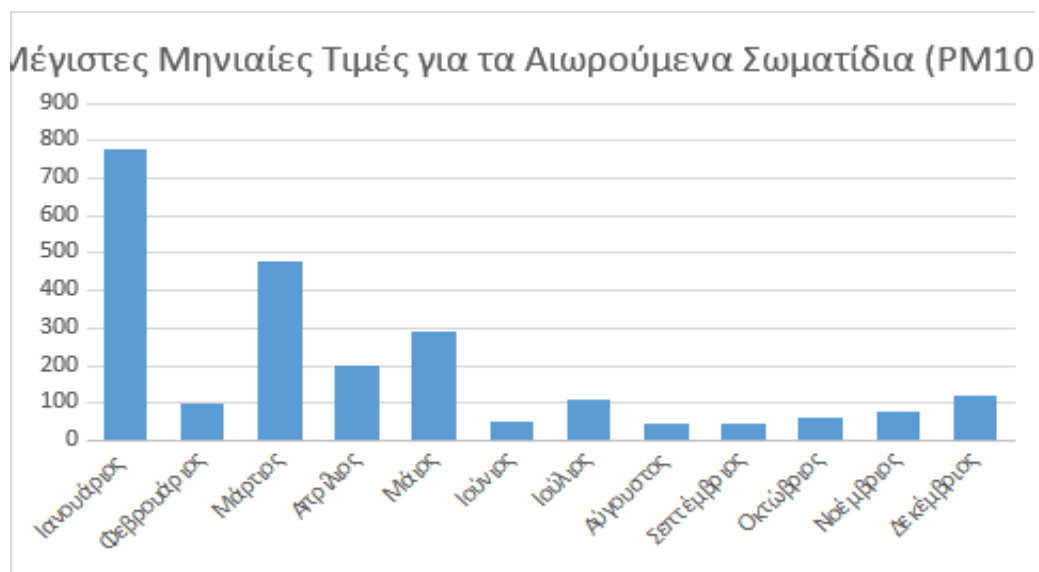
Σχήμα 38. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 της Λάρισας για το μήνα Δεκέμβριο (ιδία επεξεργασία)



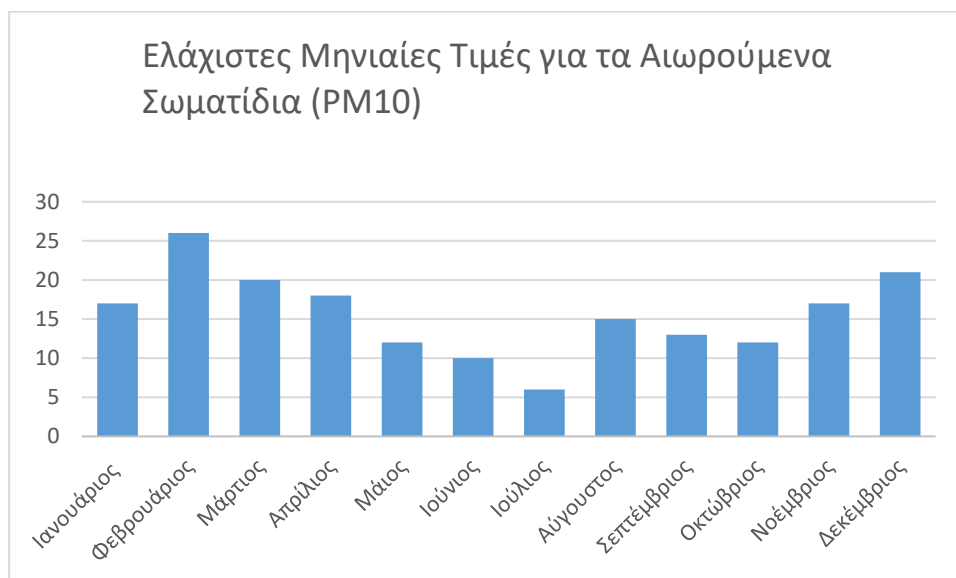
Σχήμα 39. Διάγραμμα των μέσων ημερήσιων τιμών PM10 του Βόλου για το μήνα Δεκέμβριο (ιδία επεξεργασία)

Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 42 μέσων τιμών για τη περιοχή της Λάρισας το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται κατά τους χειμερινούς μήνες ιδιαίτερα τον Ιανουάριο όπου τα συστήματα θέρμανσης αυξάνονται και το πρόβλημα της αιθαλομίχλης είναι έντονο στην

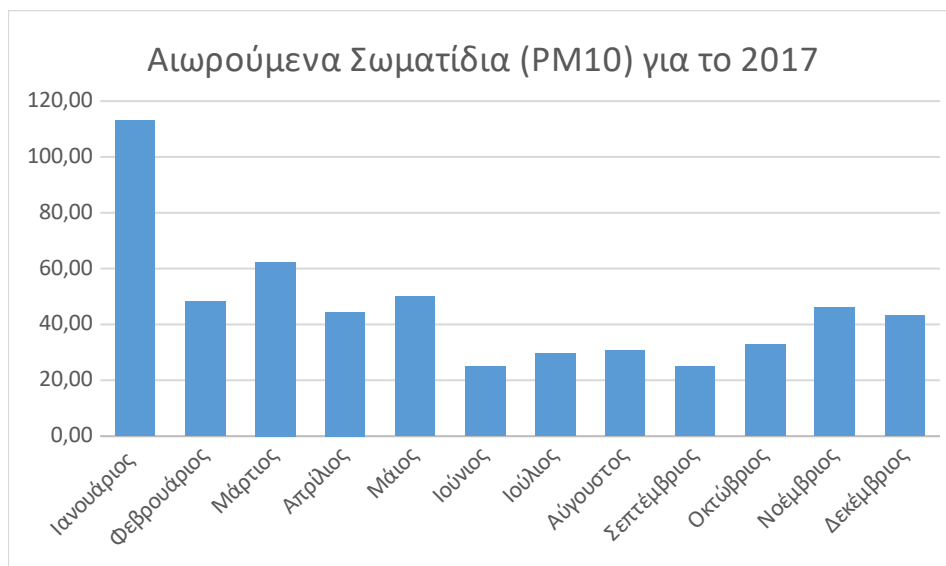
περιοχή. Τους υπόλοιπους μήνες οι τιμές είναι φυσιολογικές χωρίς να παρουσιάζεται ιδιαίτερη ανησυχία.



Σχήμα 40. Διάγραμμα των μέγιστων μηνιαίων τιμών PM10 της Λάρισας για το έτος 2017
(ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 41. Διάγραμμα των ελάχιστων μηνιαίων τιμών PM10 για τη Λάρισα για το έτος 2017
(ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 42. Διάγραμμα των μέσων τιμών PM10 της Λάρισας κάθε μήνα για το έτος 2017

(ιδία επεξεργασία)

Στο σχήμα 42. παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις PM10 σωματιδίων ,όπου παρατηρείται μια συνεχής μείωση των τιμών με τη μετάβαση από τους ψυχρότερους μήνες στους θερμότερους ,που συνδέεται φυσικά με την μείωση της συνεισφοράς των πηγών θέρμανσης. Επιπλέον παρατηρείται μια συκρατημένη αύξηση κατά τους ανοιξιιάτικους μήνες που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα.

Σημαντικά Προβλήματα της Ατμόσφαιρας της Λάρισας

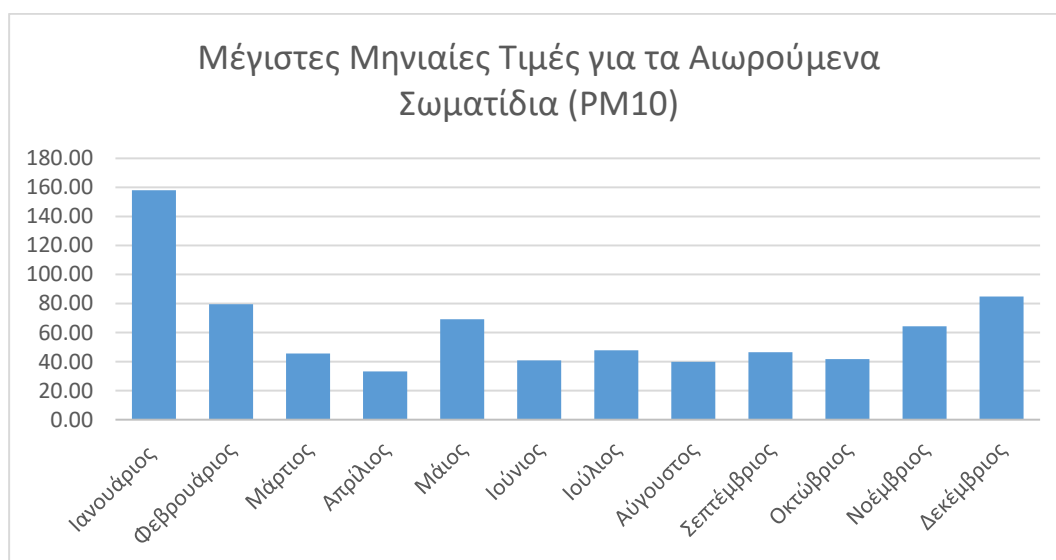
- Μορφολογία κλειστής λεκάνης της ευρύτερης περιοχής όπως επίσης και η θέση της πόλης ως συγκοινωνιακός κόμβος σημαντικών οδικών οχημάτων.
- Κυριότερες Βιομηχανικές Μονάδες ΒΙΟΚΑΡΠΕΤ Α.Ε. (Παραγωγή βασικών και πολύτιμων μετάλλων και άλλων μη σιδηρούχων μετάλλων) SCHULPEN BEHEER BV (Παραγωγή βασικών χημικών προϊόντων, λιπασμάτων και αζωτούχων ενώσεων, πλαστικών και συνθετικών υλών σε πρωτογενείς μορφές) (European Environment Agency).

Σημαντικές βιομηχανικές συγκεντρώσεις βρίσκονται γύρω από την πόλη της Λάρισας και κυρίως κατά μήκος των εθνικών οδών, και στη Βιομηχανική Περιοχή.

Η περιοχή της Λάρισας αποτελεί αγροτική ζώνη στην οποία δραστηριοποιούνται κτηνοτροφικές μονάδες. Σε πολλές περιπτώσεις αν δεν τηρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις λειτουργίας επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με τη συσσώρευση

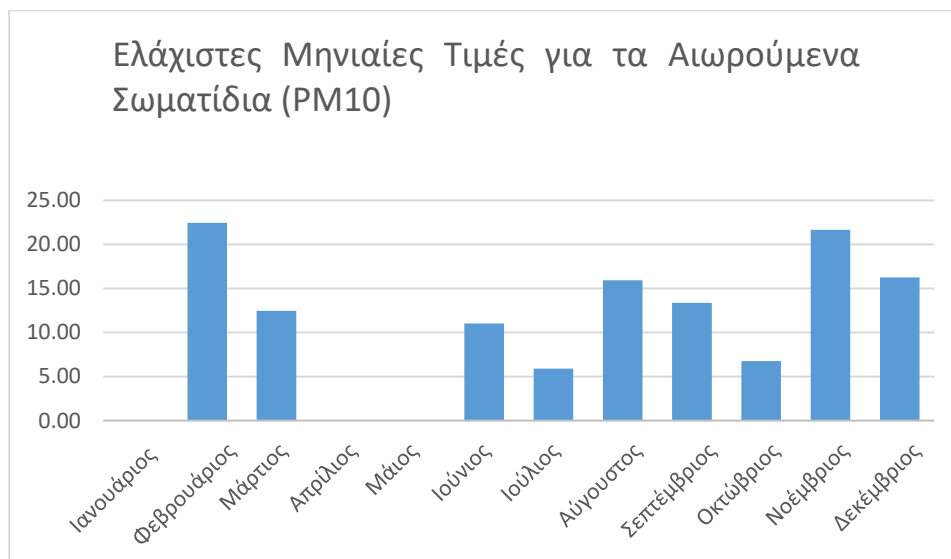
αιωρούμενων σωματιδίων. Σε γενικές γραμμές βάση των διαγραμμάτων ,ανησυχία προκαλείται κατά τους χειμερινούς μήνες όπου τα PM_{10} σωματίδια υπερβαίνουν το όριο κατά πολύ εξαιτίας των αναγκών θέρμανσης.

Στα σχήματα 43. , 44. και 45. παρουσιάζονται αντίστοιχα οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων για τη πόλη του Βόλου. Η μέγιστη τιμή τους αντιστοιχεί στο μήνα Ιανουάριο ενώ η ελάχιστη το μήνα Ιούλιο,ενω για κάποιους μήνες δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα (Ιανουάριο, Απρίλιο και Μαΐο) απο την Περιφέρεια.



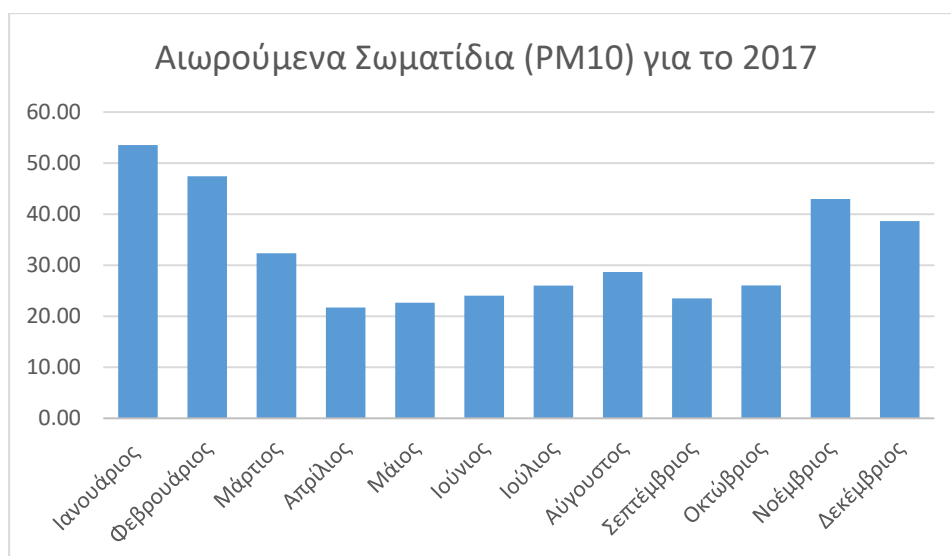
Σχήμα 43. Διάγραμμα των μέγιστων μηνιαίων τιμών PM_{10} για τον Βόλο κάθε μήνα για το έτος 2017

(ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 44. Διάγραμμα των ελάχιστων μηνιαίων τιμών PM10 για τον Βόλο κάθε μήνα για το έτος 2017

(ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 45. Διάγραμμα των μέσων τιμών PM10 για το Βόλο κάθε μήνα για το έτος 2017

(ιδία επεξεργασία)

Πανομοιότυπη είναι η εικόνα μέσων τιμών σε σχέση με την περιοχή της Λάρισας και στη περιοχή του Βόλου με τις πιο ανησυχητικές τιμές να παρουσιάζονται κατά τους μήνες Ιανουάριο-Δεκέμβριο όπου η ανάγκη για θέρμανση είναι αναγκαία.

Σημαντικά Προβλήματα της ατμόσφαιρας του Βόλου

- Η περιοχή του Βόλου διαθέτει όλων των ειδών τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική δραστηριότητα και συμβάλλουν στην αύξηση των

επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων. Πιο συγκεκριμένα η βιομηχανική και βιοτεχνική μονάδα που είναι εγκατεστημένη στην ευρύτερη περιοχή του Βόλου , η λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες όπως ακόμα και σε πηγές όχι ανθρωπογενής προέλευσης αλλά φυσικής όπως η θαλάσσια αύρα (Καλαμπόκας et al., 2005). Τα αποτελέσματα της έρευνας των Καλαμπόκα κ.α. για τα έτη 2001 και 2002 έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις για νοτιοανατολικές κατευθύνσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από αυτές των βορειοδυτικών κατευθύνσεων και αυτό αποδίδεται στις δραστηριότητες του νότιου τομέα της πόλης (παραλιακή ζώνη), στην ανάπτυξη θαλάσσιας αύρας, η οποία σε συνδυασμό με την αυξημένη υγρασία ευνοεί τον σχηματισμό σωματιδίων, καθώς και στην επίδραση από βιομηχανικές πηγές. Επίσης οι μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση οι οποίες χαρακτηρίζονται από εκτεταμένες περιόδους άπνοιας και χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές λόγω της τοπογραφίας της περιοχής. Τα 2/3 των ημερών του χρόνου η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από 0,5 m/s γεγονός που δεν συμβάλλει στη διασπορά των ρύπων. Το ποσοστό των καταστάσεων άπνοιας είναι 12.8 % που σημαίνει πως για ένα σημαντικό μέρος του χρόνου οι μετεωρολογικές συνθήκες ευνοούν τη συσσώρευση ρύπων.(Hubbard and Cobourn,1998).

Από τη γεωγραφική του θέση ο Βόλος προστατεύεται από τα βόρεια από τον ορεινό όγκο του Πηλίου και οι επικρατούντες άνεμοι έρχονται από δύο κατευθύνσεις:

1. Δυτικές (μαϊστρος)
2. Νοτιοανατολικές (Εισροή από τον Παγασητικό)

Έτσι όταν φυσά από τα δυτικά η πόλη δέχεται ρύπανση από τις βιομηχανικές περιοχές κυρίως από Β' ΒΙΠΕ και Χαλυβουργία ενώ όταν φυσά από ανατολικά δέχεται ρύπανση από την ΑΓΕΤ.



Εικόνα 10. Η πόλη του Βόλου σε κλοιό Βιομηχανικής Ρύπανσης

Πηγή: <http://www.oikoen.gr/pages/rdf/volos.html>

Σύμφωνα με έρευνα του Σαμαρά, Κωνσταντίνου κ.α.(2008), για τη συμμετοχή των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε Βόλο και Ν.Ιωνία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ευθύνεται κατά κύριο λόγο η κυκλοφορία των οχημάτων και καθώς επίσης και στην τσιμεντοβιομηχανία ΑΓΕΤ, στη καύση απορριμμάτων και στη καύση πετρελαίου για κεντρική θέρμανση. Όμως όπως προαναφέρθηκε ο σταθμός μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων βρίσκεται εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος και οι πηγές που εντοπίζονται σχετίζονται με τη κυκλοφορία εντός του πολεοδομικού συγκροτήματος. Αν όμως γίνει εγκατάσταση σταθμών και σε άλλες περιοχές της πόλης τότε τα αποτελέσματα θα ήταν διαφορετικά χωρίς να ρίχνεται η ευθύνη μόνο στη κυκλοφορία αλλά και στις βιομηχανίες.

Επιπλέον σε έρευνα των Emmanouil —et al. (2016) που έγινε τη περίοδο 2009-2014, ελέγχθηκαν τα δείγματα των PM_{10} και διαπιστώθηκε από την περιεκτικότητά τους σε διάφορα μέταλλα κ άλλες ουσίες πως το 12,4% είναι πηγή προέλευσης η θάλασσα με τα θαλάσσια άλατα, 8,4% η σκόνη του εδάφους ενώ το υπόλοιπο 79,2 % προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Ωστόσο στις φυσικές πηγές ρύπανσης στην περιοχή του Βόλου σημαντικό ρόλο παίζει και η μεταφορά Αφρικανικής σκόνης όπου σύμφωνα με των Matthaios, et.al (2016), η Αφρικανική σκόνη συμμετείχε σε ποσοστό 47% ενώ το 53% ήταν απο τοπικές πηγές ρύπανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε η ετήσια διακύμανση αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου 10 μm για το έτος 2017 στις 2 μεγαλύτερες πόλεις της Περιφέρειας Θεσσαλίας τη Λάρισα και το Βόλο. Έπειτα από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων από τους σταθμούς μέτρησης αιωρούμενων σωματιδίων στις δύο πόλεις εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Με βάση τα όρια που έχει θέσει η Ε.Ε. περί αιωρούμενων σωματιδίων, στις πόλεις του Βόλου και της Λάρισας εντοπίζονται αρκετές υπερβάσεις, τόσο σε ημερήσιο όσο και σε μηνιαίο επίπεδο καθώς και σε επίπεδα έτους.

Οι τιμές των συγκεντρώσεων των PM_{10} και στις 2 υπό μελέτη πόλεις παρουσιάζουν πανομοιότυπο προφίλ. Τους δύο πιο κρύους μήνες, Ιανουάριο και Φεβρουάριο παρουσιάζουν αρκετά τοπικά μέγιστα κυρίως κατά τις βραδινές ώρες το γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην καύση ξύλου σε τζάκια ή ξυλόσομπες. Η επιστροφή στο συγκεκριμένο τρόπο θέρμανσης αποδίδεται κυρίως στην οικονομική κρίση και το αποτέλεσμα είναι το έντονο φαινόμενο της αιθαλομίχλης κατά τους χειμερινούς μήνες. Τους υπόλοιπους μήνες οι τιμές παρουσιάζουν σημαντική μείωση συγκριτικά με τους καλοκαιρινούς και μόλις κάποια τοπικά μέγιστα τα οποία μπορούν να αποδοθούν και στην έντονη κυκλοφορία των οχημάτων ειδικά κατά τις πρωινές ώρες της ημέρας.

Τους ανοιξιάτικους μήνες ειδικότερα κατά τις βραδινές ώρες υπάρχει αύξηση των PM_{10} όμως οι τιμές αυτές παρατηρούνται κυρίως τα Σαββατοκύριακα λόγω της παραμονής του κόσμου στις οικίες τους και στη χρήση εναλλακτικών μεθόδων θέρμανσης όπως το ξύλο.

Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που επιδρά στα επίπεδα ρύπανσης μιας περιοχής. Επιπλέον οι παράμετροι της μετεωρολογίας που επηρεάζουν δραστικά τη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης εκτός της θερμοκρασίας είναι η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου, η ευστάθεια της ατμόσφαιρας, τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα και το ποσό του υετού όπως και η σχετική υγρασία.

Επιπλέον, ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την ατμοσφαιρική ρύπανση στην πόλη του Βόλου και στη πόλη της Λάρισας είναι: η βιομηχανία που αποτελεί την κυριότερη κατηγορία

προβλημάτων της ποιότητας του αέρα στην περιοχή μελέτης. Η βιομηχανική ρύπανση προέρχεται από τις εγκαταστάσεις μονάδων παραγωγής που είναι εγκατεστημένες περιμετρικά των πόλεων της Λάρισας και του Βόλου. Επίσης σημαντικοί παράγοντες είναι η γεωργία, η αλιεία, η τοπογραφία της περιοχής και κεντρική θέρμανση.

Η αστική ρύπανση προέρχεται από την κυκλοφορία των οχημάτων που εκεί μπορούν να επέλθουν καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες, κίνητρα για χρήση Μέσων Μαζικής Μεταφοράς όπως και αλλαγή παλαιών αυτοκινήτων με νεότερα βελτιωμένης τεχνολογίας.

Εν συνεχεία, τα αιωρούμενα σωματίδια χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης. Είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν με δραστικά μέτρα όπως η διερεύνηση των μηχανισμών που συντηρούν την ρύπανση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} σε υψηλά επίπεδα, αλλά και η μείωση της χρήσης των αυτοκινήτων, όπως και να πραγματοποιηθεί μια διαπαιδαγώγηση του κοινού.

Επιπλέον οφείλεται να σημειωθεί η αναγκαιότητα εγκατάστασης νέων σταθμών παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε Λάρισα και Βόλο αλλά και σε όλη τη Θεσσαλία ώστε να έχουμε σαφή και αξιόπιστα δεδομένα. Αυτή τη στιγμή οι σταθμοί έχουν δεδομένα μόνο για τα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} , ενώ παλιότερα υπήρχαν μετρήσεις κυρίως για NO_x – CO – O_3 , όμως εξαιτίας έλλειψης οικονομικών πόρων δεν υπήρχε σωστή συντήρηση των σταθμών και έπαψαν να λειτουργούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Barmapadimos , I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., & Prévôt, A.S.H. (2012). *One decade of parallel fine (PM 2.5) and coarse (PM 10-PM 2.5) particulate matter measurements in Europe: Trends and variability*. Atmospheric Chemistry and Physics. Vol 12, (No 7), 3189-3203.

Bellos, D. Sawidis, T. (2005). *Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia—Greece)*. Journal of Environmental Management. Vol 76, (No 4), 282-292.

Brook, R.B., Franklin B., Cascio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett M., Luepker R., Mittlemann , M., Samet, J., Smith, S.C., Tager, I. (2004). *“Air pollution and cardiovascular disease, a statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of A.H.A.”*. Circulation , 109, 2655-2671.

Diapouli, E., Charoulakou, A., & Spyrellis, N. (2008). Indoor and outdoor PM concentrations at a residential environment, in the Athens area. Global NEST Journal, 10(2), 201–208.

Emmanuil, C., —et al.]. (2016). *Study on particulate matter air pollution, source origin, and human health risk based of PM10 metal content in Volos City, Greece*. Toxicological & Environmental Chemistry. Vol 99, (No 4), 691-709.

Hitzenberger R., (2008), «*Particulate Matter – Properties Related to Health Effects*», COST 633, FINAL REPORT, December 2008.

Kalantzi E., Makris D., Duquenne M.N., Kaklamani S.,Stapountzis E. and. Gourgoulisanis K., (2011). «Air pollutants and morbidity of cardiopulmonary diseases in a semi-urban Greek peninsula, Atmos» Environ. 45: 7121-7126.

Katsouyanni ,K., Zmirou, D., Spix ,C., Sunyer, J., Schouten ,J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., Lemoullec ,.Y., Wojtyniak , B., Vigotti, M.A., Bacharova , L. (1995). Short-Term Effects of Air-Pollution on Health- a European Approach Using Epidemiologic Time-Series Data- Aphea Project- Background, Objectives, Design. *European Respiratory Journal* , 8(6), 1030-1038.

Katsouyanni ,K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova , L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R.,(1997). ‘Short-term Effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project: Air Pollution and Health: a European Approach’. BMJ,7,314(7095), 1658-1663.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Petasakis, Y., Analitis, A., Le Tertre, A., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C., Schwartz, J. (2003). 'Sensitivity analysis of various models of short-term effects of ambient particles on total mortality in 29 cities in APHEA2'. In: *Health Effects Institute 2003. Revised Analyses of Time –Series of Air Pollution and Health. Special Report. Health Effects Institute, Boston MA*

Khodakarami, J., Ghobadi, P. (2016). Urban pollution and solar radiation impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 57, 965-976. Mage, D.T., Donner E.M. (1995). A genetic hypothesis for cause of death during the 1952 London fog. *Medical Hypotheses*. Vol 45, (No 5), 481-485.

Katsafados, P., Kalogirou, S., Papadopoulos, A., Korres, G. (2012), Mapping long-term atmospheric variables over Greece, *Journal of Maps*, 8:2, 181-184.

Kassomenos, P., Kotroni, V., Kallos, G., (1995). 'Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area'. *Atmospheric Environment*, 29, 3671-3688

Longhurst, J.W.S., Barnes, J.H., Chatterton, T.J., Hayes, E.T. & Williams, W.B. (2016). Progress with air quality management in the 60 years since the UK Clean Air Act, 1956. lessons, failures, challenges and opportunities. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. Vol 11, (No 4), 491-499.

Matthaios, V.N., Triantafyllou, A.G., & Koutrakis, P. (2016). PM10 episodes in Greece: Local sources versus long-range transport—observations and model simulations. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Vol 67, (No 1), 105-126

Nastos, P. T., Larissi, I. K., Grigoropoulos, K. N., Antoniou, A., & Paliatsos, A. G. (2013). Indoor and Outdoor Particulate Matter Variability in Athens, Greece. *Indoor Built Environ* 2013, 22, 586–592.

Harrison R. M. (2004). 'Key pollutant –airborne particles'. *Science of the Total Environment*, pp. 334-33.

Hubbard M.C., Cobbourn W.G. (1998), Development of a regression model to forecast ground-level ozone concentration in Louisville, KY, *Atmospheric Environment* 32, 2637-2647

Paliatsos, A.G. and Amanatidis, G.T. (1994). Smoke concentrations in Athens, Greece: trends and strong episodes. *The Science of the Total Environment*, 144, 137-144

Proias G., Moustris K., Larissi I., Nastos P., and Paliatsos A., (2012. «Ambient PM₁₀ concentrations and the impact of wind at an urban site in central Greece». *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 21 - No 7a., p. 1935-1941.

Gebhart, K.A., Kreidenweis, S.M. & Malm, W.C. (2001). Back-trajectory analyses of fine particulate matter measured at Big Bend National Park in the historical database and the 1996 scoping study. *Science of the Total Environment*. Vol 276, (No 1-3), 185-204.

Lacressonnière, G., —et al.|| (2017). *Particulate matter air pollution in Europe in a +2 °C warming world. Atmospheric Environment*. Vol 154, 263-274

Triantafyllou, A.G., Kiros, E.S., Evagelopoulou, V.G. (2002). *Respirable Particulate Matter at an Urban and Nearby Industrial Location: Concentrations and Variability and Synoptic Weather Conditions during High Pollution Episodes*. *Journal of the Air and Waste Management Association*. Vol 52, (No 3), 287-296.

Oderdorster O., Gelein R.M., Ferin J., Weiss B., *Association of particulate air pollution and acute mortality : involvement of ultrafine particles, Inhalation Toxicology*, (1995), 7, 111-124.

Poloniecki , J.D., Atkinson, R.W., de Leon, A.P., Anderson , H.R.(1997). 'Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London U.K.' *Occupational Environmental Medicine*, 54, 535-540

WHO (2000). 'Air Quality Guidelines for Europe'. 2nd Edition, World Health Organization, Copenhagen.

WHO (2015), [Economic cost of the health impact of air pollution in Europe](#)» (2015, σ. 7)

U.S. EPA (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter, Volume I.*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Grantz, D.A., Garner, J.H. B., Johnson, D. W. (2003). *Ecological effects of particulate matter. Environmental International* , 29, pp.213-239.

Pielke, R.A., Arritt, R.W., Segal, M., Moran, M.D. & McNider, R.T. (1987). Mesoscale numerical modeling of pollutant transport in complex terrain. *Boundary-Layer Meteorology*. Vol 41, (No 1-4), 59–74.

Schnoor, J.(2003), *Περιβαλλοντικά Μοντέλα, Τύχη και Μεταφορά Ρύπων Στον Αέρα, Νέρο και Έδαφος*. Τίτλος Πρωτοτύπου: *Environmental Modeling, Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil*. Θεσσαλονίκη:Τζιόλα.

Wise, E.K. , Comrie, A.C. (2005). Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States. *Atmospheric Environment*. Vol 39, (No 16), 2969-2980.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Ανδρίτσος Ν. (2007)., <<Σωματιδιακοί ρύποι- Αιωρούμενα Σωματίδια>>.

Βαλαβανίδης, Α., (2007). «Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία Ερευνητική Μεθοδολογία και Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου από Επικίνδυνες Χημικές Ουσίες», Έκδοση: Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.

Βερύκιος, Ξ.(2003). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους Ι. Πάτρα: ΕΑΠ.2*

Γατσέλου Ζ., (2017). «Εφαρμογή του μοντέλου airq2.2.3 του παγκόσμιου οργανισμού υγείας για τη μελέτη των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία στην πόλη της Λάρισας», Μεταπτυχιακή εργασία, Πειραιάς.

Διαπούλη Ε. (2008). Έκθεση Υποομάδων Πληθυσμού σε Αέρια Σωματιδιακή Ρύπανση'. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.

ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΣΑΙΩΝ (2013). Λάρισα-Αίτηση για το Ευρωπαϊκό Βραβείο Πράσινης Πρωτεύουσας 2016- Ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα. Ανακτήθηκε 15 Μαρτίου 2017 από <https://goo.gl/LLGDka>.

Ε.Μ.Υ. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Κλίμα Πόλεων- Περίοδος δεδομένων: 1955-1998. http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology_city?perifereia=Thessaly&poli=Larisa

Ελληνική Νομοθεσία, Ν.1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος».Αριθμ. Η.Π. 14122/549/Ε.103, Μέτρα για τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2008/50/ΕΚ «για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 21ης Μαΐου 2008».

Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, ΕΛΟΤ EN 12341 (1999-02-03). Ελληνικό Πρότυπο. Ποιότητα αέρα- Προσδιορισμός κλάσματος PM₁₀ της αιωρούμενης σωματιδιακής ύλης- Μέθοδος αναφοράς και διαδικασία δοκιμής στο πεδίο για την απόδειξη της ισοδυναμίας αναφοράς των μεθόδων μέτρησης.

Ειδική Έκθεση αριθ.23 2018, Ατμοσφαιρική Ρύπανση: Η προστασία της Υγείας μας παραμένει ανεπαρκής, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, Ανακτήθηκε 3 Φεβρουαρίου 2020 από: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/#A4> 7

Ζάνης, Π.(2008). *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. . (eBook version). Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο. <https://docplayer.gr/3340263-Simeioseis-gia-tin-rypansi-kai-himeia-tis-atmosfairas.html>

Ζάνης, Π.(2014). *Σημειώσεις για τη Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας*. (eBook version). Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο. Ανακτήθηκε 21 Φεβρουαρίου 2017, από <https://goo.gl/EMIKWL>.4

Ζιωμάς, Ι.Σ Ρεμουντάκη Ε.(2003), *Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων*. Πάτρα: ΕΑΠ

Καλαμπόκας Π., Σιδερής Γ., Χριστόλης Μ., Μαρκάτος Ν., (2005). «Ανάλυση μέτρησης ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στον Βόλο». Heleco '05: Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος, ΤΕΕ, Αθήνα.3-6 Φεβρουαρίου 2005. Αθήνα: ΤΕΕ.

Κατσαφάδος Π., Μαυρομάτης Η., (2015). << Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και τη Κλιματική Αλλαγή>>. Αθήναν

Καραθανάσης, Σ. (2006). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ορισμός, Επιπτώσεις, Πηγές από Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές Δραστηριότητες, Τεχνολογία Αντιμετώπισης, Νομοθεσία*. Θεσσαλονίκη:Τζιόλα.δ

Καμπεζίδης , Χ., Ματραλής, Χ.(2004). *Διαχείριση Αέριων Ρύπων, Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους II*. Πάτρα: ΕΑΠ.

Κούγκολος, Α.Γ.(2005). *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική, Αέρια Ρύπανση ,Ποιότητα Νερών, Οικοτοξικολογία, Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων, Διαχείριση Απορριμμάτων*, Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

Κόλλια Π. (2012).΄Μελέτη Σωματιδιακής Ρύπανσης στην Ευρύτερη Περιοχής της Θεσσαλονίκης΄.Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκησ

Κουλλάπης Ν. (2010), <<Αιωρούμενα σωματίδια (PM) και οι επιπτώσεις τους στην υγεία>>, Σύνδεσμος Ασφαλείας και Υγείας Κύπρου, 19 Μαρτίου 2010.

Λαζαρίδης Μ. (2005). 'Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας'. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Λυτροκάπης , Ι., Μανίκα, Σ., (2009), Βιώσιμος Αστικός Σχεδιασμός στην πόλη της Λάρισας ,Ασκήσεις επί χάρτου.(Α δημοσίευτη Μεταπτυχιακή Εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης –Πολυτεχνική Σχολή , Σχολή τμήμα Χωροταξίας και Ανάπτυξης: Βέροια.

Μακρή, Α., (2011). «Μέτρηση και αξιολόγηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αστικό περιβάλλον», Αθήνα.

Μανουσάκη, Φ.(2010). ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΩΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΟΥ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ. ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΛΑΡΙΣΑΣ. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.

Μαραγκίδου, Α., (2013). «Ατμοσφαιρική Διασυννοριακή Ρύπανση στις 27 χώρες της Ευρωπαϊκής», Θεσσαλονίκη.μ

Μαραζιώτης, Ε., (2006). Ατμοσφαιρική Ρύπανση Διαχείριση & Τεχνολογικός Έλεγχος, Τόμος Α'. Πάτρα 2008.

Μασσάρα ,Β.(2011), 'Αιωρούμενα Σωματίδια στην Ατμόσφαιρα της Πάτρας' Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.

Μουσιόπουλος , Ν. (2014). Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ενότητα 5: Δυναμική της Ατμόσφαιρας. Ανακτήθηκε 28 Φεβρουαρίου 2017 από <https://goo.gl/ZnZ5v5>.

Μπεληγιάννης, Β.(2013). Μετρήσεις Πεδίου Λεπτών Αιωρούμενων Σωματιδίων στη Περιοχή της Θεσσαλονίκης, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.5

Μπέσα Μ. (2015)., << Συγκριτική Μελέτη της Πρότυπης Σταθμικής Μεθόδου Μέτρησης PM10 με τη Μέθοδο Αυτόματης Καταγραφής>> , Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών <<Φυσική και Τεχνολογικές Εφαρμογές>>, Αθήνα.μ

Ξυγκόγιαννη, Π., Ανδρέου, Γ., Ρεθεμιωτάκη, Ε., Ζέρβας, Ε., (2012). «Η ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις του Βόλου και της Λάρισας». Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Οικονομόπουλος, Α., (2000). «Σημειώσεις Μαθήματος Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα». Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.ν

Παπαναστασίου Δ., (2007), *Ατμοσφαιρική Ρύπανση – Μετεωρολογία σε Αστικό Περιβάλλον Υπό Συνθήκες Υψηλού Υποβάθρου* , Διδακτορική Διατριβή,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης .

Πρώιας Γ., Ελευθεριάδης Κ., Διαπούλη Λ., Βράτολης Σ., Βασιλάτου Β., Κούγκολος Α., Κηπουρός Σ. και Παλιατσός Α.Γ., (2012). «Ανάλυση συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2,5}$ στην περιοχή του Βόλου κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο 2011-2012 στο πλαίσιο του προγράμματος LIFE + ACEPT-AIR.» Πρακτικά από το 1^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σεπτέμβριος 8-10, 2012, Σκιάθος, Ελλάδα, Τόμος Περιλήψεων, 4 (Α. Κούγκολος, Ο. Χριστοπούλου, Χ. Λασπίδου, ISBN 978-960-6865-49-7).

Ρεμουντάκη, Ε., (2010). «Οδηγός για το περιβάλλον: Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση». WWW Ελλάς /Αθήνα.

Σαχινίδης Σ., Ζεμπεκάκης Π., Κεμετζί ΑΙ., Ο Ρόλος των Αιωρούμενων Σωματιδίων της Ατμόσφαιρας και του Όζοντος στη Διαμόρφωση του Κλίματος. Οι Επιπτώσεις τους στην υγεία του ανθρώπου.

Σαμαρά –Κωνσταντίνου Κ., Κουϊμτζής Θ., Βουτσά Δ., Κούρας Α., Μανώλη Ε., Αργυρόπουλος Γ., Νικολάου Κ., Σταμπουντζής Ε., Κουμπαρέλος Γ. (2008). ‘Προσδιορισμός της Συμβολής Πηγών στην Ατμοσφαιρική Ρύπανση του Βόλου και Σχεδιασμός Ιεραρχημένης Περιβαλλοντικής Πολιτικής για την Αναβάθμιση της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας’. Ερευνητικό Έργο, Φάση ΙΙ, Τελική Έκθεση, Εργαστήριο Ελέγχου Ρύπανσης Περιβάλλοντος του Τμήματος Χημείας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Τσαουλή, Α., (2010). «Διερεύνηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Θεσσαλονίκη», Καβάλα.1

Τσιγκαροπούλου Π., (2015). «Μεσαίες πόλεις και περιβαλλοντικός αστικός σχεδιασμός: Παρεμβάσεις στην κεντρική περιοχή της πόλης της Λάρισας για τη βιώσιμη ανάπτυξη της». Βόλος.

Τσιριγώτη, Παρασκευή., (2012). «Χρόνιες επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία». Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Λάρισα.

Τριανταφύλλου, Α.,Γ.(2004). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση – Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα, Σύγχρονες Τεχνικές Μέτρησης*. ΤΕΙ Κοζάνης: Κοζάνη.

Τραϊανός ,Α.(2007), *Η Περιβαλλοντική πολιτική στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή εργασία, Βόλος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

Νέοι σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Λάρισα, <https://www.onlarissa.gr/2016/09/09/nei-stathmi-metrisis-atmosferikis-ripansis-sti-larisa1/>

ΕΕΑ, «*Outdoor air quality in urban areas*», 2017. <https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-and-health/outdoor-air-quality-urban-areas#tab-based-on-data>

ΕΕΑ, «*Emissions of the main air pollutants in Europe*», 2017.

ΠΟΥ: Σε Αν. Μεσόγειο και ΝΑ. Ασία τα υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης πόλεων, <https://energypress.gr/news/poy-se-mesogeio-kai-na-asia-ta-ypsilotera-epipeda-atmosfairikis-rypansis-poleon>

Στο Ευρωπαϊκό δικαστήριο Γαλλία, Γερμανία και άλλες 4 χώρες για ατμοσφαιρική ρύπανση, <https://hellasjournal.com/2018/05/sto-evropaiko-dikastirio-gallia-germania-ke-alles-4-chores-gia-atmosferiki-rypansi/>

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας , Πολυτεχνική Σχολή – Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, http://www.pm10.uth.gr/img_chart/PM10_map.jpg

Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Χάρτες Σταθμών Μέτρησης Αέριας Ρύπανσης, <https://www.civilprotection.gr/el>

Κεντρική σελίδα ΕΛ.ΣΤΑΤ., www.statistics.gr

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

<http://meteosearch.meteo.gr/data/larissa/2017-01.txt>

Η Θέση του Βόλου, <http://www.oikoen.gr/pages/rdf/volos.html>

Composition and source apportionment of PM10, <https://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--15-079>

ΥΠΕΚΑ,ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ 2017,<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=81Y3zyY9w%2BU%3D&tabid=490&language=el-GR>

Δεδομένα και Χάρτες ΕΕΑ, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>

Greenagenda.gr, στο Εδώλιο 6 χωρες της ΕΕ για ατμοσφαιρική ρυπανση, <https://greenagenda.gr>

European Commission, Air quality: *Commission takes action to protect citizens from air pollution*, Brussels, 2018. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_en.htm

Environmental Protection Agency.(2017). Particulate Matter (PM) Pollution. Ανακτήθηκε 28 Δεκεμβρίου 2019, από <https://www.epa.gov/pm-pollution>.

European Enviromental Agency (2016). *Urban population exposed to air pollutant concentrations above WHO air quality guidelines*. Ανακτήθηκε 7 Μαρτίου 2017 από <https://goo.gl/EGw9YT>.

European Enviromental Agency (2017). Air quality in Europe-2017 report, Ανακτήθηκε 03 Φεβρουαρίου 2020 από <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>