

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
Μ.Π.Σ.: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΔΙΑ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ: ΜΕΛΕΤΗ  
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM10 ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ.

PARTICULATE MATTER<POSSIBLE EFFECTS AND PHYSICAL IMPACT: STUDY OF  
PARTICULATE MATTER PM10 AND AIR POLLUTION CAUSED FROM PM10 IN THE  
AREA OF ATTICA.



ΣΥΜΒΟΥΛΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Α.Μ.: 142378

[georgeapost@hotmail.com](mailto:georgeapost@hotmail.com)

Ημερομηνία: 29.05.2024

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2017

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

«Ανδρέας Καζαντζίδης»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

«Δημήτριος Παπαναστασίου»

# Περιεχόμενα

<b>Περίληψη.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Αιωρούμενα σωματίδια.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Κατηγορίες σωματιδίων.....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Τρόπος σχηματισμού.....	11
2.1.2 Σύσταση.....	12
2.1.3 Μέγεθος.....	12
2.1.4 Σχήμα.....	14
<b>2.2 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.....	17
2.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές αιωρούμενων σωματιδίων.....	18
<b>2.3 Χρόνος παραμονής αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Γεωγραφική περιγραφή Αττικής.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Μετεωρολογικοί παράγοντες.....</b>	<b>21</b>
<b>3. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων.....</b>	<b>22</b>
3.1 Επιπτώσεις στην υγεία.....	22
3.2 Επιπτώσεις στο κλίμα.....	24
3.3 Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα.....	25
3.4 Επιπτώσεις στην ορατότητα.....	26
3.5 Λοιπές επιπτώσεις.....	26
<b>4. Νομοθεσία Ευρωπαϊκή - Ελληνική.....</b>	<b>27</b>
4.1 Κοινοτικοί Στόχοι.....	29
4.2 Οριακές τιμές Αιωρούμενων σωματιδίων PM10.....	30
4.3 Σταθμοί μέτρησης Ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	33

4.4	Μέθοδος Μέτρησης .....	35
5.	<i>Μελέτη Αιωρούμενων Σωματιδίων PM10 στην περιοχή της Αττικής</i> .....	35
5.1	Συζήτηση Μελέτης .....	50
	<i>Συμπεράσματα</i> .....	53
	<i>Βιβλιογραφία</i> .....	55

## Περίληψη

**Θέμα:** Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια και τη συμπεριφορά τους στην ατμόσφαιρα ως αέριος ρύπος. Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί πρόβλημα μείζονος σημασίας σε παγκόσμια κλίμακα. Το ζήτημα της ρύπανσης που προκύπτει από την παρουσία τους είναι υπαρκτό και στην περιοχή της Αττικής. Τα αιωρούμενα σωματίδια χαρακτηρίζονται ως πολύ επικίνδυνοι ρύποι λόγω της αρνητικής τους επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

**Στόχος:** Στόχο της εργασίας, εκτός από την επισκόπηση των PM10, αποτελεί η ανάδειξη της εικόνας της ρύπανσης που οφείλεται σε PM10 σε διαφορετικές περιοχές της Αττικής αλλά και η διαχρονική εξέλιξη του συγκεκριμένου ρύπου όπως προκύπτει από το δίκτυο των σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

**Μεθοδολογία:** Για την παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε ηλεκτρονική βιβλιογραφική ανασκόπηση χρησιμοποιώντας πηγές επιστημονικών δημοσιεύσεων ιδρυματικών αποθετηρίων και περιοδικών. Αναζητήθηκαν λέξεις κλειδιά όπως αιωρούμενα σωματίδια PM10, ατμοσφαιρική ρύπανση, επιπτώσεις PM10, κατηγορίες σωματιδίων, ρύπανση σε αστικό περιβάλλον. Τέλος, αξιολογήθηκαν τα δεδομένα της ποιότητας της ατμόσφαιρας για τα σωματίδια PM10 από το ΥΠΕΝ.

**Συμπεράσματα:** Τα φαινόμενα μεταφοράς και φυσικής συνεισφοράς, καθώς και οι μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν επιδρούν σημαντικά στα επίπεδα τιμών PM10, επηρεάζοντας την σταθεροποίηση της ρύπανσης. Ωστόσο παρατηρείται γενική μείωση τιμών PM10. Παρόλα αυτά η μέση ετήσια τιμή PM10 σε ορισμένους σταθμούς ανέρχεται των  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  καταδεικνύοντας την ύπαρξη φαινομένων αυξημένης ρύπανσης. Κύρια πηγή προέλευσης PM10 σε αστικό περιβάλλον αποτελούν το κυκλοφοριακό και η καύση ορυκτών καυσίμων. Οι σταθμοί Αριστοτέλους και Πειραιά φέρουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις PM10 ενώ οι σταθμοί με τις μεγαλύτερες διαχρονικές μειώσεις τιμών είναι οι ΛΥΚ(από  $58\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2006 σε  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2020), ΜΑΡ(από  $48\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2006 σε  $14\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2020), ΑΡΙ(από  $56\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2006 σε  $27\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2020) και ΕΛΕΥ (από  $42\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2010 σε  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  το 2020). Η λήψη μέτρων αντιρρύπανσης, απανθρακοποίησης και νομοθετικού χαρακτήρα οδηγούν σε μείωση των τιμών ρύπανσης.

**Σύντομη περιγραφή περιεχομένου:** . Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέγεθος, τη μορφή και τη σύσταση τους. Ακόμη, εξετάζονται οι φυσικές ιδιότητες και ο τρόπος σχηματισμού τους, ο χώρος προέλευσης, καθώς και η πορεία τους στην ατμόσφαιρα. Ακολουθεί η γεωγραφική και μετεωρολογική ιδιαιτερότητα της Αττικής ως υπόβαθρο της επίδρασης και διαμόρφωσης των φαινομένων ρύπανσης που εκδηλώνονται στην περιοχή. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι επιπτώσεις που επιφέρουν τα αιωρούμενα σωματίδια στο περιβάλλον, καθώς και σε τομείς όπως η υγεία, το κλίμα, τα οικοσυστήματα, η ορατότητα και άλλα. Έπειτα, εντοπίζονται οι σχετικές νομοθετικές πράξεις που πλαισιώνουν τις συγκεντρώσεις τους σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, αλλά και οι οριακές τιμές που έχουν θεσπιστεί για την διασφάλιση της ποιότητας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα πρότυπα των Ευρωπαϊκών στόχων.

### **Abstract**

**Topic:** This thesis refers to particulate matter and their behavior in the atmosphere as a gaseous pollutant. Air pollution from particulate matter is a major problem on a global scale. The issue of pollution arising from their presence also exists in the region of Attica. Particulate matter is classified as a very dangerous pollutant due to its negative impact on human health and the environment

**Objective:** The objective of the work, in addition to the overview of PM10, is to highlight the picture of pollution due to PM10 in different areas of Attica, but also the long-term evolution of this particular pollutant as shown by the network of air pollution measurement stations of the Ministry of the Environment and Energy.

**Methodology:** For the present study, an electronic literature review was carried out using scientific publication sources of institutional repositories and journals. Keywords such as PM10 particulate matter, air pollution, PM10 effects, particle categories, urban pollution were searched. Finally, air quality data for PM10 particles from the Ministry of the Interior were evaluated.

**Conclusions:** Transport and natural contribution effects, as well as prevailing meteorological and climatic conditions significantly influence PM10 value levels, affecting the stabilization of pollution. However, a general decrease in PM10 values is observed. Nevertheless, the average annual value of PM10 in some measurement stations is above 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , demonstrating the

existence of increased pollution phenomena. The main source of PM10 in the urban environment is traffic and the burning of fossil fuels. The Aristotelous and Piraeus stations have the highest PM10 concentrations, while the stations with the greatest price reductions over time are LYK (from 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2006 to 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020), MAR (from 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2006 to 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020), ARI (from 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2006 to 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020) and ELEY (from 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2010 to 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020). Taking anti-pollution, decarbonization and legislative measures lead to a reduction in pollution prices.

Particulate matters are categorized according to their size, shape and composition. Furthermore, the physical properties and the way of their formation, the place of origin, as well as their course in the atmosphere are examined. Next is the geographical and meteorological particularity of Attica as a background of the effect and formation of the pollution phenomena manifested in the region. The effects of particulate matter on the environment are then presented, as well as in areas such as health, climate, ecosystems, visibility and others. Then, the relevant legislative acts that frame their concentrations at the European and national level are identified, as well as the limit values that have been established to ensure the quality of air pollution in accordance with the standards of the European objectives.



## **1. Ατμοσφαιρική Ρύπανση**

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα διαφόρων ειδών ουσιών. Οι ουσίες αυτές, είναι ικανές να προκαλέσουν υποβάθμιση του περιβάλλοντος ή/ και αρνητικές επιπτώσεις στους έμβιους οργανισμούς, είτε λόγω υψηλής συγκέντρωσής τους, είτε λόγω αυξημένης διάρκειας παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα διασφαλίζεται διαμέσου συστηματικής παρακολούθησης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας με απώτερο σκοπό την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Απότομοι και παρατεταμένοι καύσωνες, πλημμύρες, λειψυδρίες και έκθεση σε υψηλά επίπεδα ρύπων με επικίνδυνα χαρακτηριστικά τα οποία προκαλούν ασθένειες και θανάτους. Σύμφωνα με έκθεση του Ευρωπαϊκού οργανισμού περιβάλλοντος (ΕΟΠ) έχουμε περισσότερους από 400.000 πρόωρους θανάτους ανά έτος λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως σε αστικό περιβάλλον. Τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το τροποσφαιρικό όζον είναι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που ευθύνονται για τους περισσότερους από τους εν λόγω πρόωρους θανάτους.

Η αύξηση του επιπέδου ρύπανσης του αέρα είναι δυνατόν να φτάσει σε συνθήκες όπου επικρατεί η παρουσία νέφους υπό μορφή καπνομίχλης λόγω υψηλών συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, η παρουσία υψηλών θερμοκρασιών και ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με μεγάλες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), υδρογονανθράκων (HC) και δευτερογενών προϊόντων τους οδηγεί σε σχηματισμό νέφους φωτοχημικής μορφής. Και στις δυο περιπτώσεις οι συνθήκες διαβίωσης χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνες.

## **2. Αιωρούμενα σωματίδια**

Ο σύγχρονος κόσμος ασχολείται όλο και περισσότερο με το φαινόμενο της υποβάθμισης της ποιότητας του περιβάλλοντος μιας και οι επιπτώσεις είναι παρούσες και αυξανόμενες σε βαθμό

που καθιστά το φαινόμενο σε μείζονος σημασίας ζήτημα-πρόβλημα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί πλέον αντικείμενο μελέτης από διεθνείς φορείς και όχι μόνο.

Τα αιωρούμενα σωματίδια σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την ποιότητα του αέρα. Η υποβάθμιση της ατμόσφαιρας που επιφέρει η ύπαρξη τους σε αστικές περιοχές κυρίως, προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Με τον όρο αιωρούμενο σωματίδιο χαρακτηρίζουμε κάθε συστατικό που βρίσκεται σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα σε υγρή, στερεή ή αέρια μορφή και είναι της τάξεως 0,0002 $\mu\text{m}$ -500 $\mu\text{m}$ . Ο καθορισμός της πλήρους περιγραφής τους είναι κάτι αρκετά πολύπλοκο λόγω της υπάρχουσας φυσικής τους κατάστασης, της χημικής τους σύνθεσης, αλλά και του μεγέθους τους. Τα σωματίδια εκτός από την υποβάθμιση της υγείας και την επίδραση στην διαμόρφωση του κλίματος επηρεάζουν και τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων της φύσης.

Οι συγκεντρώσεις της ρύπανσης σε μία περιοχή, αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων. Εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία δρα στις φωτοχημικές αντιδράσεις, τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία της ατμόσφαιρας, καθώς επίσης και από τις κατακρημνίσεις. Τέλος, βασικές μετεωρολογικές παράμετροι, όπως η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό αραίωσης της ρύπανσης.

## **2.1 Κατηγορίες σωματιδίων**

Με τον όρο αιωρούμενα σωματίδια εννοούμε όλα τα σωματίδια στερεά, υγρά και αέρια που εμπεριέχονται στην ατμόσφαιρα και έχουν μέγεθος μικρότερο των 500 $\mu\text{m}$ . Η πηγή προέλευσης και τα φυσικοχημικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τους τα κατατάσσουν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη σύσταση, τον τρόπο σχηματισμού και το μέγεθος τους.

Οι κολλοειδών διαστάσεων αέριες, στερεές και υγρές ουσίες που έχουν μέγεθος μικρότερο από 100 $\mu\text{m}$  και υπάρχουν διάσπαρτες στην ατμόσφαιρα αποτελούν τα αερολύματα. Στα αερολύματα ανήκουν:

- Η αιθάλη (0.03-0.03 $\mu\text{m}$ ), η οποία σχηματίζεται μετά από συμπύκνωση ατμών.

- Η σκόνη (1-10 $\mu\text{m}$ ), η οποία προκύπτει από τον κατακερματισμό μεγαλύτερων μαζών μετά από τριβές.
- Ο καπνός (0.5-1 $\mu\text{m}$ ) που σχηματίζεται από ατελή καύση οργανικών.
- Η ιπτάμενη τέφρα (1-1000 $\mu\text{m}$ ), η οποία σχηματίζεται επίσης από καύση οργανικών υλών.
- Τα σπρί που είναι υγρά σωματίδια από φυτοφάρμακα κυρίως (10-1000 $\mu\text{m}$ ).
- Η ομίχλη (0.1-10 $\mu\text{m}$ ) που επίσης σχηματίζεται μετά από συμπύκνωση ατμών.

Ο φυσικός μηχανισμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα είναι η καθίζηση μέσω βαρυτικών δυνάμεων, αλλά και η υγρή και ξηρή εναπόθεση. Στην περ'ιπτωση της εναπόθεσης τα σωματίδια συμπαρασύρονται ή ενσωματώνονται από τη βροχή, το χιόνι, τον αέρα και κατακρημνίζονται. (Ζανής, 2014)

### 2.1.1 Τρόπος σχηματισμού

Τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, σε **πρωτογενή και δευτερογενή**. Τα πρωτογενή σωματίδια δημιουργούνται από τη θραύση και τον κατακερματισμό μεγαλύτερων σωμάτων μέσω ασκούμενων πιέσεων, τριβών, επαφών κα. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,1 $\mu\text{m}$  έως και μεγαλύτερα από 1  $\mu\text{m}$  . Τα πρωτογενή σωματίδια εκπέμπονται απευθείας από την πηγή τους στην ατμόσφαιρα. Τα δευτερογενή δημιουργούνται από αέριες ενώσεις μέσω χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα.

Τα δευτερογενή σωματίδια σχηματίζονται από διάφορες χημικές ατμοσφαιρικές αντιδράσεις. Μέσω φωτοοξειδωσης των πτητικών οργανικών ενώσεων και οξειδωση των οξειδίων του θείου  $\text{SO}_x$  και του αζώτου  $\text{NO}_x$  από τους φυσικούς οξειδωτικούς παράγοντες (όζον  $\text{O}_3$  και ρίζες υδροξυλίου  $\text{OH}$ ). Οι αντιδράσεις αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα τη χημική τροποποίηση των σωματιδίων, καθώς και του μεγέθους τους λόγω της νέας τους κατάστασης (συμπύκνωσης, εξάτμισης, συσσωμάτωσης, καθίζησης, προσρόφησης απορρόφησης κα), καθιστώντας τα ακόμη πιο επικίνδυνα. Αξιοσημείωτο είναι πως η παραγωγή όζοντος σχετίζεται με παραγωγή δευτερογενών σωματιδίων. (Μπάτσιος, 2014)

### 2.1.2 Σύσταση

Η **χημική σύσταση** των PM10 διαφοροποιείται ανάλογα με την πηγή και την αλληλεπίδραση των σωματιδίων επηρεάζοντας το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα. Από τη χημική τους σύσταση εξαρτάται η ικανότητα διάβρωσης και η τοξικότητα που τα χαρακτηρίζει, καθώς και η αντιδραστικότητά τους στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια μπορεί να βρίσκονται σε στερεή αέρια ή υγρή φάση με την πυκνότητα τους να ποικίλει. Η χημική τους σύσταση δύναται να είναι οργανικής ή ανόργανης μορφής αναλόγως με την πηγή προέλευσής τους και τον τρόπο σχηματισμού τους.

Τα ανόργανα σωματίδια τα συναντάμε υπό μορφή οξειδίων, αλάτων, μετάλλων, θειούχων και αζωτούχων ενώσεων, σωματιδιακής μορφής άνθρακα, ιπτάμενες τέφρες, ίνες αμιάντου κα. Τα οργανικά σωματίδια αποτελούνται συνήθως από υδρογονάνθρακες, είτε πολυκυκλικούς αρωματικούς, είτε αλειφατικούς υδρογονάνθρακες, βενζαλδεΐδες ή κανονικά αλκάνια.

Η τοξικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων PM είναι συνάρτηση της χημικής σύστασης, της περιεκτικότητας σε τοξικές μορφές και του μεγέθους τους. Για παράδειγμα, τα θειικά σωματίδια εμποδίζουν τους πνεύμονες να αποβάλουν σωματίδια με την εκπνοή. Η καταλυτική δράση ορισμένων μετάλλων σε αντιδράσεις σχηματισμού ριζών υδροξυλίου OH<sup>-</sup> αποτελεί παράγοντα τοξικότητας λόγω της αρνητικής επίδρασης τους στους ιστούς. Ακόμη, σωματίδια αρωματικών υδρογονανθράκων PAHs, κατέχουν καρκινογόνο και μεταλλαξιογόνο δράση. Επίσης, η εμφάνιση μίγματος διαφορετικών ενώσεων στα σωματίδια επιφέρει συνεργιστική δράση των τοξικών μηχανισμών. (Μπάτσιος, 2014)

### 2.1.3 Μέγεθος

Ως προς το **μέγεθός** τους τα αιωρούμενα σωματίδια κατατάσσονται επίσης σε κατηγορίες. Το μέγεθος σχετίζεται με ιδιότητες, όπως η σκέδαση που προκαλείται στο φως, η ταχύτητα εναπόθεσης, η αεροδυναμική συμπεριφορά, η ηλεκτρική ευκινησία των σωματιδίων κα. Το μέγεθός τους μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, διότι κρίνει πρωτίστως το βαθμό επίπτωσης που

επιφέρουν στην υγεία. Το μέγεθος καθορίζει τον τύπο της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε μία βιομηχανική μονάδα για τον περιορισμό τους, την ορατότητα που επικρατεί αλλά και τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα.

Λόγω της τεράστιας ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τα αιωρούμενα σωματίδια, είναι δύσκολος ο προσδιορισμός τους σε κατηγορίες ως προς το μέγεθος. Για το λόγο αυτό, σαν κριτήριο κατάταξής τους σε κλίμακα μεγέθους χρησιμοποιείται η ισοδύναμη διάμετρος. Η οποία ορίζεται ως η διάμετρος σφαίρας πυκνότητας  $1\text{g/cm}^3$  για σωματίδια σφαιρικής μορφής. Για μη σφαιρικά σωματίδια σαν ισοδύναμη διάμετρο εννοούμε τη νοητή γραμμή που διαιρεί σε δύο ίσα μέρη το σώμα. (Μπεγλερές, 2010).

Με βάση τον Πίνακα 1, διακρίνεται η διεισδυτική ικανότητα των αιωρούμενων σωματιδίων ως προς το μέγεθός τους και την περιοχή διείσδυσης τους στον οργανισμό.

Μέγεθος σωματιδίων	Περιοχή διείσδυσης
PM>7 $\mu\text{m}$	ρινική κοιλότητα
3,5- 7 $\mu\text{m}$	τραχεία, πρωτεύοντες βρόγχοι πνεύμονα
2-3,5 $\mu\text{m}$	δευτερεύοντες βρόγχοι πνεύμονα
1,1-2 $\mu\text{m}$	τερματικοί βρόγχοι πνεύμονα
<1,1 $\mu\text{m}$	πνευμονικές κυψελίδες

Πίνακας 1. Διεισδυτική ικανότητα σωματιδίων. Πηγή: Σεμερτζίδου Ε.2014. *Συνεισφορά των οργανικών σωματιδίων στην σωματιδιακή ρύπανση στην περιοχή της Ελλάδος με βάση τα αποτελέσματα φωτοχημικού μοντέλου. ΑΠΘ.*

Τα PM10 ανάλογα με το μέγεθος διακρίνονται σε χονδρόκοκκα (2,5-10) $\mu\text{m}$  και λεπτόκοκκα < 2.5 $\mu\text{m}$ . Τα χονδρόκοκκα μπορούν να βρίσκονται σε αιώρηση 10-20 ώρες και ύστερα καθιζάνουν. Το γεγονός αυτό τους επιτρέπει τη μεταφορά τους σε αποστάσεις 20-30km. Τα λεπτόκοκκα με διάμετρο (0.01-0.05)  $\mu\text{m}$  συνήθως συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα σωματίδια. Τα λεπτόκοκκα (0.05-2.5)  $\mu\text{m}$  διακρίνονται από την ικανότητα να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα έως και 30 ημέρες με δυναμική μεταφοράς τους σε πολύ μεγάλες αποστάσεις ( έως και 1000km).

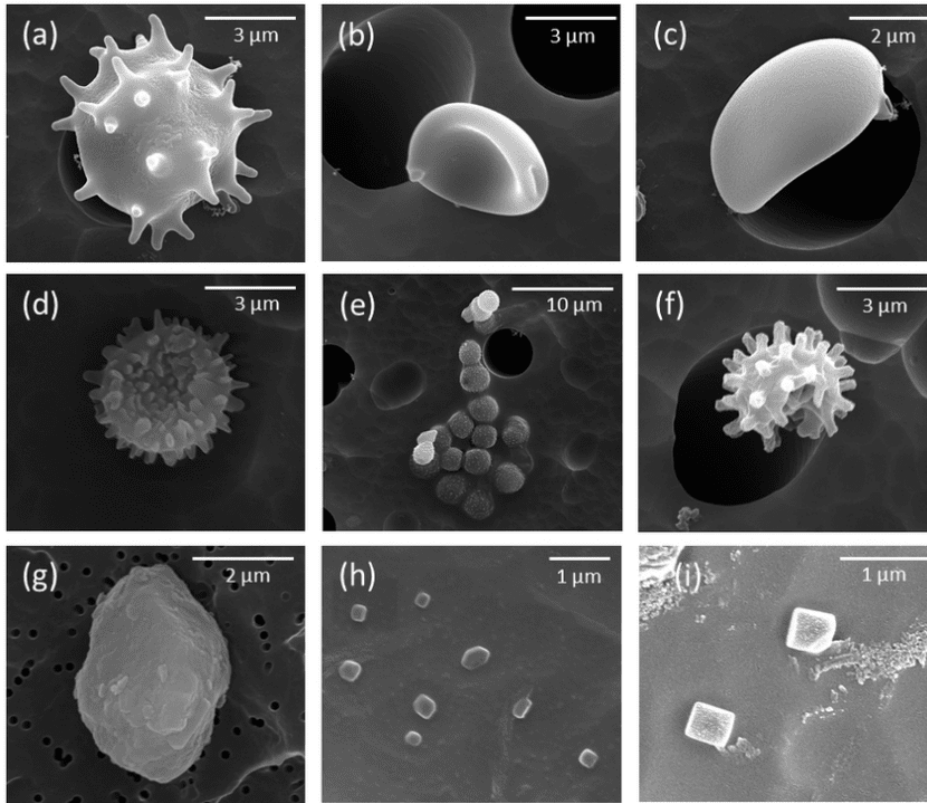
Το σύνολο των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να χωριστεί στις εξής τρεις υποομάδες:

- Τα εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles), τα οποία εισέρχονται στο άνω αναπνευστικό σύστημα και είναι διαμέτρου έως 10μm, τα μεγαλύτερα κατακρατούνται και φιλτράρονται από τη ρινική και στοματική κοιλότητα.
- Τα θωρακικά (thoracic particles), τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο από 7μm και είναι ικανά να διαπεράσουν στο άνω αναπνευστικό, ωστόσο απομακρύνονται με την εκπνοή.
- Τα αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles) με διάμετρο <2,5μm, τα οποία είναι και τα πιο επικίνδυνα ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία, διότι καταφέρνουν να διεισδύσουν και να επικαθήσουν στις πνευμονικές κυψελίδες. (Seinfeld & Pandis, 2006)

#### **2.1.4 Σχήμα**

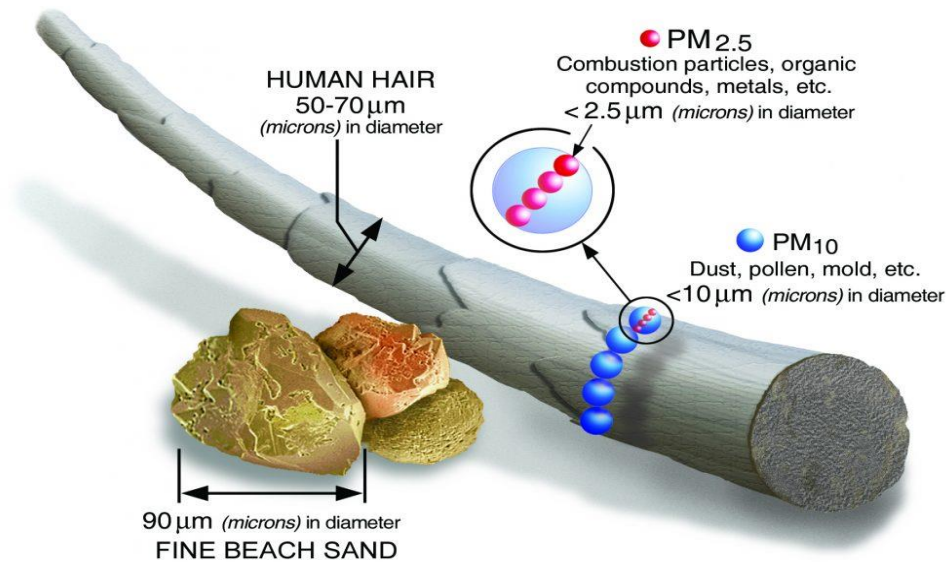
Τα σωματίδια της ατμόσφαιρας διαφέρουν πολύ ως προς το σχήμα και το μέγεθός τους. Το σχήμα τους μπορεί να ποικίλει από σφαιρικής μορφής έως κυλινδρικής ινοειδούς μορφής ή ακόμα περισσότερο περιπλεγμένης και σύνθετης μορφής κρυσταλλικού ή ακανόνιστου σχηματισμού. Το σχήμα των αιωρούμενων σωματιδίων συνδέεται με τον τρόπο δημιουργίας τους, αλλά και το χώρο προέλευσης τους.

Στις παρακάτω εικόνες(1&2) διακρίνουμε διάφορες σχηματικές απεικονίσεις σωματιδιακής μορφής. Η μεγάλη ποικιλομορφία που παρατηρούμε σχετίζεται με την προέλευση και τον τρόπο σχηματισμού όπως προαναφέραμε.



Εικόνα 1.

Παραδείγματα διάφορων ειδών αιωρούμενων σωματιδίων. Πηγή: Yarchev, A., 2015. *Non respiratory functions of the lungs*



Εικόνα 2. Παραδείγματα διαφορετικών μεγεθών αιωρούμενων σωματιδίων.

Πηγή: <http://www.epa.gov/airscience/air-particulate-matter-image.htm>

## 2.2 Πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Το 70-90% των σωματιδίων που εκλύονται προέρχονται από φυσικές πηγές, το 99% των οποίων απαρτίζονται από πρωτογενή σωματίδια. Τα υπόλοιπα προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ωστόσο πηγές ρύπανσης θεωρούμε κατά κύριο λόγο τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, την καύση της βιομάζας και τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα (Λιώρα 2015), τα χονδροκκοκα σωματίδια εκπέμπονται φυσικά ως επακόλουθο διάσπασης μεγαλύτερων σωματιδίων, δηλαδή μέσω συγκρούσεων ή διεργασιών τριβής. Επιπλέον, παράγονται και ανθρωπογενώς με σημαντικότερη πηγή την καύση ορυκτών καυσίμων.



Στον παρακάτω πίνακα 2 διακρίνονται οι συνεισφορές σε αιωρούμενα σωματίδια από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές αντίστοιχα ( $\times 10^6$  t/year).

Φυσικές Πηγές		Ανθρωπογενείς Πηγές	
	100-		10 ως
Σκόνη	500	Εκπομπές	90
	3 ως		150-
Πυρκαγιές	15	Μετατροπή αερίου σε σωματίδιο	240
Ηφαίστεια	25-150	Φωτοχημική μετατροπή αερίου σε σωματίδιο	
Θάλασσα	4-300		
	270-		
Δευτερογενής Σχηματισμός από αέρια	900		
Φωτοχημική μετατροπή Αερίου σε σωματίδιο	75-200		
	480-		185-
Σύνολο	2200	Σύνολο	420

Πίνακας 2. Καρκανία Χρυσάνθη, Διακύμανση του φορτίου των αιωρούμενων σωματιδίων σε Ελληνικές πόλεις, ΑΠΘ, 2014.

### 2.2.1 Φυσικές πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια όπως αναφέραμε, προέρχονται από φυσικές πηγές. Τέτοιες αποτελούν τα υπολείμματα εδάφους, τα αποσθρωμένα πετρώματα, η γλωρίδα, όπως η γύρη και οι σπόροι. Άλλες φυσικές πηγές αποτελούν οι δασικές πυρκαγιές, ο καπνός, οι υδάτινες επιφάνειες όπου μέσω κυματισμού αλλά και πρόσκρουσης των κυμάτων με τα βράχια, καθώς και εξάτμισης προκύπτει σχηματισμός ανόργανων κυρίως σωματιδίων. Σημαντική συνεισφορά στο σχηματισμό σωματιδίων από φυσικές πηγές φέρουν και οι ηφαιστειακές εκρήξεις με συνεισφορά περί τα 10000 Tg/έτος στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι εκρήξεις αυτές, εκλύουν τεράστιες ποσότητες σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, καθώς και η μεταφορά σκόνης του εδάφους μέσω της επίδρασης των ανέμων. Επιπλέον από τις δασικές πυρκαγιές εκλύονται σωματίδια (υδρογονάνθρακες και οξείδια αζώτου, θείου και άνθρακα).

## 2.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές αιωρούμενων σωματιδίων

Κύριες ανθρωπογενείς πηγές αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν η βιομηχανική δραστηριότητα, κυρίως για παραγωγή ενέργειας, η παραγωγή τσιμέντου, γύψου, χυτήρια μεταλλεύματος. Ακόμη, η αποθήκευση και μεταφορά αδρανών υλικών αλλά και διάφορων πρώτων υλών, οι αγροτικές δραστηριότητες και οι κατασκευαστικές εργασίες, η χρήση ορυκτών καυσίμων για θέρμανση, καθώς και οι μετακινήσεις και η καύση βιομάζας. Οι μετακινήσεις οχημάτων σε αστικές περιοχές αποτελούν την κύρια πηγή αιωρούμενων σωματιδίων σε αστικό περιβάλλον. Σωματίδια σχηματίζονται μέσω χημικών αντιδράσεων από τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και του θείου (SO<sub>x</sub>) των καυσαερίων, από τη φθορά των ελαστικών, των φρένων και του οδοστρώματος, καθώς και από την επαναίωση που προκαλούν οι μετακινήσεις σε PM μεγέθους 3-30μm.

Από τις περισσότερες πηγές εκπομπής τους τα σωματίδια φέρουν θερμική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή επιτρέπει την ανύψωση των ρύπων ψηλά στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια τη μεταφορά τους μακριά από την πηγή τους. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί και το βασικό μηχανισμό αραίωσης και διασποράς των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. (Μπεγλερές, 2010).

## 2.3 Χρόνος παραμονής αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Μετά τη διάθεσή τους στο περιβάλλον τα σωματίδια μετακινούνται και αντιδρούν με αργό η γρήγορο ρυθμό με διάφορους παράγοντες διατηρώντας την αρχική τους μορφή ή τροποποιώντας την. Οι διαδρομές που ακολουθούν μπορεί να είναι απλές ή δαιδαλώδεις ανάλογα με τις φυσικοχημικές ιδιότητες που τα διέπουν. Οι βασικοί μηχανισμοί με τους οποίους απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια από την ατμόσφαιρα είναι κυρίως η βαρυτική καθίζηση, ο χημικός μετασχηματισμός και η υγρή και ξηρή εναπόθεση.

Η ταχύτητα κατακρήμνισης των σωματιδίων εκφράζεται από τον νόμο του Stokes και εξαρτάται από τη διάμετρο και τη πυκνότητα του σωματιδίου. Συνεπώς, ο χρόνος παραμονής ενός σώματος στην ατμόσφαιρα είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος της τελικής ταχύτητας κατακρήμνισης

του. Άρα η διάρκεια παραμονής ενός σωματιδίου στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της διαμέτρου του.

Άλλες παράμετροι που διαμορφώνουν τον χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα αποτελούν η κατακόρυφη κατανομή των υδρατμών και άλλων συστατικών του αέρα, διότι επηρεάζουν την αλληλεπίδραση των σωματιδίων με τους υδρατμούς και την απομάκρυνση τους. Ο χρόνος παραμονής αυξάνεται με το ύψος της ατμόσφαιρας. Για μικρά σωματίδια με διάμετρο από  $d=0,01\mu\text{m}-1\mu\text{m}$ , η διάρκεια παραμονής τους είναι 7 ημέρες σε επίπεδο κατώτερης ατμόσφαιρας, ενώ ανέρχεται στα 2 έτη σε επίπεδο στρατόσφαιρας. Σωματίδια που έχουν ανέλθει σε ύψη άνω των 4 km έχουν χρόνους παραμονής μιας εβδομάδας περίπου όπως προαναφέραμε. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια έχουν σχετικά μικρό χρόνο ζωής, διότι λόγω του βάρους εναποτίθενται σχετικά γρήγορα στο έδαφος.

Παρακάτω, στον Πίνακα 3 διακρίνουμε το χρόνο που απαιτείται υπό την επίδραση της βαρυντικής καθίζησης σε σωματίδια ανάλογα με τη διάμετρό τους, προκειμένου να καθιζάνουν κατά ένα χιλιόμετρο.

<b>διάμετρος σωματιδίου</b>	<b>χρόνος καθόδου ανά km</b>
0.02	228 χρόνια
0.1	36 χρόνια
1	328 ημέρες
10	3.6 ημέρες
100	1.1 ημέρες
1000	4 λεπτά

Πίνακας 3.Πηγή:Μήνα Μιχάλης, Μετρήσεις σωματιδιακών κλασμάτων,2011, ΕΜΠ

## 2.4 Γεωγραφική περιγραφή Αττικής

Η περιοχή της Αττικής είναι γενικά μία περιοχή με χαμηλό μέσο υψόμετρο, η οποία περιβάλλεται όμως από ορεινούς όγκους. Το Λεκανοπέδιο Αττικής είναι ο πιο αστικοποιημένος γεωγραφικός χώρος στην Ελλάδα και ένας από τους κυριότερους της Ανατολικής Μεσογείου. Η πυκνή δόμηση κυριαρχεί από τη μια άκρη ως την άλλη, με ελάχιστες ελεύθερες επιφάνειες. Ενδεικτικό της συμφόρησης που επικρατεί, σύμφωνα με το υπουργείο συγκοινωνιών στην Αττική, έχουμε περίπου 7.000.00 ημερήσιες διελεύσεις οχημάτων. Παρόλα αυτά, το υπόβαθρο πάνω στο οποίο συγκεντρώθηκαν όλες αυτές οι ανθρώπινες δραστηριότητες παραμένει ένας φυσικός χώρος.

Το Λεκανοπέδιο Αττικής ορίζεται από τα βουνά που το περιβάλλουν σαν ένα πεταλοειδές τείχος (Αιγάλεω, Ποικίλο Όρος (ΝΔ), Πάρνηθα (ΒΔ), Πεντέλη (ΒΑ), Υμηττός (ΝΑ), ενώ η νότια πλευρά όριό της αποτελεί η ακτογραμμή του Σαρωνικού. Η Αττική έχει μεσογειακό κλίμα, με ήπιους βροχερούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Παρότι αυτή η εναλλαγή μας φαίνεται τόσο φυσική, δεν αντιλαμβανόμαστε ότι αποτελεί μάλλον παγκόσμια εξαίρεση παρά κανόνα. Η εξήγηση γι' αυτήν την ιδιαιτερότητα είναι η θέση ανάμεσα στη βροχερή ζώνη των δυτικών επικρατούντων ανέμων στα βόρεια (δυτική-κεντρική Ευρώπη) και στην υποτροπική ξηρή ζώνη στα νότια (Σαχάρα). Η πρώτη επεκτείνεται το χειμώνα προς τα νότια και η δεύτερη το καλοκαίρι προς τα βόρεια.

Οι επικρατούντες άνεμοι ειδικά στην περιοχή της Αθήνας είναι Βόρειοι/Βορειοανατολικοί. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η διεύθυνση του ανέμου κατέχει εξέχοντα ρόλο ως προς την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αιωρούμενα σωματίδια. Ακριβώς επειδή το νότιο τμήμα είναι ανοικτό (θάλασσα Σαρωνικού), δεν καταγράφονται επεισόδια ρύπανσης με βόρειους ανέμους. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν επικρατούν νότιων διευθύνσεων άνεμοι, οι ρύποι εγκλωβίζονται από τα γύρω όρη καταγράφοντας επεισόδια ρύπανσης.

Η μέση θερμοκρασία Ιουλίου (μετρημένη στο Εθνικό Αστεροσκοπείο) κατά τις δεκαετίες 1960 έως 1990 ήταν 27°C και Ιανουαρίου 9,3°C. Σε μια περιοχή με τέτοιες υψομετρικές διαφορές, είναι μεγάλες οι διαφορές στη μέση θερμοκρασία και υπαρκτό το φαινόμενο των

θερμοκρασιακών αναστροφών που παρατηρούνται. Χάρη στις αναστροφές αυτές καθορίζεται κατά κάποιο τρόπο το ύψος του οριακού στρώματος. Το οριακό στρώμα ανέρχεται περίπου στο 1 km . Απο τις διακυμάνσεις και από το ύψος του εξαρτάται η κατακόρυφη διασπορά των ρύπων. Όσο μεγαλύτερο είναι το στρώμα τόσο καλύτερη αραίωση και διασπορά επιτυγχάνεται. Οι πιο ψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 40°C το καλοκαίρι) καταγράφονται στο κεντροδυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου. Η Αττική έχει ιδιαίτερα ξηρό κλίμα, σε σχέση με άλλες περιοχές της Ελλάδας. Ο μέσος ετήσιος υετός (από βροχή, χιόνι και χαλάζι) στο κέντρο της Αθήνας είναι 401 mm, σημαντικά πιο χαμηλός από τη Δυτική Ελλάδα (π.χ. στον Πύργο Ηλείας: 921 mm). Ακόμα όμως και μέσα στο ίδιο το Λεκανοπέδιο υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από την ξηρότητα του κλίματος. Η υγρασία και η βροχόπτωση συμβάλλουν δυναμικά μέσω υγρής απόθεσης στην απομάκρυνση των ρύπων.

Εκτός από τις ήδη υψηλές θερμοκρασίες από φυσικούς λόγους στο λεκανοπέδιο, προστίθενται ο ανθρώπινος παράγοντας, η πυκνή κυκλοφορία, αλλά και η καταστροφή των γειτονικών δασών, ευνοώντας την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε διάστημα ενός αιώνα έχει καταγραφεί άνοδος 1,5°C. Στην αύξηση αυτή συμμετέχει φυσικά και η γενική κλιματική αλλαγή στον πλανήτη.

## 2.5 Μετεωρολογικοί παράγοντες

Η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλει λόγω εξάρτησης τους από άλλους παράγοντες, όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σχετικά με την κατεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, τις βροχοπτώσεις ή τη μεταφορά σκόνης από την Αφρική. **Οι μετεωρολογικοί παράγοντες** επηρεάζουν τη συγκέντρωση των ρύπων και το επίπεδο ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι σπουδαιότεροι είναι η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου, η ατμοσφαιρική ευστάθεια, η υπάρχουσα ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμη, οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, οι βροχές και τα χιόνια που ιονίζουν την ατμόσφαιρα και ευνοούν την οξείδωση των ρύπων. Ένας παράγοντας που επηρεάζει την ατμοσφαιρική ρύπανση με πιο έμμεσο τρόπο είναι η θερμοκρασία και αυτό διότι επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις. Άλλοι μετεωρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η υγρή και ξηρή

απόθεση, η μεταφορά των ρύπων από τον άνεμο και οι φωτοχημικές αντιδράσεις της ατμόσφαιρας. Η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και η διεύθυνση του ανέμου προσδιορίζει τα επίπεδα ρύπανσης συγκεκριμένων περιοχών προς τις οποίες πνέουν οι άνεμοι.

### **3. Επιπτώσεις αιωρούμενων σωματιδίων**

Τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 αποτελούν έναν από τους πιο επικίνδυνους ατμοσφαιρικούς ρύπους με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία. Όπως προαναφέραμε, τα αιωρούμενα σωματίδια μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και υπόκεινται σε διάφορες επιδράσεις όπως συσσωμάτωση, απορρόφηση, υγροποίηση προσρόφηση, χημική μετατροπή. Στη συνέχεια, είτε κατακρημνίζονται είτε αποτίθενται στην ξηρά και σε υδάτινες επιφάνειες, προκαλώντας διάφορες επιπτώσεις. Τέτοιες επιπτώσεις αποτελούν η δημιουργία όξινης λίμνης, οι όξινες απορροές, η αλλαγή στα θρεπτικά ισοζύγια των ποταμών και των παράκτιων νερών, η μείωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, καθώς και οι καταστροφές ευαίσθητων οικοσυστημάτων και καλλιεργειών. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα που παρατηρείται από την ύπαρξη των συγκεκριμένων ρύπων είναι η επίπτωση που επιφέρουν στην υγεία.

#### **3.1 Επιπτώσεις στην υγεία**

Η γνώση ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί θανάτους δεν είναι νέα, καθώς το 1952 πέθαναν 12 χιλιάδες άνθρωποι λόγω του μεγάλου νέφους του Λονδίνου. Έχει αποδειχθεί πως τα PM είναι υπεύθυνα πρόκλησης άσθματος, καρκινογενέσεων στους πνεύμονες, καρδιαγγειακά επεισόδια και πρόωρους θανάτους. Τα ερεθιστικά αερολύματα επηρεάζουν τα τοιχώματα του αναπνευστικού συστήματος και το νευρικό σύστημα.

Τα PM10, είναι λιγότερο επικίνδυνα σε σχέση με τα PM2,5, δεδομένου ότι τα πρώτα κατακρατούνται από τους αμυντικούς μηχανισμούς του άνω αναπνευστικού συστήματος και αποβάλλονται. Ωστόσο, το 10-60% των εισπνεόμενων PM10 είναι δυνατόν να εναποτεθεί στους

πνεύμονες.(Πουλή Α. 2012). Τα σωματίδια αυτά (PM10) περνούν στο πεπτικό σύστημα διαμέσου της κατάποσης. Με τον τρόπο αυτό, μεταφέρονται τα τοξικά χαρακτηριστικά τους στο ανθρώπινο σώμα προκαλώντας στομαχικά προβλήματα ή διαταραχή του μηχανισμού αυτοκαθαρισμού μας από ξένα σωματίδια. Επιπροσθέτως, η μακροχρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις ρύπανσης αιωρούμενων σωματιδίων προκαλεί σοβαρές παθήσεις. Τέτοιες αποτελούν η μειωμένη πνευμονική λειτουργία, διάφορα αναπνευστικά και χρόνια συμπτώματα και καρδιακές παθήσεις. Σύμφωνα με την (Κανελλοπούλου, 2011) αύξηση της συγκέντρωσης των PM10 κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  συνδέεται με 10% ελάττωση του μέγιστου ρυθμού εκπνοής. Επίσης (σύμφωνα με τον Braga et al 2001), μία αύξηση της μέσης εβδομαδιαίας συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM10 κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  προκαλεί αύξηση της θνησιμότητας από πνευμονία, αναπνευστική ανεπάρκεια και καρδιαγγειακές παθήσεις.

Ακόμη (σύμφωνα με τους Zanobetti & Schwartz 2001), αύξηση της συγκέντρωσης των PM10 κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  επιφέρει αύξηση νοσοκομειακών εισαγωγών λόγω καρδιακών παθήσεων και επιπλέον αύξηση εισαγωγών σε διαβητικούς. Έχει επίσης αποδειχθεί πως η εμφάνιση διαβήτη τύπου I και II συνδέεται με αυξημένες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων. Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν φλεγμονές στους πνεύμονες και μέσω της κυκλοφορίας του αίματος μεταφέρονται σε ιστούς και όργανα που ανταποκρίνονται στην ινσουλίνη. (Choi, H., et al., 2021.)

Εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις που επιφέρουν στην υγεία η εισπνοή και η τοξική δράση των PM10, έχει παρατηρηθεί και το φαινόμενο της εξασθένησης του οργανισμού κατά την απόδοση σε εργασίες που απαιτούν εγρήγορση. Εξασθένηση παρατηρείται και ύστερα από χρόνια έκθεση σε μολυσμένο με αιωρούμενα σωματίδια περιβάλλον. Γεγονός που ευνοεί τη συμύκνωση υγρού στους πνεύμονες, καθώς και την ευαισθησία σε μολύνσεις. Το μέγεθος των σωματιδίων καθορίζει το σημείο του αναπνευστικού συστήματος στο οποίο θα εναποτεθεί το σωματίδιο, καθώς και το χρόνο και τρόπο απομάκρυνσής του από τον οργανισμό.

Η χημική σύσταση του σωματιδίου είναι πολύ σημαντική, διότι καθορίζει το είδος και το βαθμό του προβλήματος που μπορεί να προκαλέσει στον οργανισμό μας. Χημικές μετατροπές που υφίστανται τα αερολύματα έχουν σαν αποτέλεσμα να τα εμπλουτίζουν με ουσίες ικανές να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας.. Τα πολύ μικρά σωματίδια (έως  $2,5\mu\text{m}$ ) δύνανται μέσω εισπνοής να καταλήξουν στο κυκλοφοριακό σύστημα καταστρέφοντας τους μικροφάγους των αρτηριών προκαλώντας θρόμβους ή εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι μικροφάγοι αποτελούν

δομικό συστατικό των αθηρωματικών πλακών στα τοιχώματα της αρτηρίας.(Σαχινίδης, Ζεμπεκάκης, & Κεμετζή).

Τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν φλεγμονή στους πνεύμονες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο από καρδιαγγειακή νόσο. Σύμφωνα με τον Δρ Γκόγκαν Μουτλού, από το Πανεπιστήμιο Northwestern του Σικάγο. Οι πνεύμονες που παθαίνουν φλεγμονή εξαιτίας της ρύπανσης εκκρίνουν ιντερλευκίνη-6, μία ουσία του ανοσοποιητικού συστήματος η οποία έχει αποδειχθεί ότι διευκολύνει τη θρόμβωση του αίματος.

### 3.2 Επιπτώσεις στο κλίμα

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα τα οποία οφείλονται στα αιωρούμενα σωματίδια είναι η **κλιματική διαταραχή** που προκαλούν. Η ικανότητά τους να ανακλούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία χαμηλού μήκους κύματος (υπεριώδη), αλλά και την εξερχόμενη από τη γη υπέρυθη ακτινοβολία καθιστά τα αιωρούμενα σωματίδια παράγοντες κλιματικής αστάθειας. Κατά την ανάκλαση της υπεριώδους ακτινοβολίας δημιουργείται πτώση θερμοκρασίας (ψύχος) από τη παρεμπόδιση της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Κατά την ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας εγκλωβίζεται θερμότητα, η οποία συνεισφέρει στο αυξανόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα φαινόμενο μείζονος σημασίας για τη διατήρηση της βιοκλιματικής ισορροπίας του πλανήτη μας.

Επιπλέον, τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν την ικανότητα να επιδρούν αρνητικά στα νέφη ως πυρήνες συμπύκνωσης προκαλώντας μείωση του μεγέθους σταγονιδίων των νεφών, αλλά και αύξηση του χρόνου ζωής τους (των νεφών).

Επίσης τα θειικά, νιτρικά και υδροχλωρικά αερολύματα προκαλούν μέσω οξείδωσης και επαφής τους με υδρατμούς, όξινες απολήξεις, οι οποίες κατακρημνιζόμενες συνεισφέρουν στο φαινόμενο της όξινης βροχής Το φαινόμενο αυτό, εντάσσεται στο γενικότερο πρόβλημα της οξίνισης των υδάτων και των οικοσυστημάτων . Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως τα σωματίδια επηρεάζουν το κλίμα με δύο τρόπους:

Άμεσα, μέσω της ανάκλασης και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Έμμεσα, λόγω της μεταβολής που επιφέρουν στην διάρκεια και στις ιδιότητες των νεφών.



Ο χειμώνας 2023-2024 (Δεκέμβριος/Ιανουάριος/Φεβρουάριος) στην Χώρα μας χαρακτηρίστηκε ως ο θερμότερος στην ιστορία, αποτελούμενος από μεγάλα διαστήματα με υψηλές θερμοκρασίες πέραν των φυσιολογικών επιπέδων για την εποχή. Επίσης, στην τελευταία δεκαετία έχουν καταγραφεί οι έξι θερμότεροι χειμώνες όλων των εποχών. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία στην Ελλάδα για τα έτη 1960-2024 παρουσιάζεται αυξημένη κατά 1,8°C.

Ο Ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος προειδοποιεί με έκθεση του 2024 πως θα πρέπει να είμαστε έτοιμοι να αντιμετωπίσουμε καταστροφικές συνέπειες προερχόμενες από την κλιματική αλλαγή. Η Ευρωπαϊκή Ήπειρος αποτελεί το "μάτι του κυκλώνα" λόγω της ταχύτερης υπερθέρμανσης από κάθε άλλο σημείο του πλανήτη με τη νότια Ευρώπη να αντιμετωπίζει εντονότερα το πρόβλημα. Η υπερβολική ζέστη, οι πυρκαγιές και η έλλειψη νερού φέρουν επιπτώσεις σε τομείς όπως η γεωργία, η εργασία και η υγεία.

### **3.3 Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα**

Σοβαρές είναι και οι επιπτώσεις στη χλωρίδα από τα αιωρούμενα σωματίδια. Εκ πρώτης παρατηρείται αλλαγή των φυτικών οργανισμών που προκαλείται είτε λόγω κλιματολογικών αλλαγών, είτε αλλαγής της θρεπτικής ισορροπίας ή της υγρασίας. Χαρακτηριστική είναι η ασθενική όψη των φύλλων και η αραίωση του φυλλώματος των φυτών ή ακόμη και η νέκρωσή τους, καθώς και οι μεταβολές των βιοχημικών κύκλων και της αναπαραγωγικής διαδικασίας τους. Τα παραπάνω συντελούν στη ζημιά και την οικονομική απώλεια που απορρέει από φτωχές καλλιέργειες με χαμηλές εμπορικές απολαβές. Τα αιωρούμενα σωματίδια εισέρχονται στα φυτά μέσω αναπνοής (φωτοσύνθεση-διαπνοή) ή επαφής, με διάχυση από και προς το κυτταρικό σύστημα του φυτού, καθώς και με απορρόφηση τους από το ριζικό σύστημα των φυτών.

Συνεπώς, οι επιπτώσεις ποικίλουν από απώλεια του χρώματος των φύλλων, νέκρωση των ιστών και πρόωρη γήρανση και μειωμένη ανάπτυξη τους έως και χρόνιες τοξικές επιδράσεις που οδηγούν σε φαινόμενα μείωσης των δασών και ερημοποίησης της γης.

### 3.4 Επιπτώσεις στην ορατότητα

Η μείωση της ορατότητας συνιστά ένα φαινόμενο που επέρχεται από την απορρόφηση και σκέδαση του φωτός από την ύπαρξη των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσον αφορά τις συνέπειες αυτών είναι ότι απορροφούν και διαχέουν την ορατή ακτινοβολία περιορίζοντας την ορατότητα της ατμόσφαιρας και συμβάλλοντας αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρόκειται για μια κατάσταση λόγω συσσώρευσης αέριων ρύπων. Στο φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται φωτοχημικό νέφος, συμμετέχουν και διάφορα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το όζον. Αυτοί οι ρύποι προκαλούν σημαντικά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους που ζουν στις πόλεις και τους εισπνέουν καθημερινά.

Σωματιδιακή συγκέντρωση της τάξεως των  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  συνεπάγεται μέγιστη ορατότητα περίπου 8km.

Στον παρακάτω πίνακα 4 βλέπουμε τη μείωση που επέρχεται στην ορατότητα με την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων.

Συγκέντρωση ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ορατότητα (Km)
30	40
100	12
200	6
700	1,2

Πίνακας 4.Πηγή: Μήνα Μιχάλης, 2011. Μετρήσεις σωματιδιακών κλασμάτων, ΕΜΠ.

### 3.5 Λοιπές επιπτώσεις

Ένα ακόμη πρόβλημα που τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ενεργό ρόλο είναι αυτό των αλλοιώσεων που προκαλούν στις δομές και τις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή. Στις μεταλλικές κατασκευές προκαλούνται φθορές από φαινόμενα οξειδωσης. Επιπτώσεις παρατηρούνται επίσης, σε επιφάνειες και πετρώματα με ασβέστιο, όπως τα μνημεία αλλά και διάφορες δομές, έπειτα από επικάθιση τους σ' αυτές ή μέσω γυψοποίησης του ασβεστίου ή μέσω του μηχανισμού της διάβρωσης. Ο συνδυασμός των αιωρούμενων σωματιδίων με την ηλιακή

ακτινοβολία, την υγρασία και την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας αλλά και τους ανέμους δημιουργεί συνθήκες διάβρωσης. Επίσης, οι φθορές στις επιφάνειες και η μείωση της λάμψης των αντικειμένων αποτελούν ένα ακόμη πρόβλημα. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αυξημένη οικονομική επιβάρυνση που απαιτείται για τη συντήρηση των δομών (πλύσιμο, καθάρισμα, βάψιμο, κα), καθώς επίσης και η μείωση της ωφέλιμης χρήσης του αντικειμένου. Από πολιτιστική άποψη είναι σημαντική η φθορά των μνημείων λόγω της έκπλυσης και αντικατάστασης του ανθρακασβέστιου ( $\text{CaCO}_3$ ) των μνημείων προς θειικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ) αποδομώντας με τον τρόπο αυτό τη σύνθεσή τους.

#### **4. Νομοθεσία Ευρωπαϊκή - Ελληνική**

Τα νομοθετημένα όρια για τα αιωρούμενα σωματίδια στην Ελλάδα απορρέουν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αποτελούν τους στόχους που έχουν τεθεί, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ανθρώπινη υγεία αλλά και η προστασία των οικοσυστημάτων.

Για τους παραπάνω λόγους έχει θεσπιστεί η οδηγία 2008/50/EK για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 1422/549/Ε103/2011). Στη συνέχεια, εκδόθηκε η οδηγία 2015/1480/EK, η οποία τροποποίησε ορισμένα παραρτήματα της οδηγίας 2008/50/EK σχετικά με τους κανόνες και τις μεθόδους αναφοράς και επικύρωσης των δεδομένων και την τοποθεσία των σημείων δειγματοληψίας περί της εκτίμησης της ποιότητας του αέρα.

Η ΚΥΑ 11824/1993, Β'369 έχει θεμελιώσει σχέδιο δράσης και αντιμετώπισης σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή σε περίπτωση προσέγγισης των ορίων έκτακτης ανάγκης (συναγερμού). Η παραπάνω ΚΥΑ έχει τροποποιηθεί από την οδηγία 2008/50/EK (ΚΥΑ ΗΠ 1422/549/Ε103/2011 Β'488 θεσπίζοντας νέες οριακές τιμές. Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία δεν διαθέτει όρια ενημέρωσης και συναγερμού του πληθυσμού για τα PM10. Για το λόγο αυτό, εκδόθηκε η ΚΥΑ 70601/2013 Β'3272 προκειμένου να θεσμοθετηθούν επίπεδα συγκεντρώσεων PM10, να οριστούν μέτρα ενημέρωσης και προστασίας του πληθυσμού, καθώς και μέτρα μείωσης εκπομπών PM10.

Παρακάτω (πίνακας 5.) διακρίνουμε τα όρια ενημέρωσης και συναγερμού βάσει επικινδυνότητας σε 24<sup>h</sup> βάση.

σωμ/δια	χρόνος	Όριο	κατηγορία-πράξεις
PM10	24h	51-75μg/m <sup>3</sup>	ευπαθείς ομάδες.
		76-100 μg/m <sup>3</sup>	γενικό σύνολο πληθυσμού, ευπαθείς ομάδες
		101-150 μg/m <sup>3</sup>	γενικό σύνολο πληθυσμού ,ευπαθείς ομάδες μέτρα μείωσης εκπομπών PM

Πίνακας 5.ΦΕΚ 3272/Β/23.

Η Ελληνική νομοθεσία σε εναρμόνιση με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα ορίζει για τη μέτρηση των PM10 αλλά και ως μέθοδο αναφοράς για τη δειγματοληψία, τη διαδικασία από το πρότυπο EN12341 2014 ατμοσφαιρικός αέρας-πρότυπη σταθμική μέθοδος προσδιορισμού μάζας PM10-PM2,5.

Επίσης, ορίζονται ως οριακή τιμή ανά ημέρα τα 50μg/m<sup>3</sup> τα οποία δεν πρέπει να υπερβαίνονται πάνω από 35 φορές ανά χρόνο και τα 40 μg/m<sup>3</sup> ως οριακή τιμή ανά έτος. Απαιτούνται δεδομένα κατά 75% των ωριαίων μέσων όρων (18 μετρήσεις ανά ημέρα). Επίσης, απαιτούνται δεδομένα κατά 90% των ωριαίων τιμών της ημέρας κατά τη διάρκεια του έτους. Στην οδηγία καθορίζονται οι προδιαγραφές του αέρα εντός οικισμού για PM10 και ορίζονται αυστηρά μέτρα για ύπαρξη αρκετών σταθμών μέτρησης και λήψη μετρήσεων.

	<b>Μ.Ο. 24 ωρών PM10</b>	<b>Μ.Ο. Ετήσιος PM10</b>
<b>Ανώτερο όριο</b>	70% της οριακής τιμής 35μg/m <sup>3</sup> (*)	70% της οριακής τιμής 28μg/m <sup>3</sup>
<b>Κατώτερο όριο</b>	50% της οριακής τιμής 25μg/m <sup>3</sup>	50% της οριακής τιμής 20μg/m <sup>3</sup>

Πίνακας 6. Οδηγία 2008/50/ΕΚ. Καθορισμός απαιτήσεων για εκτίμηση συγκέντρωσης PM10 εντός οικισμού.

(\*) δεν επιτρέπεται υπέρβαση περισσότερο από 35 φορές ανά χρόνο.

Επιπλέον, στην οδηγία 2008/50 υπογραμμίζεται πως οι φυσικές πηγές εκπομπής PM10 συμβάλλουν με τρόπο που δεν μπορεί να ελεγχθεί. Γι' αυτό το λόγο, η μεταφορά σκόνης δύναται να μην συνυπολογιστεί στις εκτιμήσεις των ρύπων.

#### **4.1 Κοινοτικοί Στόχοι**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι αφοσιωμένη στην προσέγγιση της για διάσωση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας με τη νέα στρατηγική της για τη βιοποικιλότητα. Το σχέδιο δράσης της Ένωσης για την κυκλική οικονομία και άλλες μελλοντικές πρωτοβουλίες οδηγεί στη δημιουργία μιας πιο ανθεκτικής και υγιούς Ευρώπης για τους πολίτες της Ένωσης και όχι μόνο.

Η Ευρωπαϊκή πράσινη συμφωνία δεσμεύεται για:

- μηδενικές καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2050.
- οικονομική ανάπτυξη που δεν θα εξαρτάται από τη χρήση πόρων.
- απανθρακοποίηση της βιομηχανίας με στροφή σε καθαρές μορφές ενέργειας, όπως αιολικές και υδροηλεκτρικές.

-αύξηση της εγχώριας παραγωγής σε τομείς ανάπτυξης όπως συσσωρευτές, ηλεκτρικά οχήματα, αντλίες θερμότητας, ηλιακές κυψέλες και άλλα.

- προστασία της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημάτων.

- μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ρύπανσης των υδάτων και του εδάφους.

- στροφή προς την κυκλική οικονομία.

- βελτίωση της διαχείρισης των αποβλήτων.

- διασφάλιση της βιωσιμότητας των τομέων της γαλαζίας οικονομίας και της αλιείας μας.

Η χάραξη των νέων στόχων της Ένωσης προσανατολίζεται σε μείωση του διοξειδίου του άνθρακα και των εκπομπών ως το 2040 κατά 90% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Το φιλόδοξο αυτό πλάνο μπορεί να υλοποιηθεί μέσω επενδύσεων σε νέες ενεργειακές τεχνολογίες. Πρωτίστως όμως, απαιτείται υιοθέτηση ενός νέου τρόπου ζωής από τους πολίτες με εφαρμογή κυκλικής οικονομίας, μείωση μετακινήσεων ή αύξηση χρήσης μέσων μαζικής μεταφοράς. Επιπλέον, είναι αναγκαίες διατροφικές αλλαγές, άνοδος του πράσινου Υδρογόνου και των εναλλακτικών καυσίμων όπως τα βιοκαύσιμα με χαμηλότερο βιοαποτύπωμα.

#### **4.2 Οριακές τιμές Αιωρούμενων σωματιδίων PM10**

Το υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής εγκατέστησε το 2001 το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (ΕΔΠΑΡ), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία και παρακολούθηση των δεδομένων της ποιότητας του αέρα.

Στα πλαίσια της αποτίμησης της ποιότητας του αέρα καθιερώθηκε από την Αμερικανική υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος (EPA) ο εθνικός δείκτης πρότυπων τιμών αέριων ρύπων Pollutant Standards Index. Ο PSI κατηγοριοποιεί σε κλίμακα 1-500 την ποιότητα του αέρα για SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO και PM όπως διακρίνουμε παρακάτω(Πίνακας 7.)

τιμή PSI	0-50	51-100	101-200	201-300	301 +
κατηγορία ποιότητας	καλή	μέτρια	Ανθυγιεινή	πολύ ανθυγιεινή	επικίνδυνη
Επιπτώσεις	καμία	μερικές ή καμία	ελαφρά επιδείνωση συμπτωμάτων σε ευάλωτες ομάδες	προειδοποίηση για κατάσταση έκτακτης ανάγκης σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων	πρώιμη εμφάνιση ασθενειών, σημαντική αύξηση επιδείνωσης συμπτωμάτων και μείωση της υγείας

Πίνακας 7. Πηγή US EPA

Η EPA αντικατέστησε τον PSI με τον AQI (air quality index), ο οποίος αποτελεί έναν ημερήσιο δείκτη ποιότητας του αέρα για ρύπους SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO και PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>. Σύμφωνα με τον πίνακα 8, η κλίμακα του AQI είναι από 0-500.

Τιμές AQI έως 100 χαρακτηρίζουν ικανοποιητική την ποιότητα του αέρα ενώ μεγαλύτερες την χαρακτηρίζουν ανθυγιεινή.

τιμές δείκτη AQI	επίπεδο ανησυχίας για την υγεία	χρωματική κλίμακα
0-50	καλή	πράσινο
51-100	μέτρια	κίτρινο
101-150	ανθυγιεινή για ευπαθείς ομάδες	πορτοκαλί
151-200	ανθυγιεινή	κόκκινο
201-300	πολύ ανθυγιεινή	μωβ
301-500	επικίνδυνη	μαρόν

Πίνακας 8. Πηγή US EPA.

Όπου:

Καλή: δεν συντρέχει κίνδυνος για την υγεία.

Μέτρια: ανεκτή ποιότητα, μέριμνα για ορισμένες ομάδες.

Ανθυγιεινή για ευπαθείς ομάδες: δεν υπάρχει κίνδυνος για υγιή άτομα, επηρεάζονται οι ευαίσθητες ομάδες.

Ανθυγιεινή: επηρεάζονται και οι υγιείς.

Πολύ ανθυγιεινή: σοβαρά προβλήματα σε όλους τους εκτιθέμενους.

Επικίνδυνη: σοβαρά προβλήματα σε όλη την ανθρωπότητα.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος θέσπισε τον Ευρωπαϊκό Δείκτη Ποιότητας Αέρα (EAQI) προκειμένου να εξάγονται κοινά συμπεράσματα που να συνδέουν την κατάσταση της ποιότητας του αέρα σε διαφορετικές κοινοτικές περιοχές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ανέπτυξε τρεις διαφορετικούς δείκτες, τον ωριαίο, τον ημερήσιο και τον ετήσιο. Οι δείκτες αυτοί, μετατρέπονται σε μία κλίμακα, τον κοινό δείκτη ποιότητας του αέρα CAQI διαμορφώνοντας εικόνα της κατάστασης της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη. Ο CAQI έχει κλίμακα από 0-100 επιδεικνύοντας καλή και κακή ποιότητα αέρα αντίστοιχα. Ο CAQI υπολογίζει συγκεντρώσεις ρύπων κοντά σε δρόμους κυκλοφορίας (roadside index) και μακριά (background index) όπως διακρίνεται στους πίνακες 9 & 10. Ο CAQI περιλαμβάνει σαν βασικά στοιχεία για τον κυκλοφοριακό δείκτη το NO<sub>2</sub> και τα PM<sub>10</sub> ενώ σαν δείκτη υποβάθρου περιλαμβάνει το O<sub>3</sub>. Διαθέσιμα δεδομένα υπάρχουν και για συμπληρωματικούς ρύπους CO, SO<sub>2</sub>,PM<sub>2,5</sub>.

κατηγορία CAQI	Πλέγμα	roadside index					
		Βασικός ρύπος			συμπληρωματικός ρύπος		
		NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub> (h)	PM <sub>10</sub> (24h)	PM <sub>2,5</sub> (h)	PM <sub>2,5</sub> (24h)	CO
Πολύ υψηλή	>100	>400	>180	>100	>110	>60	>20000
Υψηλή	100	400	180	100	110	60	20000
	75	200	90	50	55	30	10000
Μεσαία	75	200	90	50	55	30	10000
	50	100	50	30	30	20	7500
Χαμηλή	50	100	50	30	30	20	7500
	25	50	25	15	15	10	5000
Πολύ χαμηλή	25	50	25	15	15	10	5000
	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 9. Πηγή CITEAIR. Πλέγμα υπολογισμού κοινού δείκτη ποιότητας αέρα (CAQI).



κατηγορία CAQI	Πλέγμα	background index							
		Βασικός ρύπος			Συμπληρωματικός ρύπος				
		NO 2	PM10(h)	PM10(24h)	O3	PM2,5(h)	PM2,5(2 4h)	CO	SO 2
Πολύ υψηλή	>100	>40 0	>180	>100	>240	>110	>60	>2000 0	>50 0
Υψηλή	100	400	180	100	240	110	60	20000	500
	75	200	90	50	180	55	30	10000	350
Μεσαία	75	200	90	50	180	55	30	10000	350
	50	100	50	30	120	30	20	7500	100
Χαμηλή	50	100	50	30	120	30	20	7500	100
	25	50	25	15	60	15	10	5000	50
Πολύ χαμηλή	25	50	25	15	60	15	10	500	50
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 10. Πηγή CITEAIR. Πλέγμα υπολογισμού κοινού δείκτη ποιότητας αέρα (CAQI).

#### 4.3 Σταθμοί μέτρησης Ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η μέτρηση και καταγραφή δεδομένων για τα PM10 τόσο σε Πανελλαδικό επίπεδο όσο και στην Αττική που είναι και το αντικείμενο μελέτης, πραγματοποιείται από δίκτυο σταθμών μέτρησης. Οι σταθμοί αυτοί ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση και τον περιβάλλοντα χώρο διακρίνονται σε:

1. Αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας και υποβάθρου, οι οποίοι βρίσκονται εντός αστικών κέντρων σε απόσταση δέκα μέτρων από τις πηγές εκπομπής των ρύπων ή σε λίγο πιο απομακρυσμένη θέση, έτσι ώστε να παρέχεται μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συγκεκριμένη αστική περιοχή.
2. Περιαστικούς σταθμούς, οι οποίοι ναι μεν βρίσκονται κοντά σε αστική περιοχή, βρίσκονται όμως σε μεγαλύτερη απόσταση από τις πηγές εκπομπής των ατμοσφαιρικών ρύπων, έτσι ώστε να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την μεταφορά των ρύπων σε απόσταση.

3. Βιομηχανικούς σταθμούς μέτρησης, οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου από βιομηχανική ζώνη, ώστε να καταγράφουν δεδομένα σχετικά με ρύπους βιομηχανικών εκπομπών.

Στον παρακάτω πίνακα 11 διακρίνουμε το δίκτυο σταθμών μέτρησης και καταγραφής δεδομένων για αιωρούμενα σωματίδια μεγέθους PM10 στην περιοχή της Αττικής.

Όνομα	Υψόμετρο	Τύπος
Αριστοτέλους(ARI)	75	Αστικός-κυκλοφορίας
Λιόσια(LIO)	165	Περιαστικός-Υποβάθρου
Λυκόβρυση(LYK)	234	Περιαστικός-Υποβάθρου
Μαρούσι(MAR)	170	Αστικός-Υποβάθρου
Νεα Σμύρνη(SMY)	50	Αστικός-Υποβάθρου
Πειραιάς-1(PIR)	4	Αστικός-κυκλοφορίας
Περιστέρι(PER)	80	Αστικός-Υποβάθρου
Αγ. Παρασκευή(AGP)	290	Περιαστικός-Υποβάθρου
Ελευσίνα(ELE)	20	Περιαστικός-Βιομηχανικός
Θρακομακεδόνες(THR)	550	Περιαστικός-Υποβάθρου
Κορωπί(KOR)	140	Περιαστικός-Υποβάθρου
Ζωγράφου(PAN)	245	Υποβάθρου
Γουδί(GOU)	155	Αστικός-κυκλοφορίας
Οινόφυτα(OIN)	100	Περιαστικός-Βιομηχανικός

Πίνακας 11. ΥΠΕΚΑ. Δίκτυο σταθμών μέτρησης δεδομένων Αττικής PM10 .

#### 4.4 Μέθοδος Μέτρησης

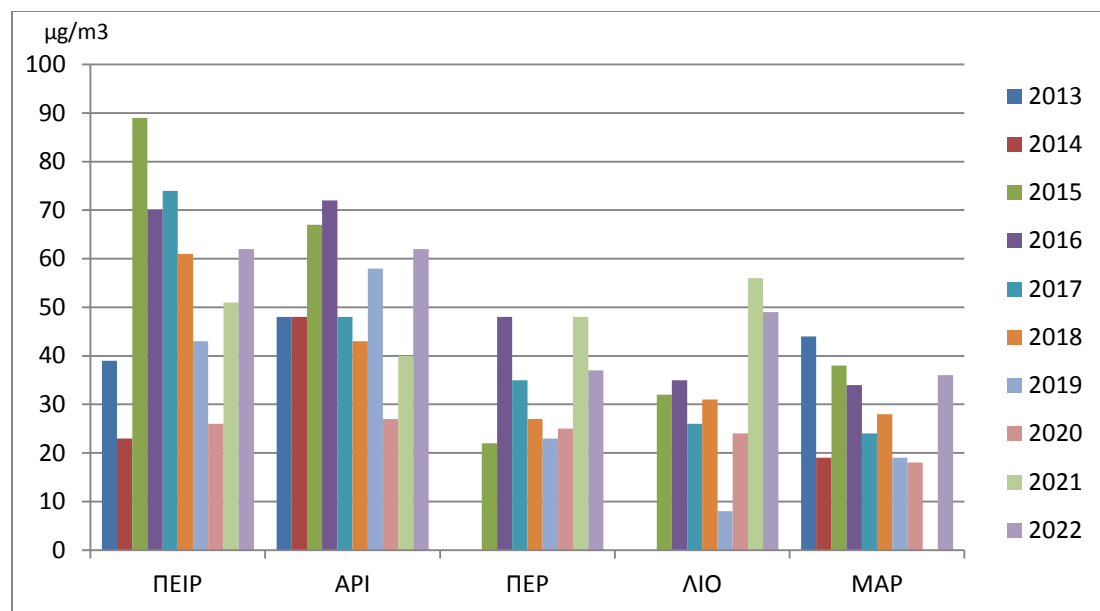
Για τη συλλογή δεδομένων PM10 χρησιμοποιείται η μέθοδος μέτρησης β-ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μέθοδο συνεχούς και αυτόματης καταγραφής μετρήσεων αιωρούμενων σωματιδίων. Σύμφωνα με τον νόμο Beer-Lambert-Bouguer, το προς συλλογή δείγμα αέρα διέρχεται από ανάλογο φίλτρο για τα PM10, το οποίο βρίσκεται εντός πεδίου β-ακτινοβολίας άνθρακα C-14 ή Crypto-85 ή προμήθειου-147. Μεταξύ πηγής ακτινοβολίας και ανιχνευτή, τα σωματίδια απορροφούν ακτινοβολία. Από τη διαφορά δέσμης της ακτινοβολίας μεταξύ αρχικής πηγής και τελικού ανιχνευτή υπολογίζουμε τη μάζα των σωματιδίων στο φίλτρο.

Σε κάθε λεπτό του χρόνου συλλέγονται δεδομένα, τα οποία επεξεργάζονται από το σύστημα μικροεπεξεργασίας των αυτόματων μετρητών που υπάρχει εγκατεστημένο στους εκάστοτε σταθμούς μέτρησης. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται πληροφορίες για ωριαίες, ημερήσιες και ετήσιες τιμές PM10.

#### 5. Μελέτη Αιωρούμενων Σωματιδίων PM10 στην περιοχή της Αττικής

Βάσει της ετήσιας έκθεσης του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας (ΥΠΕΝ) για το 2022, αποτελεί γεγονός πλέον πως τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 δεν παρουσιάζουν υπέρβαση της ετήσιας οριακής τιμής. Παρουσιάζεται όμως υπέρβαση της ημερήσιας οριακής τιμής σε δυο σταθμούς της Αθήνας.

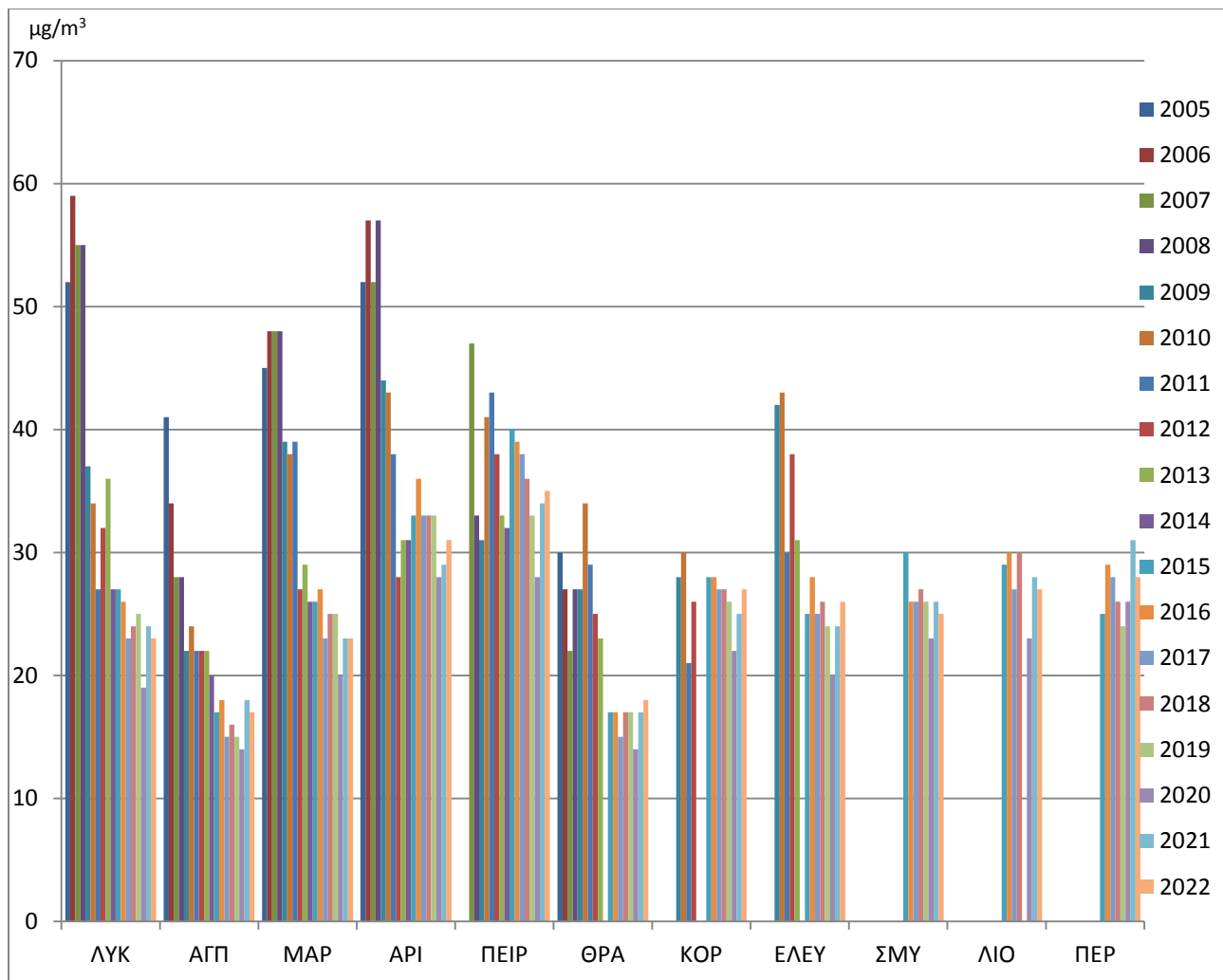
Στο παρακάτω διάγραμμα 1, αποτυπώνεται η υπέρβαση της μέσης ημερήσιας τιμής PM10 σε αριθμό ημερών στους σταθμούς Πειραιά, Αριστοτέλους, Περιστερί, Λιόσια και Μαρούσι την τελευταία δεκαετία. Από το διάγραμμα διαφαίνεται πως οι αστικοί σταθμοί (Πειραιάς και Αριστοτέλους) έχουν περισσότερες ημέρες με υπέρβαση της μέσης τιμής των  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε σχέση με τους περιφερειακούς. Σε όλους τους σταθμούς υπάρχει διαχρονική πτώση των υπερβάσεων με κάποιες διακυμάνσεις που θα σχολιάσουμε στην επόμενη ενότητα που μπορεί να οφείλεται.



Διάγραμμα 1. Αριθμός ημερών με υπέρβαση της μέσης ημερήσιας τιμής (>50 µg/m<sup>3</sup>). Πηγή ΥΠΕΚΑ.

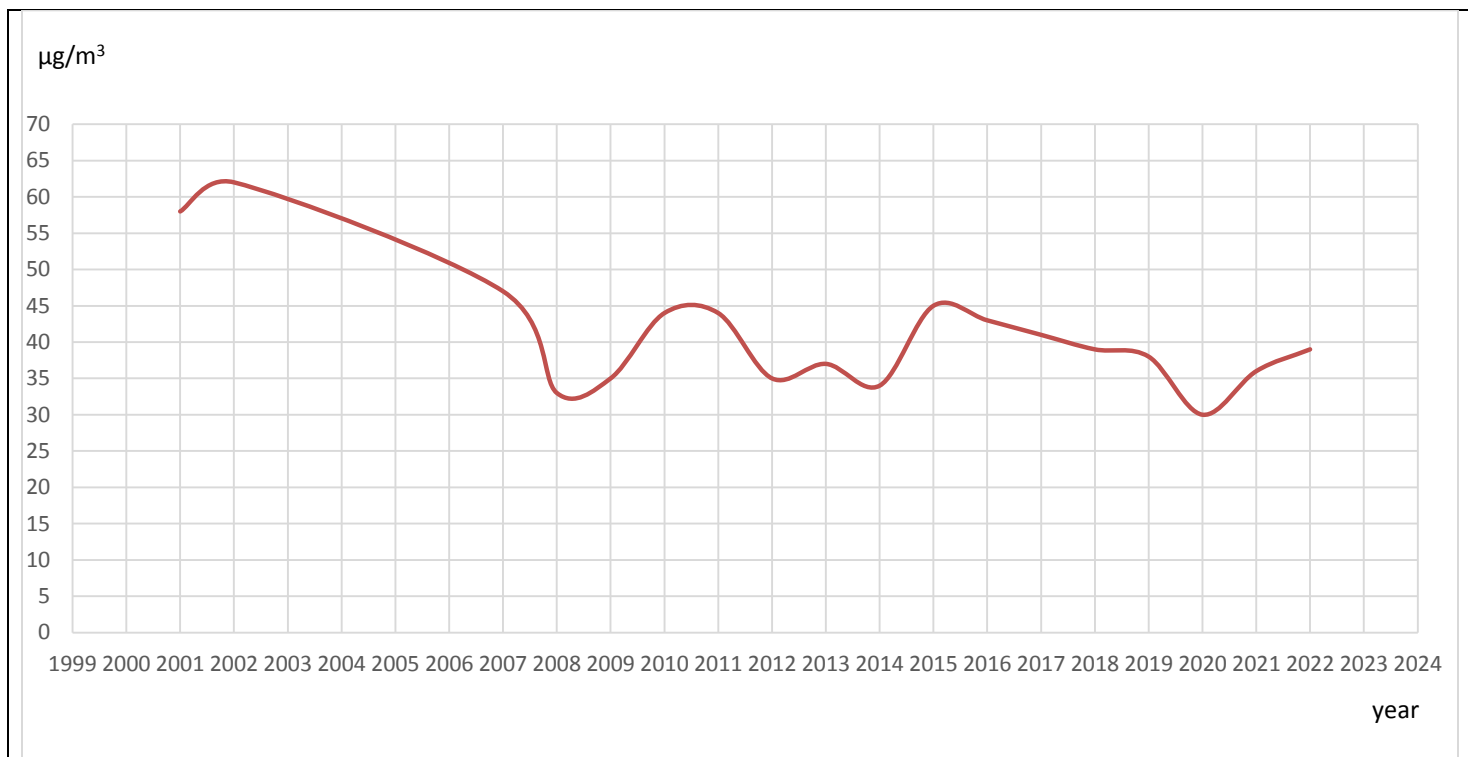
Η εκτίμηση συνεισφοράς μετρούμενων ρύπων PM από φυσικές πηγές (Σαχάρα), λειτουργεί από το 2011, σταθμός μέτρησης και καταγραφής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης. Ενώ από το 2018 για τον προσδιορισμό της φυσικής συνεισφοράς PM10 από ξηρές περιοχές, λειτουργεί στο εθνικό κέντρο ερευνών Δημόκριτος, αυτόματος αναλυτής PM10. Η συνεισφορά από μεταφορά σκόνης δημιουργεί επεισόδια ρύπανσης και μεταβολές στην γραμμικότητα των ρύπων.

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 2 παραθέτοντας οι διάμεσες τιμές σε εικοσιτετράωρη βάση των αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Ξεκινώντας, για όσους σταθμούς υπάρχουν δεδομένα, από το έτος 2005. Οι σταθμοί Λυκόβρυση, Μαρούσι, Αριστοτέλους, Περιστερί και Ελευσίνα διατηρούσαν υψηλές τιμές αρκετά περισσότερο από 40µg/m<sup>3</sup> έως και το έτος 2008. Η γενική συμμόρφωση που ακολούθησε το 2008 οφείλεται στην έκδοση και εφαρμογή της νέας κοινοτικής οδηγίας για την ποιότητα του αέρα.

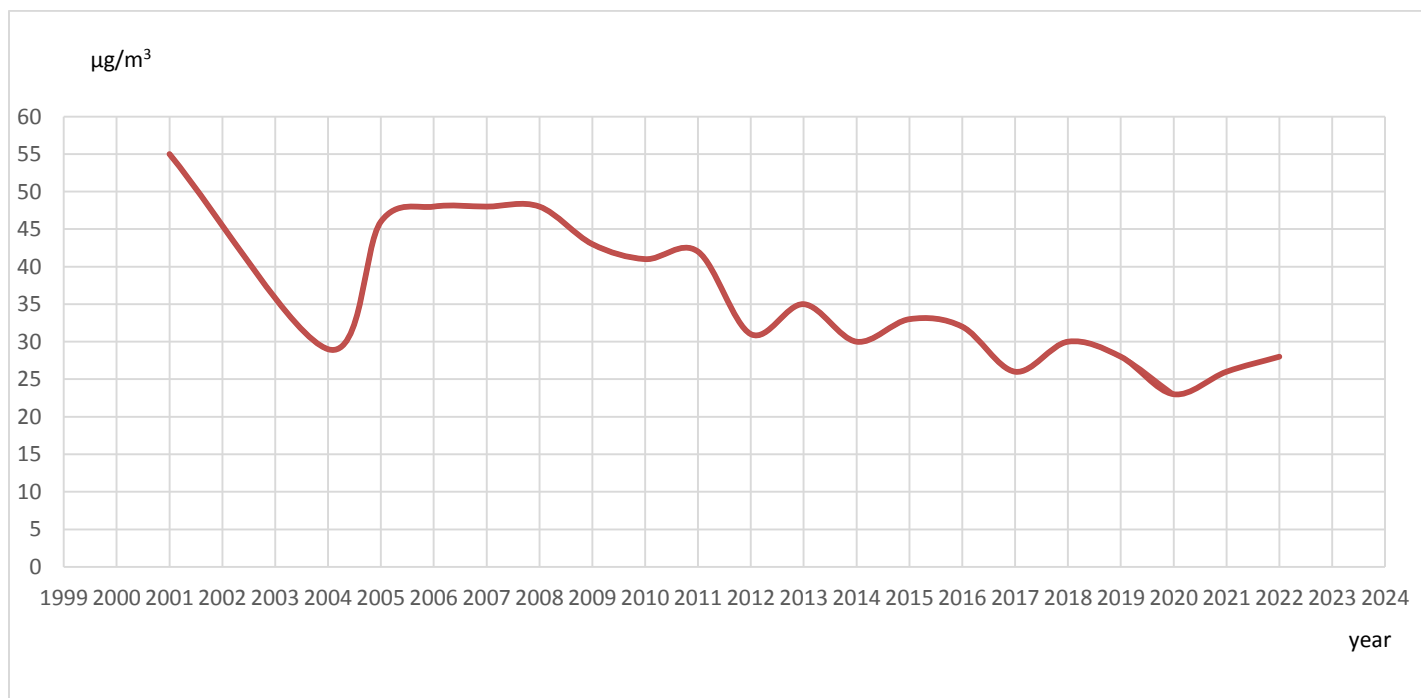


Διάγραμμα 2. Διάμεσες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (24<sub>ωρης</sub> βάση). Πηγή ΥΠΕΚΑ.

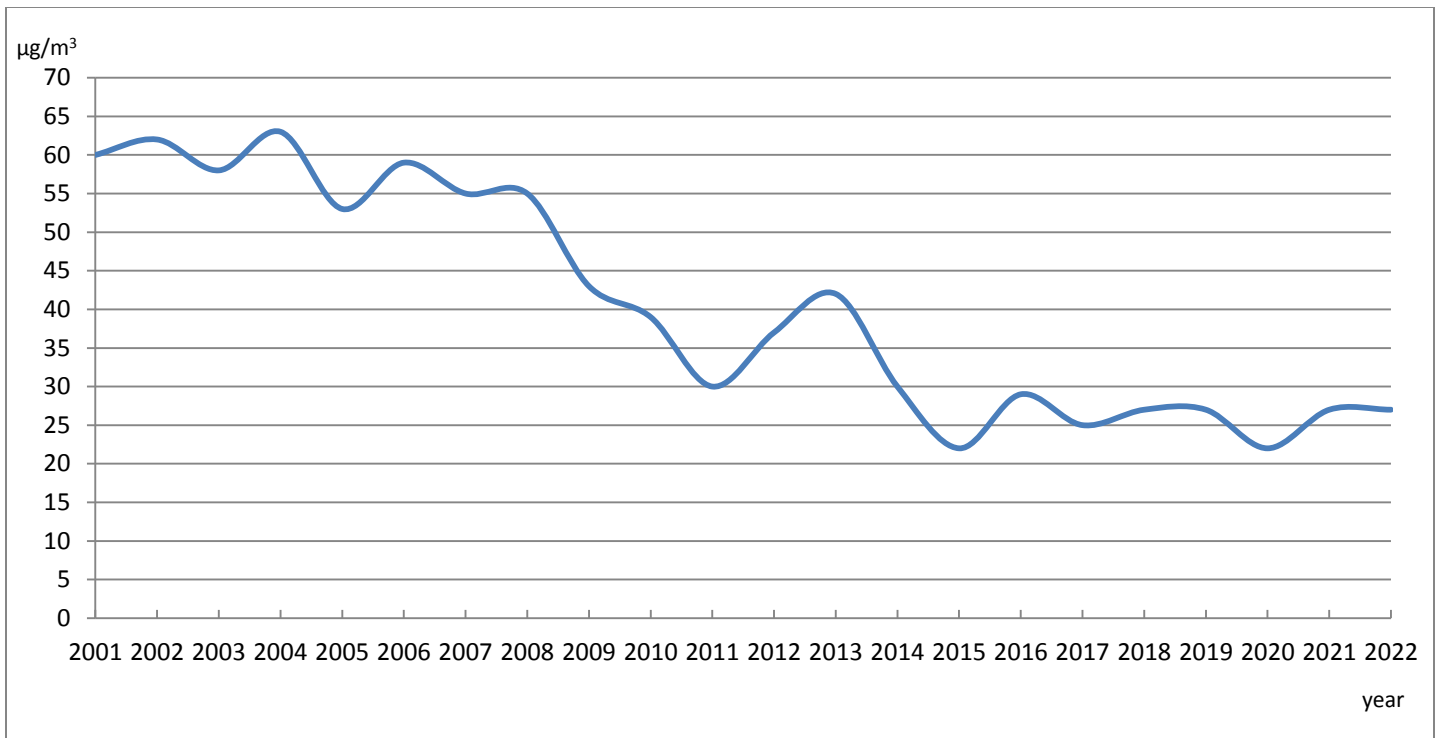
Στα διαγράμματα που ακολουθούν (3-13) έχουμε καταγεγραμμένες, σύμφωνα με τα δεδομένα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, τις μέσες ετήσιες τιμές των PM10 για κάθε σταθμό ξεχωριστά και για τα έτη που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.



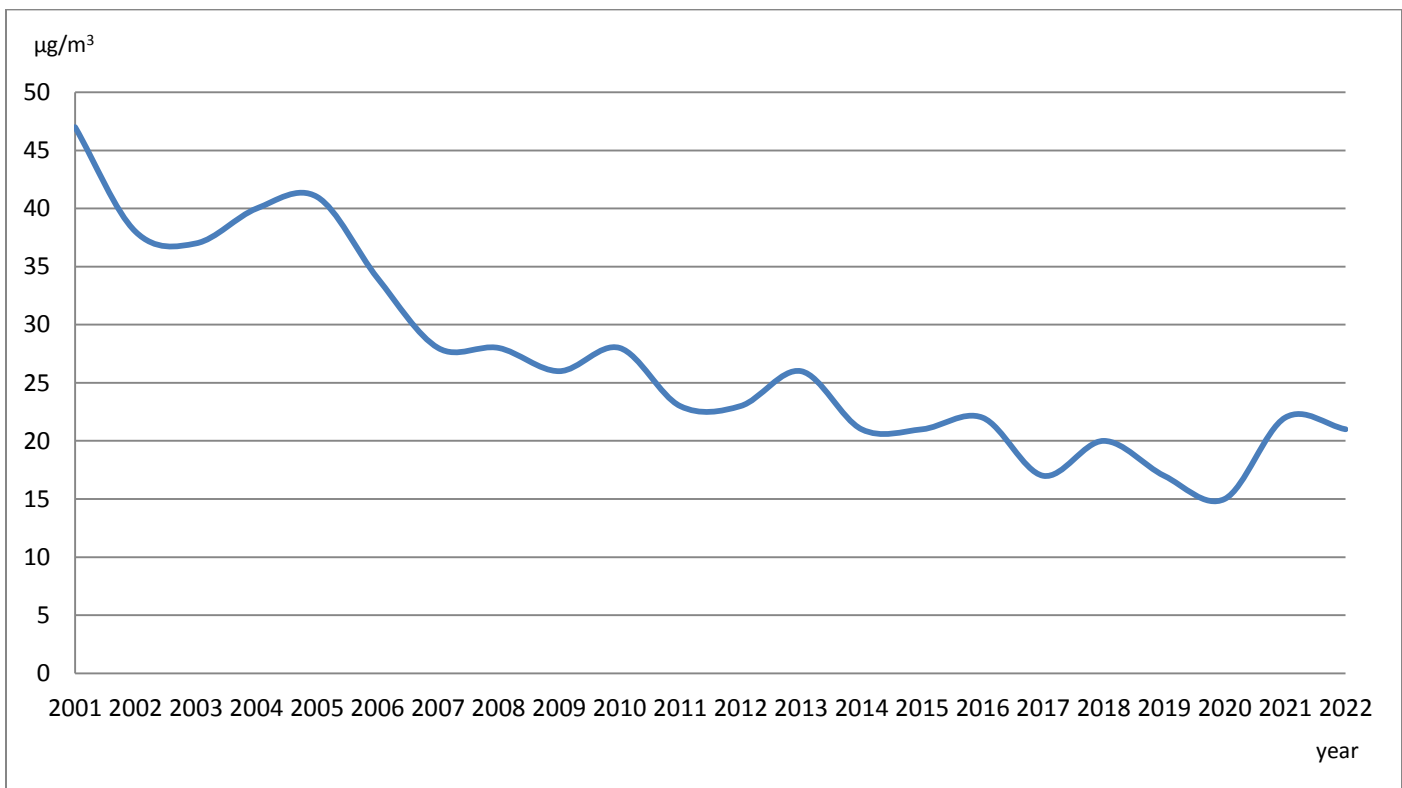
Διάγραμμα 3. Πειραιάς, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



Διάγραμμα 4. Μαρούσι, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



Διάγραμμα 5. Λυκόβρυση, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.

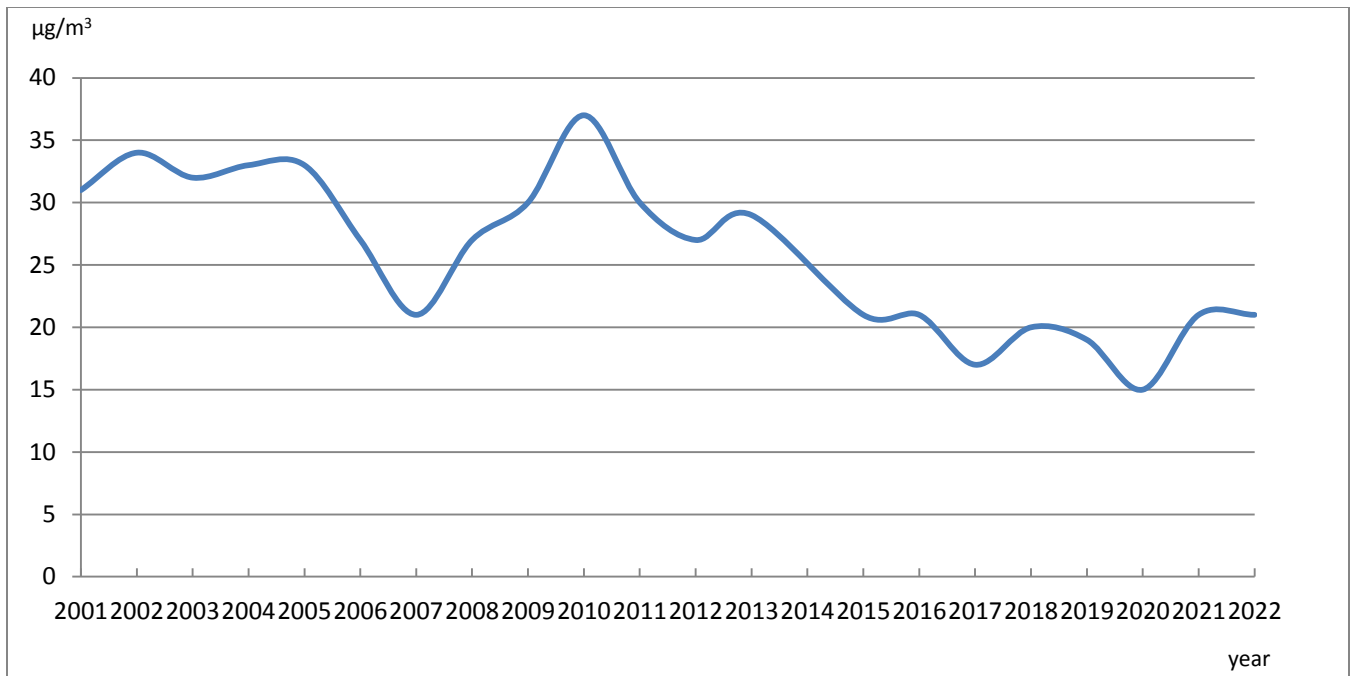


Διάγραμμα 6. Αγ. Παρασκευή, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.

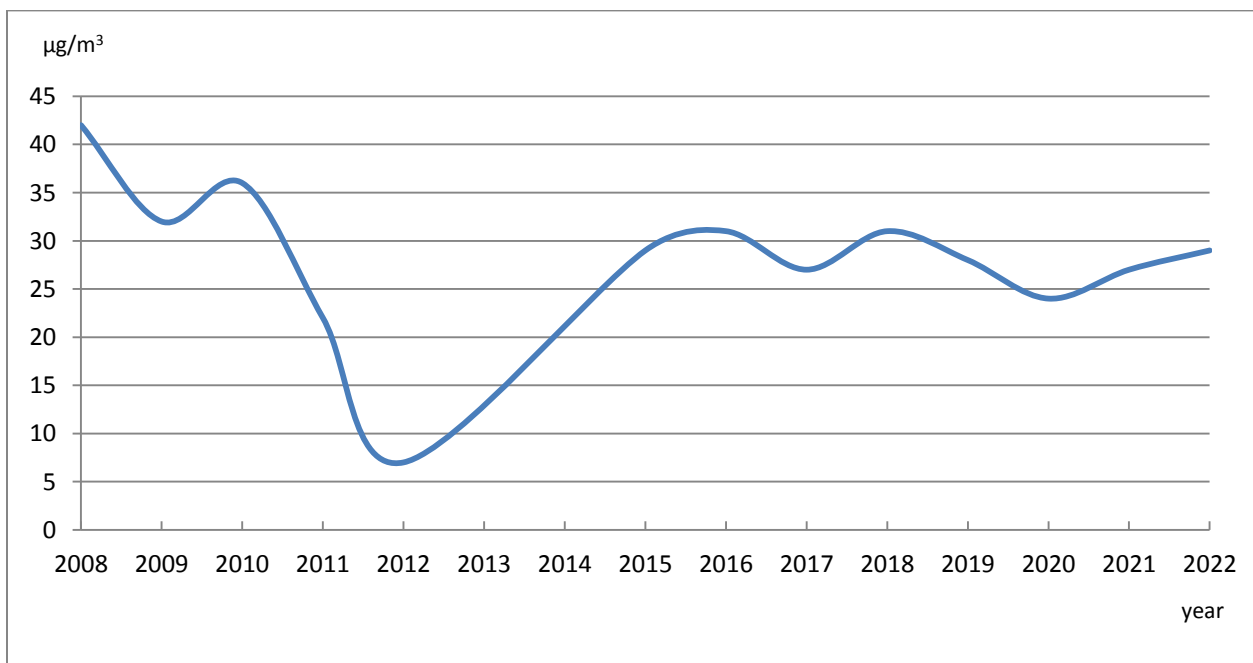


Διάγραμμα 7. Αριστοτέλους, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πηγή ΥΠΕΚΑ.

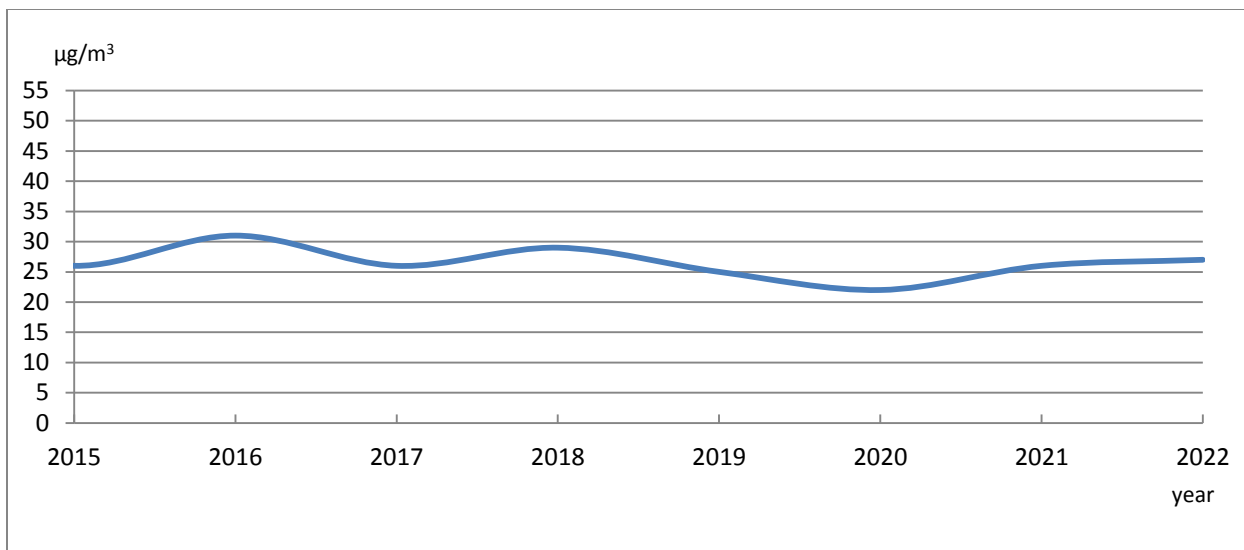




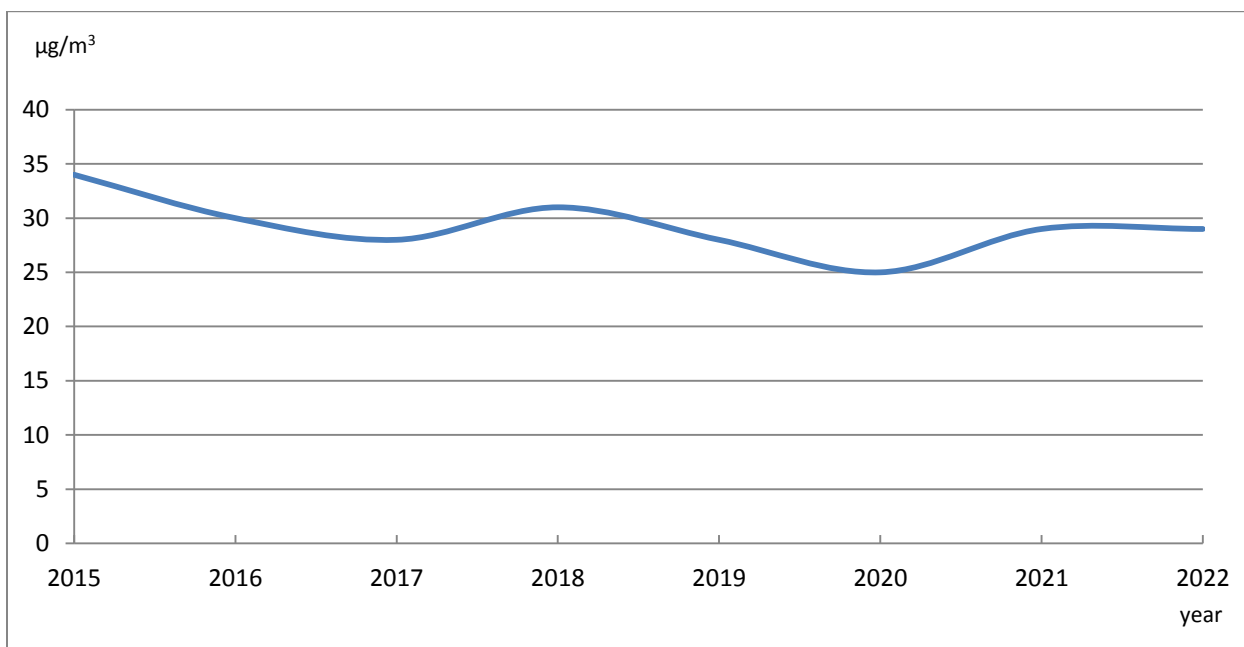
Διάγραμμα 8. Θρακομακεδόνες, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



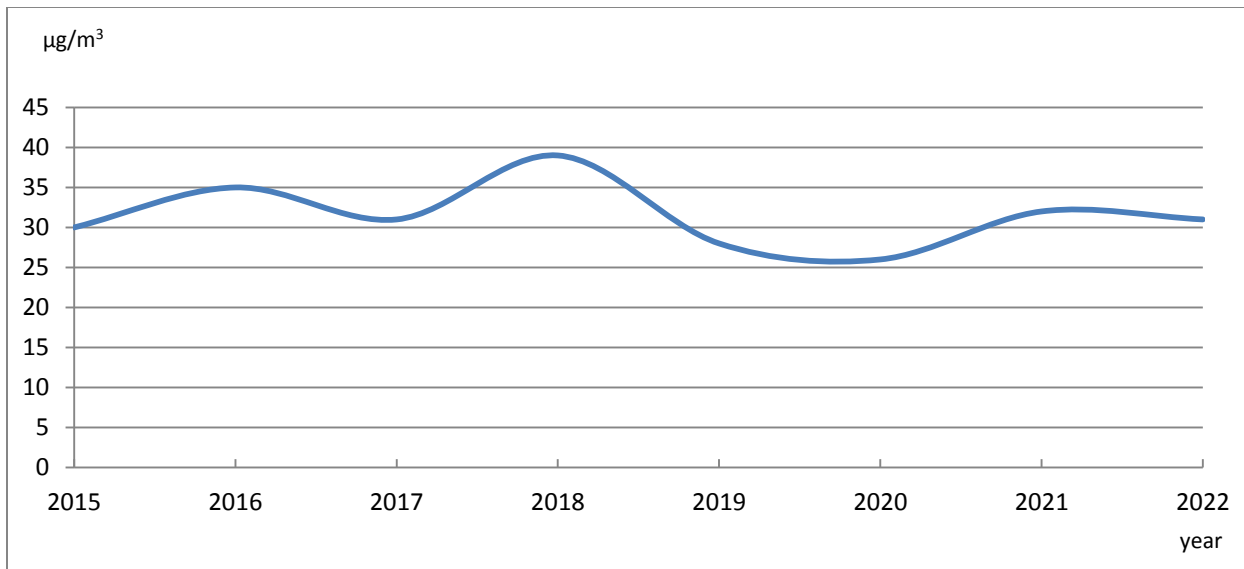
Διάγραμμα 9. Κορωπί, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε µg/m<sup>3</sup>. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



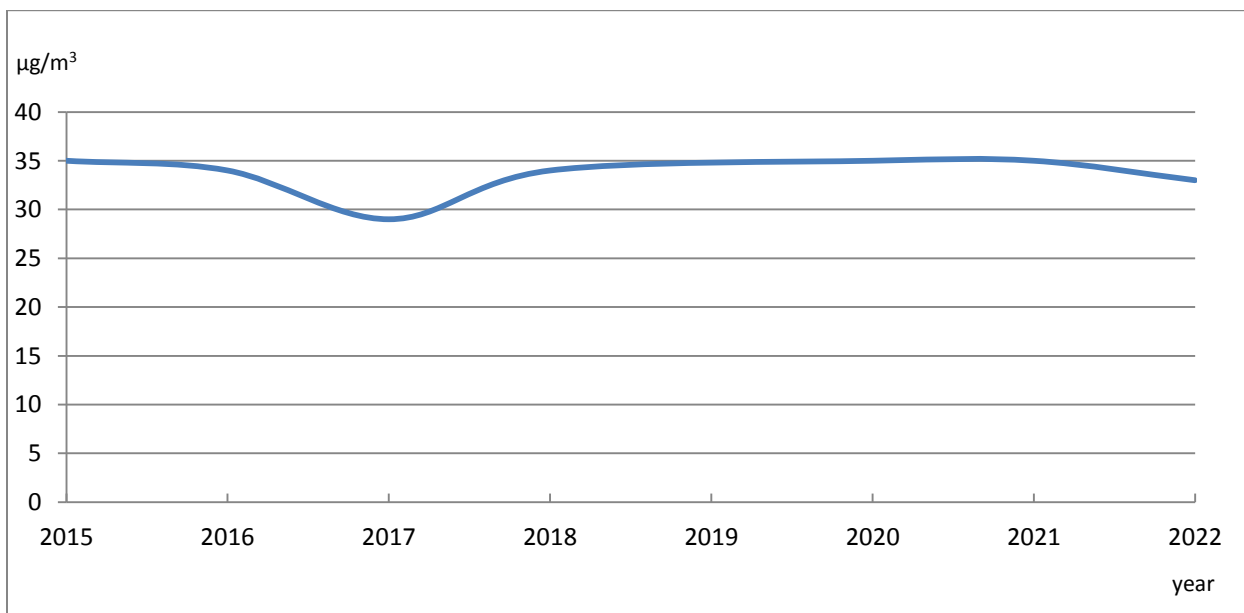
Διάγραμμα 10. Ελευσίνα, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πηγή ΥΠΕΚΑ.



Διάγραμμα 11. Ν.Σμύρνη, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πηγή ΥΠΕΚΑ.

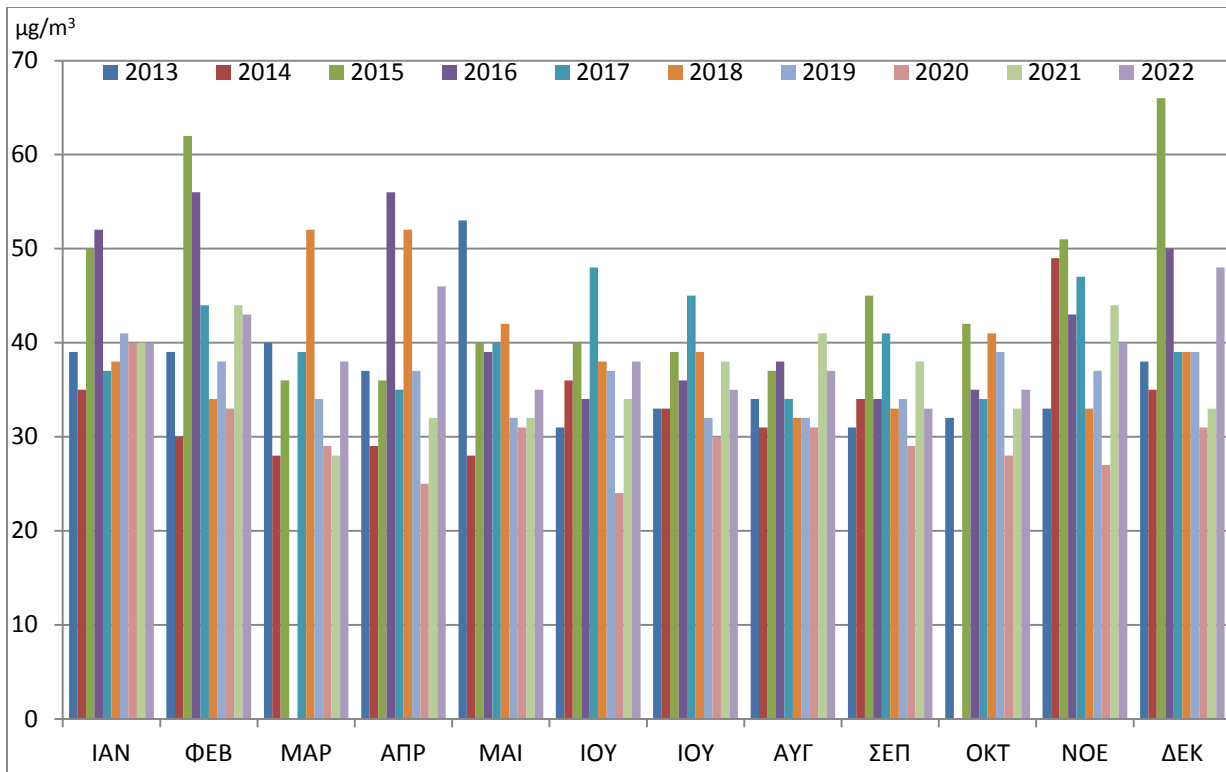


Διάγραμμα 12. Περιστερί, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πηγή ΥΠΕΚΑ.

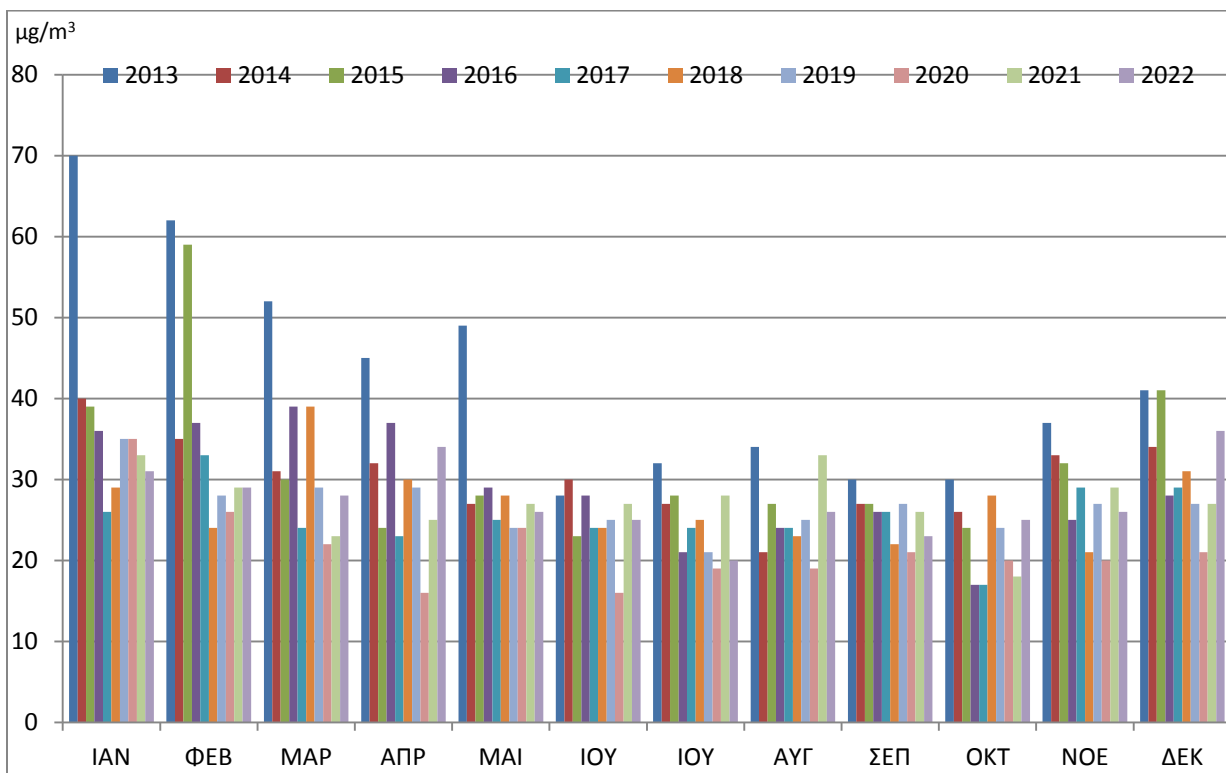


Διάγραμμα 13. Λιόσια, Μέσες ετήσιες τιμές PM10 σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Πηγή ΥΠΕΚΑ.

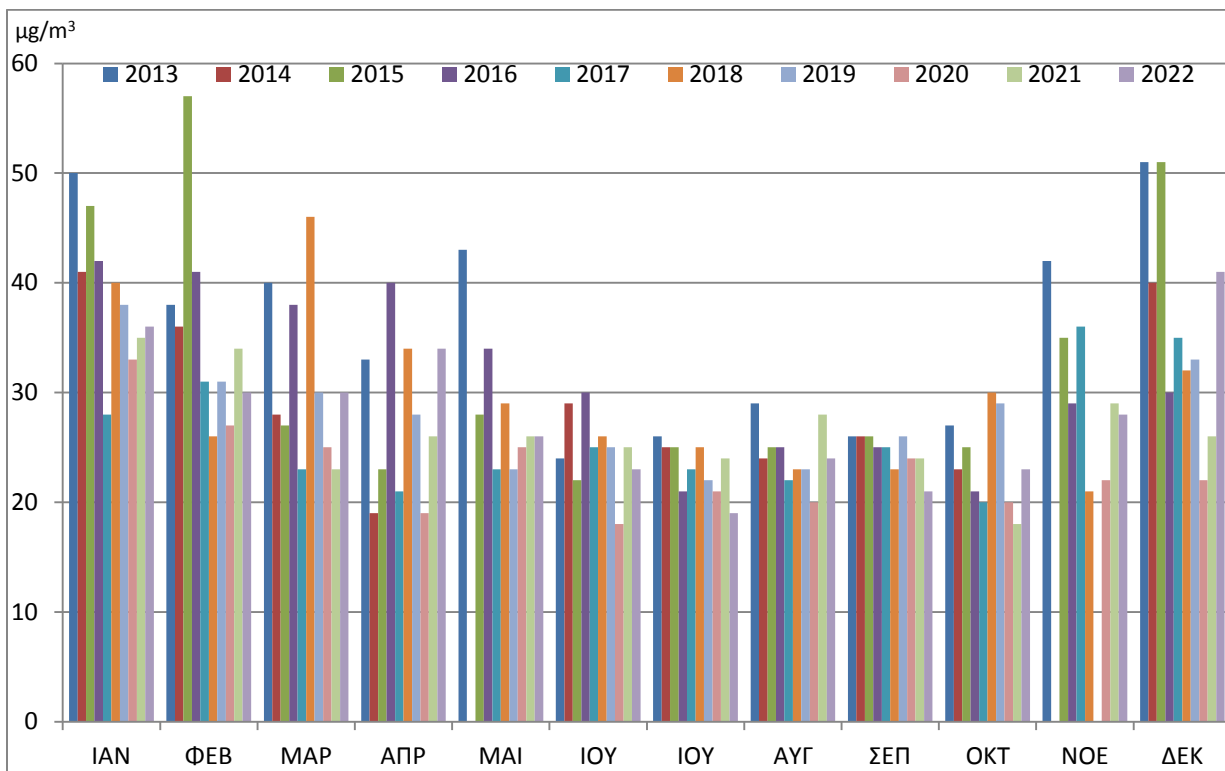
Στα διαγράμματα 14-23, εμφανίζονται οι διαχρονικές μηνιαίες τιμές ανά σταθμό σε βάθος δεκαετίας.



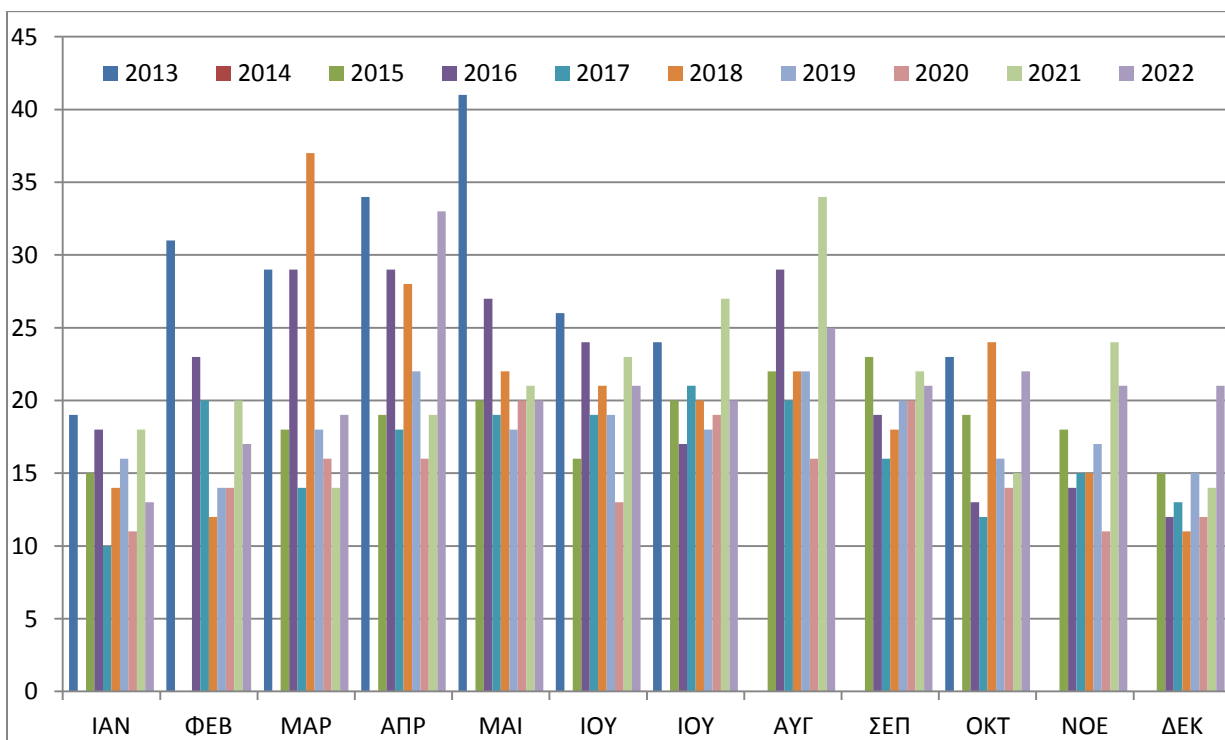
Διάγραμμα 14. Πειραιάς, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



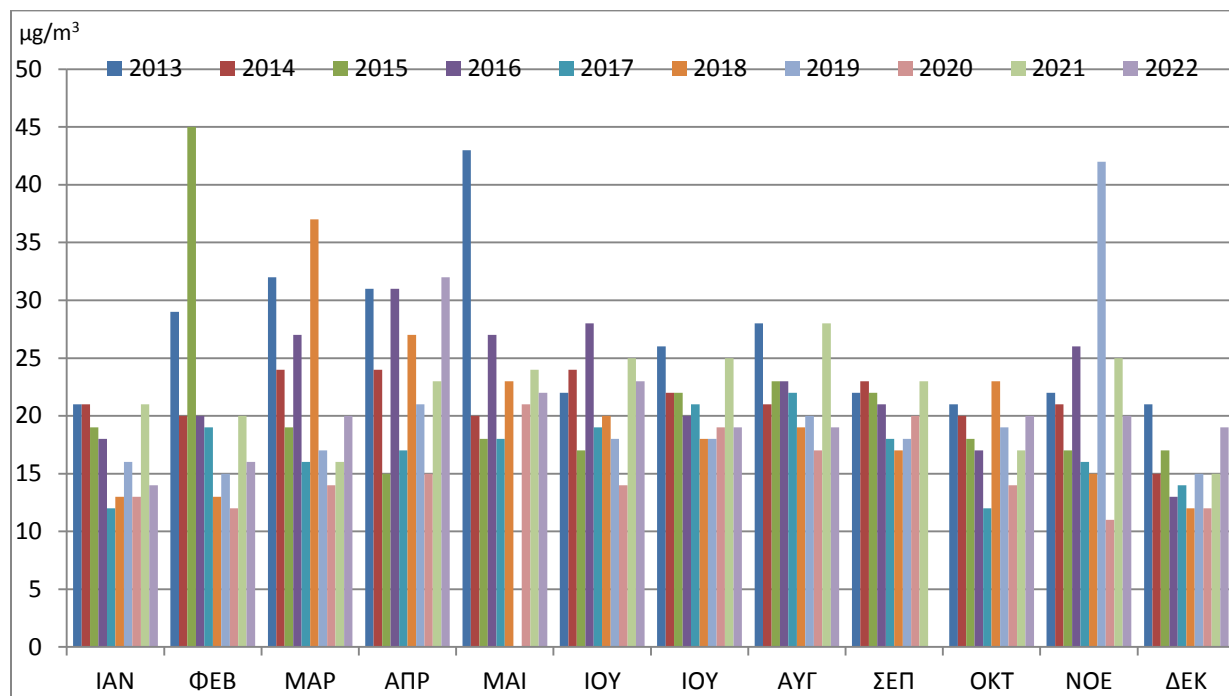
Διάγραμμα 15. ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



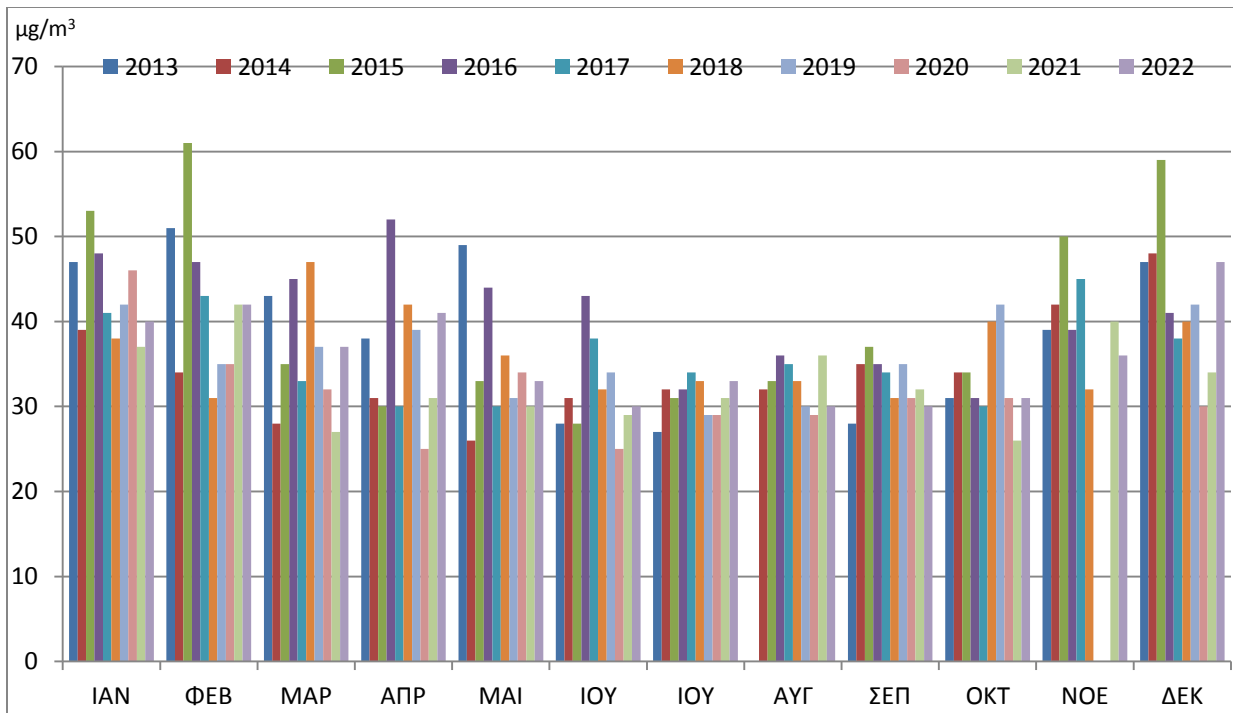
Διάγραμμα 16. ΜΑΡΟΥΣΙ, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



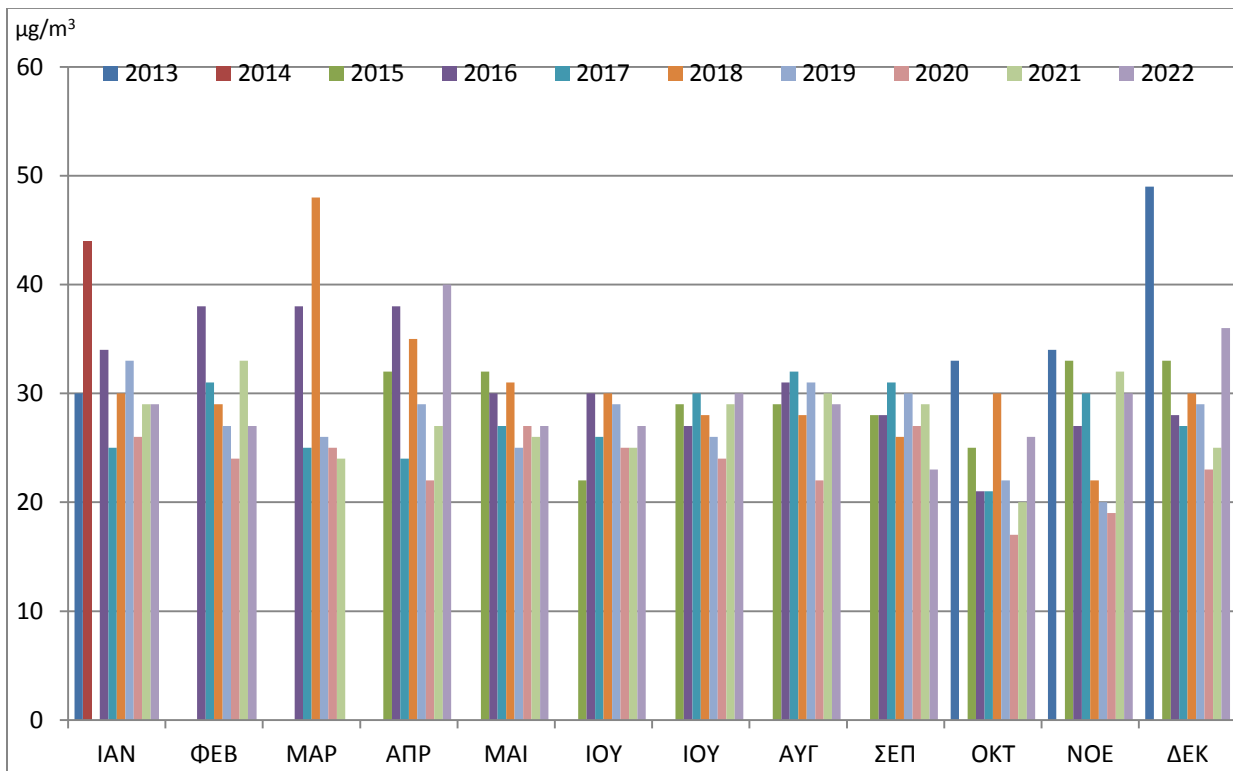
Διάγραμμα 17. Θρακομακεδόνες, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



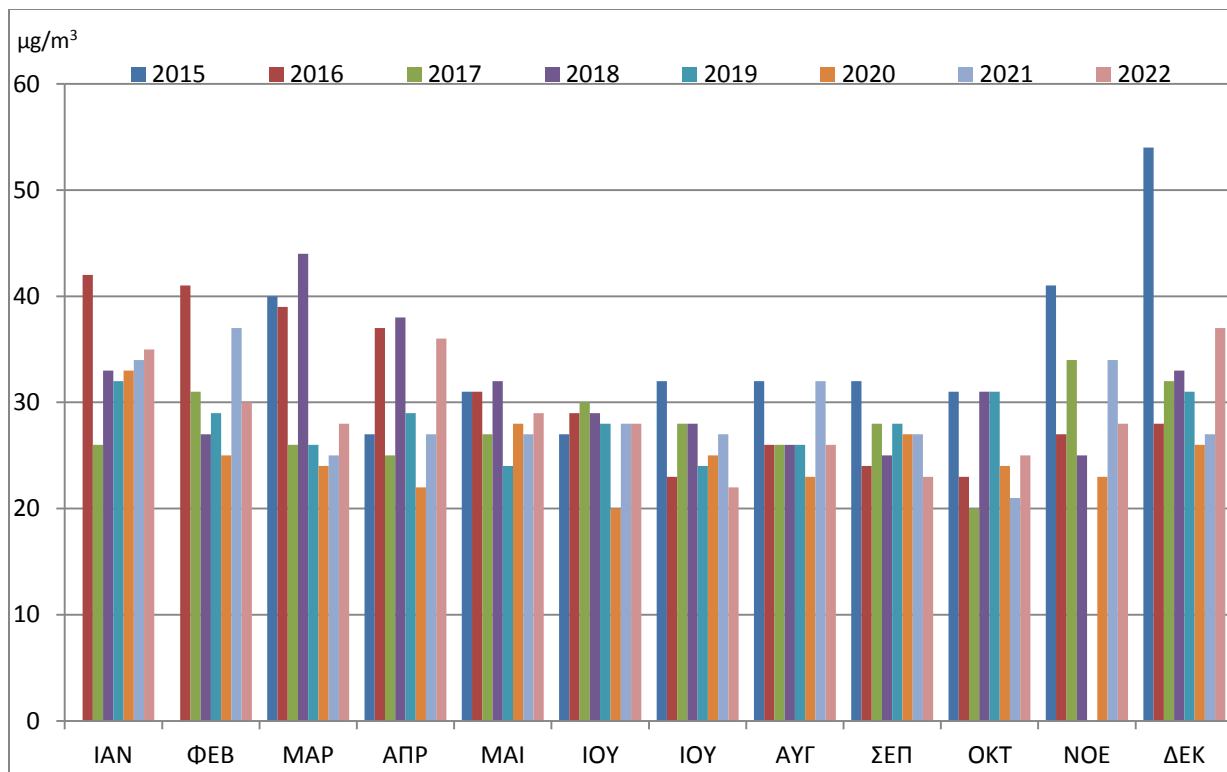
Διάγραμμα 18. Αγ. Παρασκευής, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε βάθος δεκαετίας.  
Πηγή ΥΠΕΚΑ.



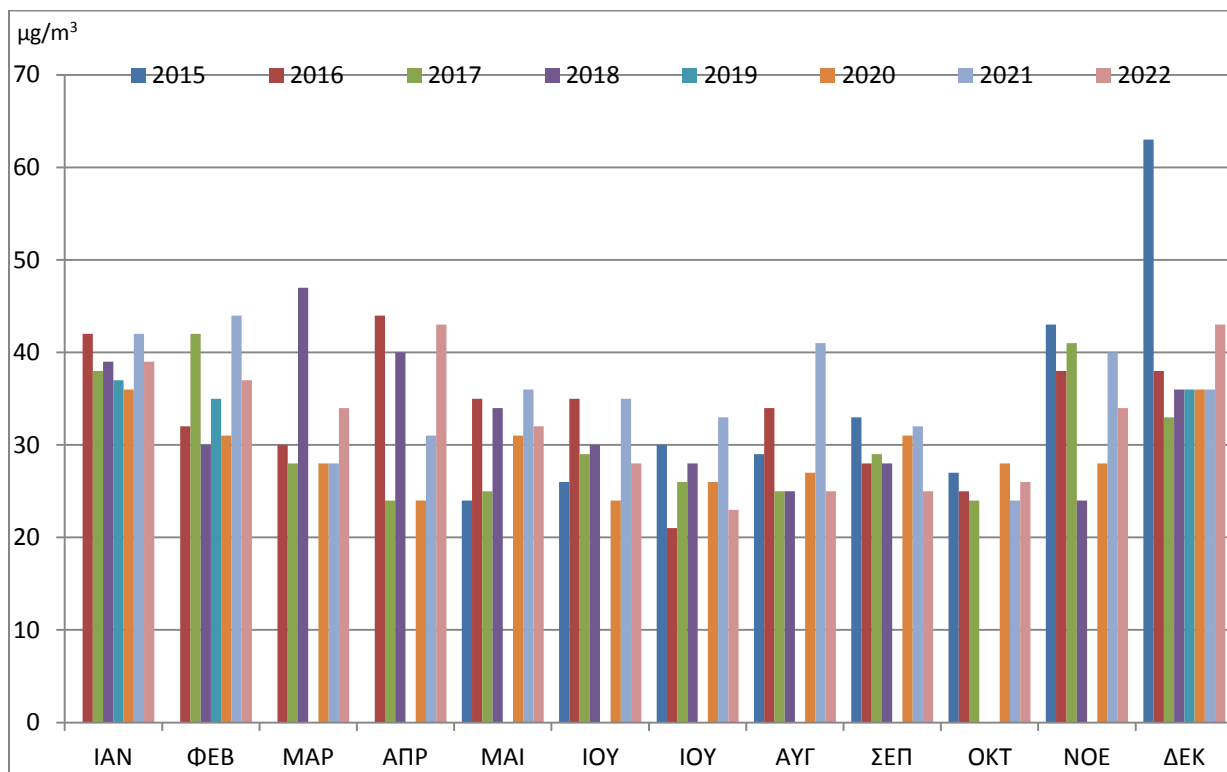
Διάγραμμα 19. Αριστοτέλους, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



Διάγραμμα 20. Κορωπί, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.

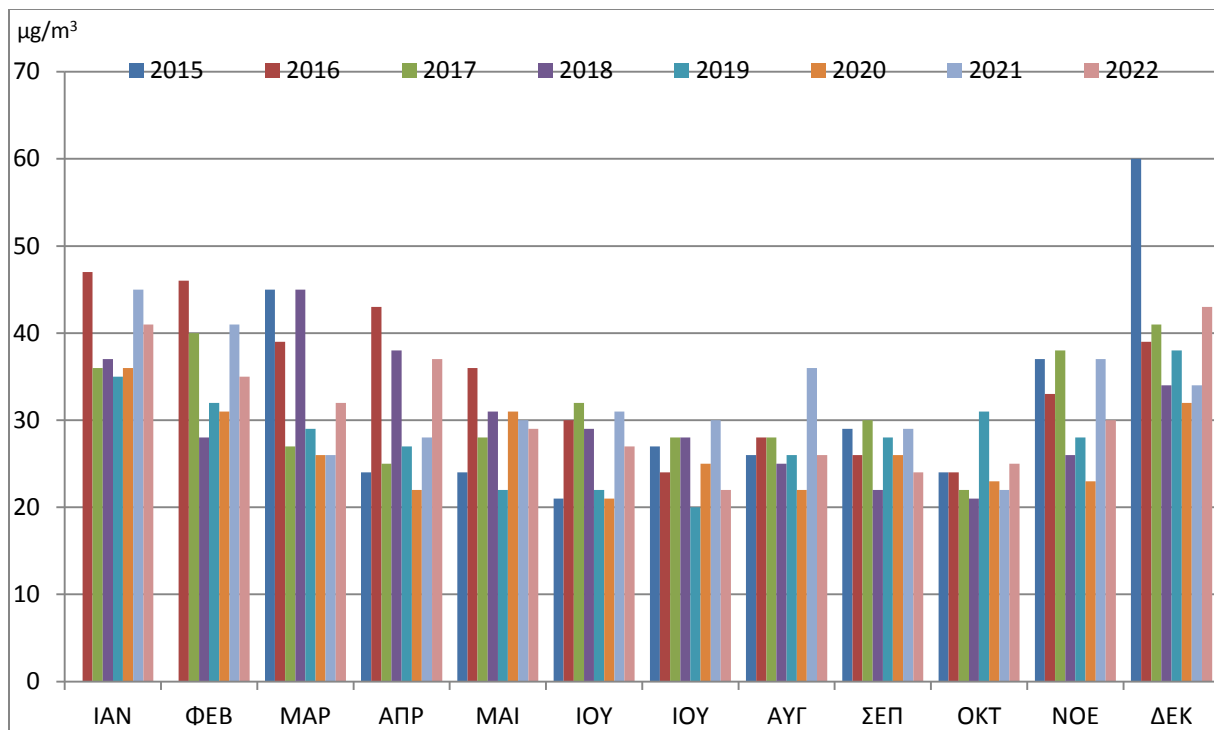


Διάγραμμα 21. Ν. Σμύρνη, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.

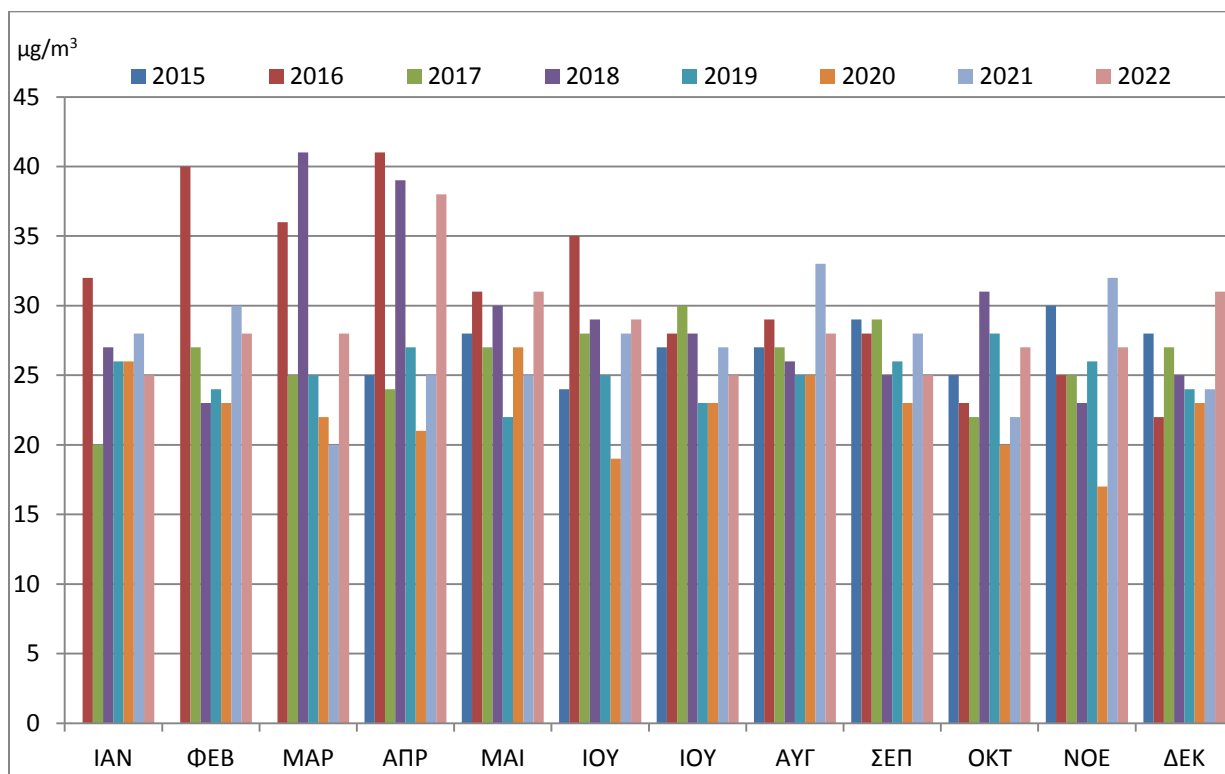


Διάγραμμα 22. Λιόσια, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.





Διάγραμμα 23. Περιστερί, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.



Διάγραμμα 24. Ελευσίνα, PM10, σύγκριση μηνιαίων τιμών σε µg/m<sup>3</sup> σε βάθος δεκαετίας. Πηγή ΥΠΕΚΑ.

## 5.1 Συζήτηση Μελέτης

Σύμφωνα με έρευνα που διενήργησε το Ινστιτούτο Παγκόσμιας Υγείας της Βαρκελώνης (IS Global), τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη τα τελευταία 20 χρόνια, έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Ωστόσο ο ΠΟΥ προειδοποιεί ότι το 98% των Ευρωπαίων ζει σε περιοχές με επικίνδυνα υψηλά επίπεδα μικροσωματιδίων PM<sub>2,5</sub>. Ακόμη, ο ΠΟΥ επιβεβαιώνει ότι η συντριπτική πλειονότητα του ευρωπαϊκού πληθυσμού εξακολουθεί να ζει σε περιοχές με υψηλή ρύπανση, κυρίως από αιωρούμενα σωματίδια και διοξείδιο του αζώτου. Πιο συγκεκριμένα, το 98% των Ευρωπαίων ζει σε περιοχές με βλαβερά για την υγεία επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2,5</sub>. Το 80% του πληθυσμού ζει σε περιοχές με σωματίδια PM<sub>10</sub>, ενώ το 86% ζει σε περιοχές με υπερβολικά υψηλά επίπεδα διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

Στην δική μας περίπτωση τώρα, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΕΝ στην Αττική την περίοδο 2021-2022 δεν υπήρξαν περιπτώσεις υπέρβασης των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> που να απαιτούν τη λήψη μέτρων περιορισμού των εκπομπών τους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ως στόχο την καθοδήγηση προς μηδενική ρύπανση και κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Για το λόγο αυτό, θα αναθεωρήσει τους ενωσιακούς κανόνες για τις βιομηχανικές εκπομπές. Η πολιτική αυτή, θα προωθήσει επαναστατικές τεχνολογίες και συστημικές λύσεις. Τέτοιες είναι η βιομηχανική συμβίωση και οι κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού υποπροϊόντων, αποβλήτων και πρώτων υλών που θα εναλλάσσονται στα πλαίσια κυκλικής αξιοποίησης.

Γενικά, παρατηρείται μικρή μείωση στις τιμές ρύπανσης από PM<sub>10</sub>. Η σταθεροποίηση τους επηρεάζεται πολύ από τα φυσικά φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από ξηρές περιοχές, αλλά και από φυσικές συνεισφορές των ρύπων. Η μηνιαία μεταβολή των τιμών PM<sub>10</sub> ποικίλει από σταθμό σε σταθμό. Υπάρχει διαφοροποίηση από έτος σε έτος, ανάλογα με τα φαινόμενα φυσικής συνεισφοράς από βιογενή αερολύματα και μεταφορά σκόνης της εκάστοτε χρονιάς.

Επιπλέον, από το Δεκέμβριο του 2012 και κατά την χειμερινή περίοδο του εκάστοτε έτους, παρατηρείται απότομη αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας, κυρίως λόγω των αυξημένων καύσεων για παραγωγή θερμότητας. Διακρίνονται έτσι, υψηλές τιμές αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub>, αλλά και PM<sub>2,5</sub> τις ψυχρές εποχές του έτους, κατά κύριο

λόγο τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο. Αυτό συμβαίνει χάρη στη συμβολή ανθρωπογενών δραστηριοτήτων λόγω χρήσης καυσίμων για παραγωγή θερμότητας, καθώς και από τις μετακινήσεις, οι οποίες όμως τη θερινή περίοδο μειώνονται. Η μείωση των μετακινήσεων αποτυπώνεται στις τιμές. Εξαιρέση στα προαναφερθέντα αποτελούν οι σταθμοί των Θρακομακεδόνων και της Αγ. Παρασκευής, όπου και διακρίνονται υψηλές τιμές σωματιδίων κατά την εαρινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Πιθανόν, λόγω φαινομένων διασποράς των ρύπων.

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των PM10, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, διαδραμάτισε η οικονομική κρίση. Από το 2010 και μετά επέφερε αλλαγές ως προς τον τρόπο θέρμανσης με αύξηση των καύσεων από χρήση βιομάζας και μείωση άλλων πιο δαπανηρών μέσων θέρμανσης και μετακίνησης. Τα PM10 και PM2,5 παρουσιάζουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης τις πρώτες πρωινές και βραδινές ώρες. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό της συμβολής των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Δηλαδή της καύσης βιομάζας για θέρμανση την ψυχρή περίοδο του έτους σε ώρες παρουσίας φαινομένου θερμοκρασιακής αναστροφής. Οι σταθμοί κυκλοφορίας εμφανίζουν αυξημένες τιμές και κατά τις ώρες αιχμής της κυκλοφορίας. Η ωριαία μεταβολή των τιμών των αιωρούμενων σωματιδίων (PM10, PM2,5), ποικίλει από σταθμό σε σταθμό και εξαρτάται από το χαρακτηρισμό του σταθμού, δηλαδή από το είδος των πηγών που τον επηρεάζουν. Ακόμη, η ωριαία μεταβολή τους μπορεί να αλλάζει από έτος σε έτος. Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως λόγω των φυσικών πηγών τους (μεταφορά σκόνης από ξηρές περιοχές εντός και εκτός χώρας, θαλάσσια και βιογενή αερολύματα), καθώς και από την επαναιώρηση της σκόνης από δρόμους και το ακάλυπτο έδαφος.

Ακόμη, από τους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας, προκύπτει πως οι ρύποι PM10 είναι αυξημένοι κυρίως λόγω αιχμής του κυκλοφοριακού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις εκπομπές καυσαερίων από τις μηχανές εσωτερικής καύσης των κινητήρων των οχημάτων. Επίσης οφείλεται στη φθορά των ελαστικών, των υλικών πέδησης και στην φθορά του οδοστρώματος, καθώς επίσης και στην επαναιώρηση των σωματιδίων που προκαλείται κατά την κυκλοφορία.

Από τα παραπάνω σχήματα, είναι φανερό πως η διαχρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων PM10 παρουσιάζει φθίνουσα πορεία. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στους σταθμούς κυκλοφορίας Αριστοτέλους και Πειραιά. Ενώ στους σταθμούς Λυκόβρυση, Μαρούσι,

Αριστοτέλους και Ελευσίνα διακρίνεται η μεγαλύτερη διαχρονική μείωση των τιμών ρύπανσης. Επιπλέον, από τα διαγράμματα διακρίνουμε πως οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις PM10 διακρίνονται στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει πως η κυριότερη πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων αποτελούν οι μετακινήσεις των οχημάτων.

Χαρακτηριστικό είναι πως στους αστικούς σταθμούς οι ετήσιες συγκεντρώσεις PM10 ανέρχονται πάνω από το όριο των  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$  έως και το 2011. Ενώ από την επαναιώρηση της σωματιδιακής ύλης, ειδικά κατά τους θερινούς μήνες, παρατηρείται αύξηση των PM10 τόσο σε αστικές όσο και σε περιαστικές περιοχές κατά 10-12%. Στον περιαστικό σταθμό Λυκόβρυση και στον περιαστικό- βιομηχανικό Ελευσίνας διακρίνονται υψηλές τιμές PM10 που προφανώς οφείλονται στη βιομηχανική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στις περιοχές αυτές. Επίσης, είναι πιθανή η αερομεταφορά σωματιδιακής ύλης από κοντινές περιοχές εξίσου επιβαρυνμένες (πχ. Ασπρόπυργος). Οι περιαστικοί σταθμοί παρουσιάζουν τα χαμηλότερά ποσοστά αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Η ρύπανση στις περιοχές αυτές οφείλεται είτε σε φυσικές πηγές, είτε σε βιομηχανική δραστηριότητα ή ακόμα σε μετακινήσεις οχημάτων και αέριων μαζών που περιλαμβάνουν ρύπους αστικών περιοχών. Η περιοχή της Αττικής χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις PM10. Τα προαναφερθέντα, εκπέμπονται και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Τους σημαντικότερους τρόπους προέλευσης αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην περιοχή της Αττικής αποτελούν αναμφίβολα η καύση βιομάζας και ο δευτερογενής σχηματισμός.

Είναι επίσης υπαρκτό το φαινόμενο, πως οι Βόρειοι/Βορειοδυτικοί και Βόρειοι/Βορειοανατολικοί άνεμοι ευνοούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας σε σχέση με τους Νότιους/Νοτιοδυτικούς και Νότιους/Νοτιοανατολικούς. Αυτό συμβαίνει διότι οι πρώτοι είναι πιο δυνατοί με αποτέλεσμα να ενισχύουν τη διάχυση και διασπορά των σωματιδίων. Επιπλέον, οι Νότιοι άνεμοι είναι συνήθως ασθενείς (θαλάσσια αύρα) και υποβοηθούν την ανακύκλωση και την ανάπτυξη υψηλών συγκεντρώσεων δευτερογενών ρύπων μέσω φωτοχημικών αντιδράσεων. Στους σταθμούς, στους οποίους υπάρχουν καταγεγραμμένα δεδομένα μετρήσεων πριν το έτος 2005, διακρίνουμε υψηλές συγκεντρώσεις PM10 στις μέσες μηνιαίες τιμές. Αυτό διότι από το 2005 και έπειτα θεσπίστηκε και εφαρμόστηκε αυστηρότερη νομοθεσία. Η μέση ετήσια τιμή PM10 σε ορισμένους σταθμούς ανέρχεται των  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Γεγονός που καταδεικνύει πως παρόλη

τη διαχρονική μείωση των PM10 υπάρχουν φαινόμενα, τα οποία διατηρούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας σε αρκετά κακό επίπεδο.

### **Συμπεράσματα**

- Η σωματιδιακή ρύπανση αποτελεί απειλή για τη δημόσια υγεία αφού είναι υπεύθυνη πρόκλησης ασθενειών. Συμβάλει σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, των οικοσυστημάτων και αποτελεί παράγοντα κλιματικής αστάθειας και διαταραχής των βιογεωχημικών κύκλων.
- Η πηγή προέλευσης των PM σχετίζεται με τον τρόπο σχηματισμού και την τοξικότητα τους. Κύρια πηγή προέλευσης PM σε αστικό περιβάλλον αποτελούν το κυκλοφοριακό και η καύση ορυκτών καυσίμων.
- Το μέγεθος τους καθορίζει τη διάρκεια ζωής και τον βαθμό επικινδυνότητας.
- Η πτωτική πορεία των τιμών PM10 αποτελεί συνάρτηση πολλών και διαφορετικών παραγόντων.
- Τα φαινόμενα μεταφοράς και φυσικής συνεισφοράς επηρεάζουν τη σταθεροποίηση των τιμών PM10.
- Παρατηρώντας τα διαγράμματα των σταθμών μέτρησης, συμπεραίνουμε πως οι διακυμάνσεις στις τιμές των PM οφείλονται κυρίως στις επικρατούσες μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιόδου μέτρησης και καταγραφής των PM10. Για παράδειγμα, η διάχυση και εναπόθεση των σωματιδίων επηρεάζονται σε αρκετά μεγάλο βαθμό από υψηλές ταχύτητες ανέμων, αλλά και από την έντονη βροχόπτωση, παράμετροι που με την σειρά τους καθορίζουν τη συγκέντρωση των ρύπων και κατ' επέκταση τη διασπορά τους.
- Η μείωση των PM10 οφείλεται στην λήψη μέτρων, όπως η σταδιακή αντικατάσταση του στόλου των παλαιών οχημάτων με νέου τύπου, τα οποία φέρουν καινούριες αντιρρυπαντικές τεχνολογίες στους καταλύτες τους, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της ρύπανσης των καυσαερίων. Η ολοκλήρωση νέων έργων υποδομής όπως μετρό, λεωφορειολωρίδες, ανάπτυξη δικτύου των μέσων μαζικής μεταφοράς, αύξηση του

κόστους μετακίνησης, συνεισφέρουν στη μείωση του κυκλοφοριακού και κατ' επέκταση στη διακύμανση των εκπομπών.

- Η χρήση φυσικού αερίου σε μονάδες κεντρικής θέρμανσης, αλλά και ως ενεργειακό μέσο στις βιομηχανικές δραστηριότητες έναντι πετρελαίου, καθώς και η στροφή σε εναλλακτικές μορφές καυσίμων με χαμηλότερο βιοαποτύπωμα, οδηγεί σε επιπλέον περιορισμό των εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων.
- Ριζοσπαστικές αλλαγές όπως η ανθρακοποίηση της βιομηχανίας και η εισαγωγή της ηλεκτροκίνησης με τα νέου τύπου ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τα ποσοστά μείωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.
- Ακόμη, οι χαμηλές θερμοκρασίες της χειμερινής περιόδου ευνοούν τη σταθερότητα σε χαμηλότερα ατμοσφαιρικά επίπεδα εμποδίζοντας τη διάχυση των ρύπων.
- Επιπλέον, η γεωγραφική θέση του σταθμού καταγραφής σε σχέση με το σημείο εκπομπής, επηρεάζει αρνητικά ή θετικά ανά περίπτωση τις συγκεντρώσεις των ρύπων.
- Οι πάσης φύσεως ανθρωπογενείς δραστηριότητες ευνοούν τη διακύμανση των τιμών PM.
- Η θέσπιση αυστηρότερου νομοθετικού πλαισίου και νέων πολιτικών της κοινότητας που στοχεύουν τη μείωση εκπομπών, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την κυκλική οικονομία αποτελούν πρόδρομο σε νέες καταγραφές μειωμένων τιμών ατμοσφαιρικών ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### Ελληνική βιβλιογραφία

Γεωργιάδης, Θ., Ζιώμας, Ι., Ιγνατιάδου, Α., Καλλέργης, Γ., Καμπεζίδης, Χ., Κομνίτσας, Κ., Παπαθεοδώρου, Γ., Ρεμουντάκη, Ε., Σκορδίλης, Α., & Φερεντίνος, Γ. (2004). Διάθεση αποβλήτων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον (Τόμος Δ, σ.105-113, σ.126-137, σ.262). Εκδόσεις ΕΑΠ. ISBN: 960-538-535-X.

Δινούση, Γ. (2022). Ατμοσφαιρική ρύπανση και αρτηριακή υπέρταση σε εφήβους (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, σ.50-54). Ιδρυματικό αποθετήριο πολυνόη. Ανακτήθηκε από [https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2159/Dinoussi\\_2012.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2159/Dinoussi_2012.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Ελευθεριάδης, Κ. (2019). Αιωρούμενα σωματίδια. Παράδοση Πανεπιστημιακού μαθήματος του ΠΜΣ «Περιβάλλον και Υγεία» της Ιατρικής Σχολής. Ιδρυματικό αποθετήριο Πέργαμος-ΕΚΠΑ. Ανακτήθηκε από <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/object/2893720/file.pdf>

Ζαννής, Π. (2014). Σημειώσεις για τη ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας (σ.19, σ.23-30, σ.42-44). Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, ΑΠΘ. Ανακτήθηκε από <https://docplayer.gr/3340263-Simeioseis-gia-tin-rypansi-kai-himeia-tis-atmosfairas.html>

Ζιώμας, Ι., & Ρεμουντάκη, Ε. (2003). Η Ατμόσφαιρα ως αποδέκτης αποβλήτων (Τόμος Γ, σ.23, σ.44-45, σ.184, σ.214, σ.223). Εκδόσεις ΕΑΠ. ISBN: 960-538-523-6.

Καρκανιά, Χ. (2014). Διακύμανση του φορτίου των αιωρούμενων σωματιδίων σε Ελληνικές πόλεις (σ.9-12). Ιδρυματικό Καταθετήριο Επιστημονικών Εργασιών του ΑΠΘ. Ανακτήθηκε από <http://ikee.lib.auth.gr/record/136456/files/%CE%A0%CF%84%CF%85%CF%87%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>

Κανελλοπούλου, Μ. (2011). Εκτίμηση της έκθεσης πεζών σε αέρια σωματιδιακή ρύπανση σε οδούς πυκνής κυκλοφορίας στην Αθήνα (σ.26-31, σ.35-41, σ.45-46). Βιβλιοθήκη Πανεπιστημίου Πειραιώς. Ανακτήθηκε από <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/5566>

Μαρκάκης, Κ. (2010). Συμβολή στη μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην Ελλάδα (Κεφ. 1, σ.7-15, Κεφ. 4, σ.139-143). Ιδρυματικό Καταθετήριο Επιστημονικών Εργασιών του ΑΠΘ. <https://doi.org/10.12681/eadd/20478>

Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ., & Σουλακέλλης, Ν. (2010). ΥΠΕΠΘ, Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Υπόεργο ΕΠΑΕΚ: Ανάπτυξη

εκπαιδευτικού υλικού για την περιβαλλοντική εκπαίδευση. Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Ανάδοχος Φορέας Πανεπιστήμιο Αιγαίου. σ.8-9.

Μήνα, Μ. (2011). Μετρήσεις σωματιδιακών κλασμάτων (Κεφ. 2, σ.12-14, Κεφ. 3, σ.15-19, Κεφ. 5, σ.24-29, Κεφ. 6, σ.58-64). Ψηφιακό αποθετήριο ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από:  
<https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/5483/Mina.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Μπαρλάκας, Β. (2011). Συγκριτική μελέτη του κοινού δείκτη ποιότητας αέρα (CAQI) σε Ευρωπαϊκές πρωτεύουσες (σ.83-89). ΙΚΕΕ-ΑΠΘ. Ανακτήθηκε από:  
<http://ikee.lib.auth.gr/record/128282>

Μπάτσος, Γ. (2012). Επίπεδα κλασμάτων σωματιδιακής ρύπανσης (PM10, PM2.5, UFPs) σε διαφορετικές περιοχές της Αθήνας. Χρονική διακύμανση έκθεσης πληθυσμού (Κεφ. 2, σ.14, Κεφ. 3, σ.50-61, σ.61-68, Κεφ. 5, σ.77-80). Ψηφιακό αποθετήριο ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από:  
[https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6422/batsosg\\_particulatematter.pdf?sequence=3](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6422/batsosg_particulatematter.pdf?sequence=3)

Μπεγλερές, Γ. (2010). Πηγές, διασπορά και έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Επανεκδοση, σ.17, 22, 24, 35). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.

Παπαναστασίου, Δ. (2007). Ατμοσφαιρική ρύπανση και μετεωρολογία σε αστικό περιβάλλον υπό συνθήκες υψηλού υποβάθρου. Εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών (σ.30-31, σ.79-85, σ.92-94). <https://doi.org/10.12681/eadd/14640>. Ανακτήθηκε από:  
<https://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/14640>.

Πουλή, Α. (2012). Καταγραφή και μελέτη επιπέδων PM(10 και 2.5) σε χώρους στο κέντρο της Αθήνας. Έκθεση εργαζομένων και άλλων υποομάδων πληθυσμού. ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από:  
<https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/4908/Pouli.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Σαχινίδης, Σ., Ζεμπεκάκης, Π., & Κεμετζή, Α. Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας και του όζοντος στη διαμόρφωση του κλίματος. Οι επιπτώσεις τους στην υγεία του ανθρώπου. Επιστημονικά άρθρα περιοδικού C.P.V. Ιατρικής. VIPAPHARM. Ανακτήθηκε από:  
<http://scientific-journal-articles.org/greek/free-online-journals/medical/medical-articles/saxinidis/somatidia.htm>

Σεμερτζίδου, Ε. (2014). Συνεισφορά των οργανικών σωματιδίων στην σωματιδιακή ρύπανση στην περιοχή της Ελλάδος με βάση τα αποτελέσματα φωτοχημικού μοντέλου (σ.29-30), σ.31-32), (σ.34-43)]. Ιδρυματικό Καταθετήριο Επιστημονικών Εργασιών του ΑΠΘ. Ανακτήθηκε από:  
<http://ikee.lib.auth.gr/record/135381/files/GRI-2014-13367.pdf>.

Τρουμπέτας, Β. (2020). Λήψη μετρήσεων αέριας ρύπανσης και μετεωρολογικών δεδομένων, αποτύπωση και χαρτογράφηση (Διπλωματική Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. ανακτήθηκε από:



[http://okeanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5426/Mec\\_46418.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://okeanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/5426/Mec_46418.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας. Δεδομένα μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

### Ξενόγλωση βιβλιογραφία.

Adamkiewicz, L., et al. (2021). Health-based approach to determine alert and information thresholds for particulate matter air pollution. *MDPI Open Access Journals*, volume 13, issue (3). <https://doi.org/10.3390/su13031345>.

Bazyar, J., et al. (2019). A comprehensive evaluation of the association between ambient air pollution and adverse health outcomes of major organ systems: A systematic review with a worldwide approach. *Environmental Science and Pollution Research*. Volume:26, issue(13), 12648-12661. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-0487-2>.

Braga, A., Zanobetti, J., & Schwartz, I. (2001). The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, volume 43, issue (11), 927-933. <https://doi.org/10.1097/00043764-200111000-00001>.

Chaloulakou, A., et al. (2003). Measurement of PM10 & PM2.5 particulate concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, volume 37, issue (5), 649-660.

Choi, H., et al. (2021). Correlation between total air pollutant emissions and incidence of type I diabetes. *MDPI Open Access Journals, Clinical and Experimental Pediatrics*, volume 64, issue (10), 525-530. <https://doi.org/10.3345/cep.2020.01501>.

Cui, H., et al. (2018). Relationship between meteorological factors and diffusion of atmospheric pollutants. *AIDIC: The Italian Association of Chemical Engineering*, volume 71. 1417-1422. Online at [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet). <https://doi.org/10.3303/CET1871237>.

Diapouli, E., et al. (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Atmospheric Environment*, volume 164. 416-430. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.016>

European Environment Agency. European Air Quality Index.

Harrisin, R., & Yin, J. (2008). Pragmatic mass closure study for PM10 & PM2.5 at roadside, urban background, and rural sites. *Atmospheric Environment*, volume 42, 980-988. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.005>

Kasdagli, M., et al. (2022). Investigating the association between long-term exposure to air pollution and greenness with mortality from neurological, cardiometabolic, and chronic

obstructive pulmonary diseases in Greece. *Environmental Pollution*, volume 292(Part B), 118372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118372>

Kassomenos, P., et al. (2012). Levels, sources, and seasonality of coarse particles in the EE capitals: Implications for particulate pollution. *Atmospheric Environment*, volume 54, issue(29), 337-347. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.051>

Liora, N., et al. (2015). The natural emission model: NEMO. J. *Atmospheric Environment*, volume 122, 493-504. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.014>

O'Neil, M., et al. (2007). Air pollution and inflammation in type 2 diabetes: A mechanism for susceptibility. *Occupational and Environmental Medicine*, volume 64, issue(6), 373-379. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.030023>.

Seinfeld, J., & Pandis, S. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3rd ed.). JOHN WILEY & SONS Inc., New York. Part III. Aerosol. page 325, Part V. Dry&Wet deposition. page 829. Isbn:978-1-118-94740-1.

Wark, K., Warner, C. F., & Davis, W. T. (1998). *Air pollution: Its origin and control* (3rd ed.). Menlo Park, Calif., Addison-Wesley. isbn: 0673994163, 9780673994165.

World Health Organization. (2019). Air pollution, climate and health. *WHO Factsheet*.

Yarchev, A. (2015). Non-respiratory functions of the lungs. *Deranged Physiology*. Ανακτήθηκε από: <https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/required-reading>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον